МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ (МИИТ)

Кафедра
«Управление и информатика в технических системах»

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ САУ С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТОВ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ

Рекомендовано редакционно-издательским советом университета в качестве методических указаний

для студентов специальности
“УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАТИКА В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ”

МОСКВА – 2010

УДК: 681.3.001.2:621.396.6

М17

Монахов О. И., Сафронов А. И., Ковалев М. В.. Рындина Е. Ю. Параметрический синтез САУ с помощью пакетов прикладных программ. Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Автоматизация проектирования систем и средств управления». – М.: МИИТ. 2010. – 138 с.

Данные методические указания предназначены для изучения основ проектирования в рамках курса «Автоматизация проектирования систем и средств управления», а также могут быть использованы при выполнении лабораторных работ и в дипломном проектировании. Методические указания составлены в виде описания последовательности действий пользователя при работе с пакетами MBTY, MATLAB, LABVIEW с подробными комментариями. Изучать принципы работы пакетов рекомендуется в процессе выполнения заданий, приведенных в конце каждого раздела.

© Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ), 2010

Предисловие

Курсовая работа – это, в принципе, самостоятельная работа студента, при выполнении которой возникает много вопросов, ответы на которые можно получить, в частности, на консультациях с преподавателем. Чаще всего это вопросы, связанные с выполнением тех или иных разделов, алгоритмами работы программ, оформлением пояснительной записки и т.п. Однако конкретные вопросы, связанные с методикой работы на ПЭВМ с использованием сложных программных продуктов, заданием численных значений параметров алгоритмов, последовательностью действий студента при формировании тех или иных графических образов и т.п. иногда остаются не очень понятными.

Данный материал, предназначенный для студентов 5-го курса специальности «Управление и Информатика в Технических Системах», озабоченных выполнением курсового проекта по дисциплине «Автоматизация проектирования систем и средств управления». В этих методических указаниях подробно описываются действия студента при решении конкретной задачи (устойчивость, качество, оптимизация параметров САУ) при использовании таких программных продуктов как LabView, MathLab, МВТУ. Даются рекомендации по разработке индивидуальной программы для решения подобных задач с использованием языка Delphi.

Нижеприведённые разделы написаны:

1. MathLab – Сафронов А.И.
2. МВТУ – Ковалёв М.В.
3. LabView – Рындина Е.Ю.
4. Delphi – Сафронов А.И., Рындина Е.Ю.

Цель курсового проектирования

Целью курсового проекта является параметрический синтез корректирующего устройства, обеспечивающего устойчивость заданной следящей системы автоматического управления (САУ) и выполнение поставленных требований к динамике САУ [1].

Введение

На рис.1 изображена структурная схема исследуемой в данном курсовом проекте следящей САУ.

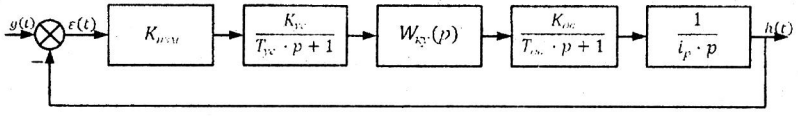

Рисунок 1 – Структурная схема следящей САУ

Рассматриваемая САУ состоит из следующих звеньев:

- Сельсинная пара (СД-СП), работающая в трансформаторном режиме и имеющая статический коэффициент усиления $K_{изм}$.
- Усилитель с передаточной функцией:

$$W_{ус}(p)=\frac{K_{ус}}{T_{ус}\cdot p+1} \qquad (1)$$

где $K_{ус}$ – коэффициент усиления усилителя;

$T_{ус}$ – постоянная времени усилителя.

- Синтезируемое корректирующее устройство с передаточной функцией $W_{ку}(p)$.
- Двигатель с передаточной функцией:

$$W_{дв}(p)=\frac{K_{дв}}{(T_{дв}\cdot p+1)\cdot p} \qquad (2)$$

где $K_{дв}$ – коэффициент усиления усилителя;

$T_{дв}$ – постоянная времени усилителя.

- Редуктор с передаточной функцией:

$$W_p(p) = \frac{1}{i_p} \tag{3}$$

где i_p – передаточное число редуктора.

На вход системы поступает воздействие типа единичная ступень $g(t) = 1(t)$. На выходе получаем $h(t)$ – переходную функцию системы. Следящая система отрабатывает рассогласование между входом и выходом $\varepsilon(t)$.

Под синтезом корректирующего устройства САУ понимается определение структуры и параметров корректирующего устройства в соответствии с заданным критерием качества функционирования. В данном курсовом проекте предъявляются требования по выполнению заданного времени регулирования переходного процесса t_p и перерегулирования σ.

В приложении 1 табл.1. представлены исходные данные для выполнения курсовой работы.

Коэффициент усиления всей системы (общий коэффициент усиления), который будет обеспечивать заданную кинетическую ошибку ε при входном воздействии типа $\omega t \cdot 1(t)$, вычисляется по формуле:

$$K_{общ} = \frac{\omega}{\varepsilon} \tag{4}$$

где ω – скорость изменения входного воздействия;

ε – заданная кинетическая ошибка.

Коэффициент предварительного безынерционного усилителя рассчитывается по формуле:

$$K_{пр.ус} = \frac{K_{общ}}{\left(\frac{K_{изм} \cdot K_{ус} \cdot K_{ов}}{i_p} \right)} \tag{5}$$

Замечание 1

Перед решением задачи параметрического синтеза средствами рассматриваемых далее пакетов прикладных программ *МВТУ*, *Matlab*,

Labview необходимо произвести расчеты «вручную». Для этого надлежит построить логарифмические амплитудно-частотные характеристики (ЛАЧХ) нескорректированной системы $L_{нск}(\omega)$ и желаемой системы $L_{ж}(\omega)$ [2]. При последовательной коррекции ЛАЧХ искомого корректирующего устройства $L_{ку}(\omega)$ находится как разница между ЛАЧХ желаемой и ЛАЧХ нескорректированной системы, т.е. $L_{ку}(\omega) = L_{ж}(\omega) - L_{нск}(\omega)$. При параллельной коррекции для нахождения ЛАЧХ корректирующего устройства $L_{ку}(\omega)$ необходимо из ЛАЧХ нескорректированной системы вычесть ЛАЧХ желаемой системы и ЛАЧХ звена, охватываемого обратной связью с КУ, т.е. $L_{ку}(\omega) = L_{нск}(\omega) - L_{ж}(\omega) - L_{охв}(\omega)$. По точкам излома полученной $L_{ку}(\omega)$ определяется структура и значения параметров корректирующего устройства.

Полученную при «ручном» расчете структуру и параметры корректирующего устройства следует рассматривать как исходные, и использовать в качестве начальной информации при решении поставленной задачи проектирования с помощью программных средств *MBTY*, *Matlab*, *Labview*.

3. Пакет прикладных программ в среде графического программирования LABVIEW 6.0

3.1. Виртуальные приборы

На кафедре «Управление и информатика в технических системах» для решения задачи параметрического синтеза САУ в рамках курсового проекта по дисциплине «Автоматизация проектирования систем и средств управления» разработан пакет программ в среде графического программирования *Labview 6.0*, включающий в себя виртуальный прибор 1 (***ВП 1***) и виртуальный прибор 2 (***ВП 2***) [5]. В ***ВП 1*** и ***ВП 2*** рассматривается последовательное подключение корректирующего устройства.

ВП 1 позволяет следующее:

- Задавать параметры передаточных звеньев, входящих в рассматриваемую САУ, в виде:

$$W_i(p)=\frac{b_0+b_1\cdot p+\ldots+b_i\cdot p^i+\ldots+b_n\cdot p^n}{a_0+a_1\cdot p+\ldots+a_i\cdot p^i+\ldots+a_m\cdot p^m} \qquad (3.1.1)$$

где b_i – коэффициенты числителя передаточной функции звена;

a_i – коэффициенты знаменателя передаточной функции звена;

n – порядок числителя передаточной функции звена;

m – порядок числителя передаточной функции звена.

- Задавать параметры передаточной функции корректирующего устройства, которая может быть представлена в виде:

$$W_{k_0}(p)=1 \qquad (3.1.2)$$

$$W_{k_1}(p)=\frac{(1+r1\cdot p)}{(1+T1\cdot p)} \qquad (3.1.3)$$

$$W_{k_2}(p)=\frac{(1+r1\cdot p)\cdot(1+r2\cdot p)}{(1+T1\cdot p)\cdot(1+T2\cdot p)} \qquad (3.1.4)$$

$$W_{k_3}(p)=\frac{(1+r1\cdot p)\cdot(1+r2\cdot p)\cdot(1+r3\cdot p)}{(1+T1\cdot p)\cdot(1+T2\cdot p)\cdot(1+T3\cdot p)} \qquad (3.1.5)$$

- Получать информацию о переходной функции системы, представленную в графическом виде, а также о значениях показателей качества переходного процесса: времени регулирования, величины перерегулирования, максимальном значении переходной функции.

- Получать информацию о ЛАЧХ и ЛФЧХ, представленную в графическом виде.

- Получать информацию об устойчивости системы, нулях и полюсах передаточной функции системы и их расположении в плоскости корней.

ВП 2 позволяет следующее:

- Задавать параметры модели передаточной функции рассматриваемой САУ, представленной передаточными функциями звеньев в виде (3.1.1).

- Задавать параметры критерия качества переходного процесса, представленного в виде:

$$Q = alfa1 \cdot (t_{reg}^{*} - t_{reg})^2 + alfa2 \cdot (delta^{*} - delta)^2 \qquad (3.1.6)$$

где $alfa1$, $alfa2$ – весовые коэффициенты, причем $alfa1 + alfa2 = 1$;

t_{reg}^{*} – заданное время регулирования переходного процесса;

t_{reg} – время регулирования переходного процесса, получаемое в результате вариации параметров корректирующего устройства;

$delta^{*}$ – заданное перерегулирование переходного процесса, выраженное в долях;

$delta$ – перерегулирование переходного процесса, выраженное в долях, получаемое в результате вариации параметров корректирующего устройства.

- Проводить оптимизацию параметров корректирующего устройства, как в совокупности, так и отдельно для каждого.

- Для текущего и удачного шага оптимизации просматривать график переходной функции системы получать информацию о значениях показателей качества переходного процесса и величине критерия качества Q.

3.2. Исследование нескорректированной САУ

Запустите ***ВП 1***. Для этого необходимо открыть файл *v1.exe (full_models_w(p).vi)*. Перед вами появится лицевая панель ***ВП 1***, представленная на рис.3.2.1.

В ***ВП 1*** имеется несколько диалоговых окон. Рассмотрим подробное описание каждого из них.

- ***Transfer Function H(s)*** – представляет собой модель САУ, изображенной на рис.1, с возможностью подключения (отключения) цепи отрицательной обратной связи, позволяет ввести информацию об объекте управления в виде передаточных функций (цифровые элементы ввода – ***H1(s)***, ***H2(s)***, ***H3(s)***), входящих в него составляющих, в том числе выбрать структуру проектируемого корректирующего устройства (элемент управления – ***Choice structure regulator***).

  Диалоговое окно ***Transfer Function H(s)*** лицевой панели ***ВП 1*** изображено на рис.3.2.1.

  Для подключения цепи обратной связи следует перевести логический элемент управления в положении ***Feedback_on***, для отключения в положение – ***Feedback_off***. Передаточная функция обратной связи задается цифровым элементом ввода ***H_Feedback(s)***.

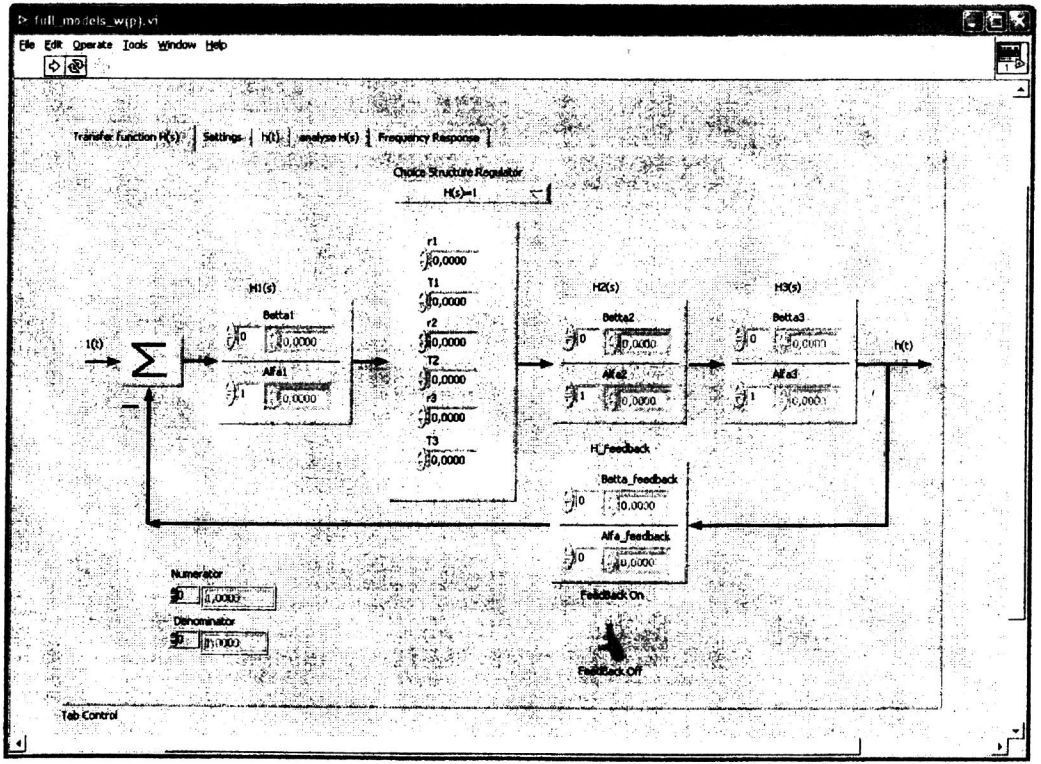

Рисунок 3.2.1 – Лицевая панель ***ВП 1***

Обратите внимание, что все передаточные функции системы записываются в форме (3.1.1), причем:

Betta1, ***Betta2***, ***Betta3***, ***Betta_ Feedback*** – цифровые элементы ввода коэффициентов числителя передаточной функции системы;

Alfa1, ***Alfa2***, ***Alfa3***, ***Alfa_ Feedback*** – цифровые элементы ввода коэффициентов знаменателя передаточной функции системы.

Замечание 3.2.1: Особое внимание следует уделить вводу коэффициентов числителя (знаменателя) передаточных функций, входящих в состав рассматриваемой САУ. Цифровые элементы ввода состоят из двух частей (рис.3.2.2). В левой части задается порядковый номер коэффициента *i* (рис.3.2.2**а**), в правой – вводится значение коэффициента, соответствующего *i*-ому номеру (рис.3.2.2**б**). Ввод осуществляется, начиная со свободного члена (*i*=0). В результате в память записывается массив коэффициентов числителя (знаменателя) передаточной функции.

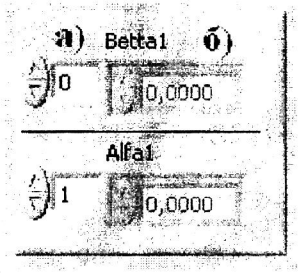

Рисунок 3.2.2 – Цифровой элемент ввода числителя ***Betta1***и знаменателя ***Alfa1***

Доступны следующие структуры корректирующего устройства:

H(s)=1 – отсутствие коррекции, – корректирующее устройство с передаточной функцией (3.1.2);

H(s, r1, T1) – корректирующее устройство с передаточной функцией (3.1.3);

H(s, r1, T1, r2, T2) – корректирующее устройств передаточной функцией (3.1.4);

H(s, r1, T1, r2, T2, r3, T3) – корректирующее устройс с передаточной функцией (3.1.5).

В соответствии с выбранной структурой необходи задать предполагаемые значения его параметров (цифро элементы ввода – ***r1***, ***T1***, ***r2***, ***T2***, ***r3***, ***T3***).

Кроме того, выводится информация о передаточ функции системы в целом в форме (3.1.1), причем:

Numerator – цифровой элемент вывода коэффициен числителя передаточной функции всей системы;

Denominator – цифровой элемент выв коэффициентов знаменателя передаточной функции в системы.

Пример 3.2.1:

Будем изучать применение ***ВП 1*** на примере варианта №30. Открываем файл *v1.exe*. Перед на появляется уже знакомая лицевая панель ***ВП 1***(рис. 3.2.1 первое диалоговое окно ***Transfer Function H(s)***.

Введем необходимую информацию, соответствующ варианту №30, для того чтобы получить модель исследуе системы, структурная схема которой изображена на рис.1.

Опишем первое звено, входящее в состав задани САУ. В данном случае это усилитель, и для варианта №30 передаточная функция согласно (1) имеет вид:

$$W_{yc}(p) = \frac{5}{0.08 \cdot p + 1} \qquad (3.$$

Передаточной функции $W_{yc}(p)$ в модели САУ бу соответствовать элемент ***H1(s)*** (рис. 3.2.1).

Внимательно, последовательно внесем коэффициен числителя $W_{yc}(p)$ в цифровой элемент ввода ***Betta1***. забудьте, что ввод осуществляется со свободного чле Числитель в (3.2.1) представляет собой многочлен нуле

$b_0 = 5$. Соответственно записываем в элементе ввода ***Betta1*** в окошке слева значение, равное 0 (рис. 3.2.3**б**), справа – 5 (рис. 3.2.3**а**).

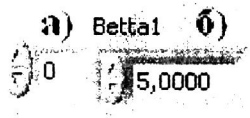

Рисунок 3.2.3 – Ввод коэффициентов числителя

Делается это следующим образом. Наведите **указатель** на двойную стрелку и левым щелчком мыши измените значение в элементе ввода в сторону увеличения или уменьшения, или введите нужное число с клавиатуры. Если цифровой элемент ввода неактивен (окрашен в серый цвет), то для его подключения кликнете левой кнопкой мыши по двойной стрелке (окрас изменится на белый).

В результате в память записывается массив коэффициентов числителя с единственным элементом: ***Betta1*** **(5)**.

Внесем коэффициенты знаменателя $W_{yc}(p)$ в цифровой элемент ввода ***Alfa1***. Знаменатель в (3.2.1) представляет собой многочлен первой степени и имеет два коэффициента: $a_0 = 1$ *(i=0)* и $a_1 = 0.08$ *(i=1)*. Последовательно записываем: в элементе ввода ***Alfa1*** в окошке слева (рис. 3.2.4**а**) значение, равное 0, справа – 1(рис. 3.2.4**б**), затем слева – 1, справа – 0.08.

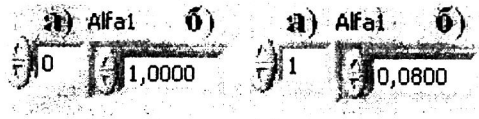

Рисунок 3.2.4 – Ввод коэффициентов знаменателя

В результате в память записывается массив коэффициентов знаменателя, состоящий из двух элементов: ***Alfa1*** **(1, 0.08)**.

Внесем параметры остальных звеньев исследуемой системы. Для варианта №30 передаточная функция двигателя согласно (2) имеет вид:

$$W_{дв}(p) = \frac{8}{0.4 \cdot p + 1} \qquad (3.2.2)$$

Передаточной функции $W_{дв}(p)$ в модели САУ будет соответствовать элемент ***H2(s)*** (рис. 3.2.1).

Вносим коэффициенты числителя $W_{дв}(p)$ в цифровой элемент ввода ***Betta2***. Числитель в (3.2.2) представляет собой многочлен нулевой степени и имеет только свободный член: $b_0 = 8$. Записываем в элементе ввода ***Betta2*** в окошке слева значение – 0 (см. рис.3.2.3**а**), справа – 8 (см. рис.3.2.3**б**). В результате в память записывается массив коэффициентов числителя: ***Betta2*** **(8)**.

Вносим коэффициенты знаменателя в цифровой элемент ввода ***Alfa2***. Знаменатель в (3.2.2) представляет собой многочлен первой степени и имеет два коэффициента: $a_0 = 1$ *(i=0)* и $a_1 = 0.4$ *(i=1)*. Последовательно записываем: в элементе ввода ***Alfa2*** в окошке слева (см. рис.**а**) значение, равное 0, справа – 1(см. рис.**б**), затем слева – 1, справа – 0.4. В результате в память записывается массив коэффициентов знаменателя, состоящий из двух элементов: ***Alfa2*** **(1, 0.4)**.

Для варианта №30 передаточная функция редуктора согласно (3) имеет вид:

$$W_p(p) = \frac{1}{120 \cdot p} \qquad (3.2.3)$$

Учтем в $W_p(p)$ коэффициент усиления сельсинной пары $K_{изм}$ и коэффициент предварительного безынерционного усилителя $K_{пр.ус}$ (воспользуемся результатами расчета ***пример***), тогда получаем коэффициент усиления редуктора K_p:

Тогда передаточная функция редуктора будет иметь вид:

$$W_p(p) = \frac{94}{p} \qquad (3.2.5)$$

Передаточной функции $W_p(p)$ в модели САУ (рис. 3.2.1) будет соответствовать элемент ***H3(s)***.

Вносим коэффициенты числителя $W_p(p)$ в цифровой элемент ввода ***Betta3***. Числитель в (3.2.5) представляет собой многочлен нулевой степени и имеет только свободный член: $b_0 = 94$. Записываем в элементе ввода ***Betta3*** в окошке слева значение – 0 (см. рис.3.2.3**а**), справа – 94 (см. рис.3.2.3**б**). В результате в память записывается массив коэффициентов числителя: ***Betta3*** **(94)**.

Вносим коэффициенты знаменателя $W_p(p)$ в цифровой элемент ввода ***Alfa3***. Знаменатель в (3.2.5) представляет собой многочлен первой степени и имеет два коэффициента: $a_0 = 0$ *(i=0)* и $a_1 = 1$ *(i=1)*. Последовательно записываем: в элементе ввода ***Alfa2*** в окошке слева (см. рис.3.2.4**а**) значение, равное 0, справа – 0 (см. рис.3.2.4**б**), затем слева – 1, справа – 1. В результате в память записывается массив коэффициентов знаменателя, состоящий из двух элементов: ***Alfa2*** **(0, 1)**.

Далее выбираем структуру корректирующего устройства в цифровом элементе ***Choice structure regulator***, нажав левой кнопкой мыши на и отмечая также нажатием левой клавиши мыши нужную структуру (рис.3.2.5). Так как сначала исследованию подвергается исходная система, то необходимо отметить ***H(s)=1***, что означает отсутствие коррекции. Таким образом цифровые элементы ввода ***r1***, ***T1***, ***r2***, ***T2***, ***r3***, ***T3*** остаются без изменений, их значение равно нулю.

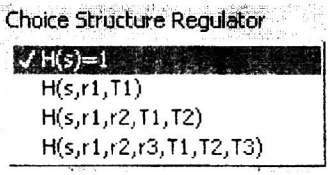

Рисунок 3.2.5 – Выбор структуры корректирующего устройства

Для подключения цепи обратной связи переводим логический элемент управления в положении ***Feedback_on***. Передаточная функция цепи обратной связи представлена элементом ***H_Feedback(s)***. Так как в данном случае рассматривается единичная обратная связь, то вышеописанным способом (см. рис. 3.2.3-3.2.4) записываем массив коэффициент числителя: $b_0 = 1$ *(i=0)*, получаем ***Betta_ Feedback*** **(1)** – и знаменателя: $a_0 = 1$ *(i=0)*, получаем ***Alfa_ Feedback*** **(1).** Модель исследуемой системы готова (рис.3.2.6).

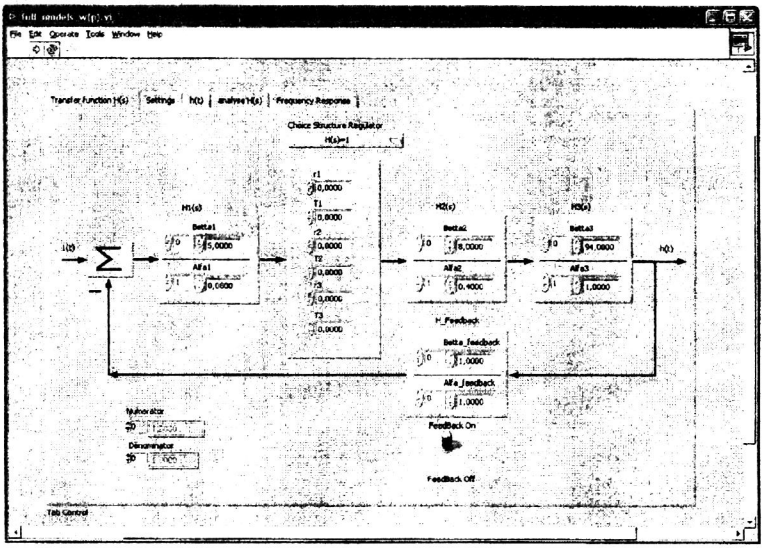

Рисунок 3.2.6 – Результаты ввода в диалоговое окно ***Transfer Function H(s)*** лицевая панель ***ВП 1***

Кроме того, в левом нижнем углу выводится информация о передаточной функции системы в целом так же, как мы осуществляли запись параметров передаточных функций звеньев, в виде числителя ***Numerator*** и знаменателя ***Denominator***. Для просмотра значений коэффициентов числителя (знаменателя) указателем и левой кнопкой мыши (или осуществляйте ввод с клавиатуры) изменяйте порядковый номер *i* коэффициента числителя (знаменателя) в левом окошке цифрового элемента вывода. В правой части будет появляться значение коэффициента, соответствующего введенному номеру *i*. Это станет возможно толко после нажатия на кнопку , расположенную в верхней части панели ***ВП 1***. Пока отложим это действие.

- ***Settings*** – служит для выбора численного метода интегрирования (цифровой элемент вывода – ***Continuous integrator***), ввода величины шага интегрирования (цифровой элемент ввода – ***dt***) и точности вычисления (цифровой элемент ввода – ***Currency***).

Диалоговое окно ***Settings*** лицевой панели ***ВП 1*** изображено на рис. 3.2.7.

Для выбора доступны следующие методы численного интегрирования:

RK fixed – метод Рунге-Кутта 4-го порядка;

Adams – метод Адамса;

Euler – метод Эйлера.

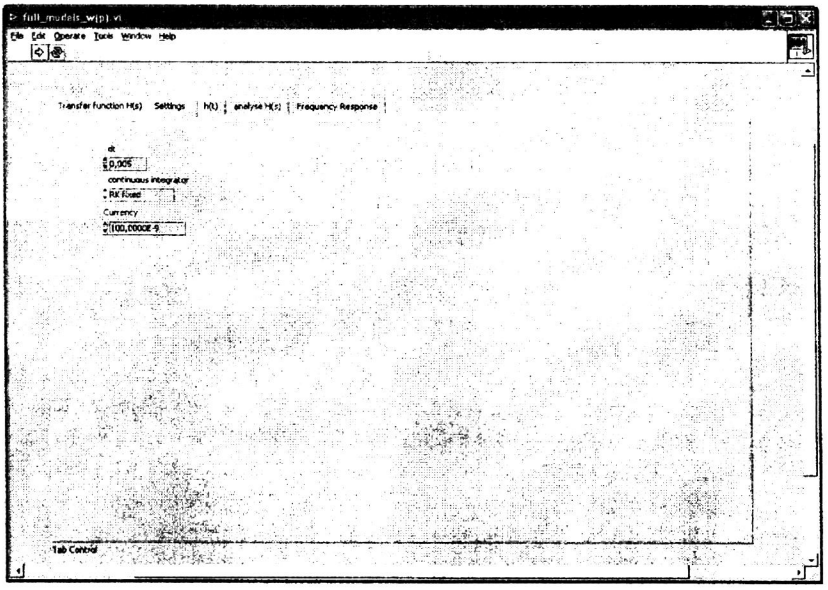

Рисунок 3.2.7 – Диалоговое окно ***Settings*** лицевой панели ***ВП 1***

Замечание 3.3.2: Выбирать значение шага интегрирования нужно, отталкиваясь от величин постоянных времени системы. Напоминаем, что величина шага интегрирования выбирается хотя бы в 10 раз меньше самого маленького значения постоянной времени из входящих в передаточную функцию всей системы.

Продолжение примера 3.2.1:

Продолжим рассмотрение ***ВП 1*** на примере для варианта №30. Выберем параметры численный метод интегрирования и его параметры для расчета переходной функции модели системы, заданной нами выше (см. ***пример 3.2.1***).

Нажимаем на вкладку ***Settings***. Перед нами появляется второе диалоговое окно ***Settings***, представленное на рис.3.2.6.

Для нашего примера наименьшее значение постоянной времени имеет усилитель: . В соответствии с этим выбираем шаг интегрирования равным 0.008 (см. ***замечание 3.3.2***) и заносим значение в цифровой элемент ввода ***dt***.

В качестве метода интегрирования задаем метод Рунге-Кутта 4-го порядка – ***RK fixed*** в цифровом элементе ввода ***Continuous integrator***. Для этого наведите **указатель** на двойную стрелку и левым щелчком мыши измените значение в цифровом элементе ***Continuous integrator***.

Точность вычисления оставим заданную по умолчанию (10^{-6}).

- ***H(t)*** – содержит информацию о переходной функции САУ, включая: график переходной функции (графический элемент отображения – ***h(t)***), максимальное (цифровой элемент вывода – max value) и установившееся (цифровой элемент вывода – ***h(00)***) значение функции, величину перерегулирования, выраженную в % (цифровой элемент вывода – ***delta, %***), величину времени регулирования переходного процесса (цифровой элемент вывода – ***t_reg***).

Диалоговое окно ***H(t)*** лицевой панели ***ВП 1*** изображено на рис. 3.2.8.

Следует также отметить, что есть возможность задать ширину «трубки» (допущение отклонения от установившегося значения функции) в % соотношении для оценки времени регулирования (цифровой элемент ввода – ***Epsilon, %***).

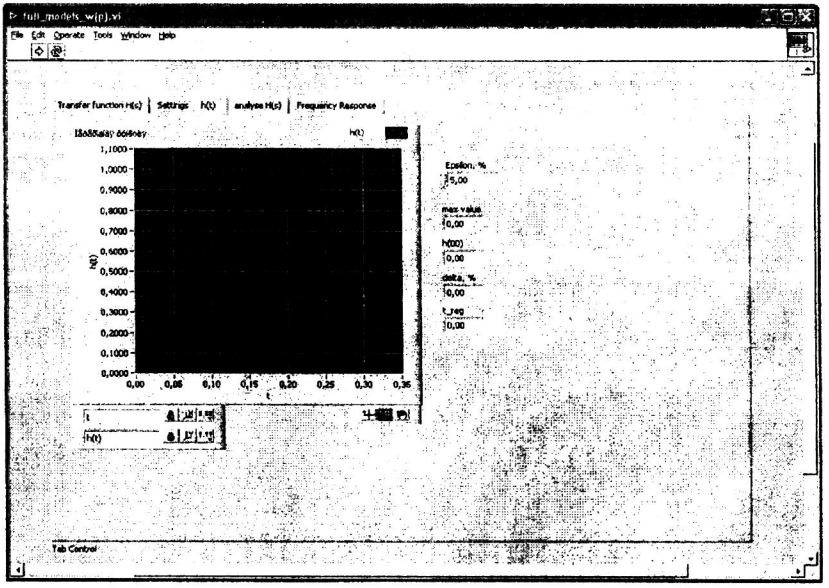

Рисунок 3.2.8 – Диалоговое окно ***H(t)*** лицевой панели ***ВП 1***

- ***Analyse H(s)*** – содержит информацию об устойчивости заданной САУ (логический элемент отображения данных – ***System character***), о нулях, корнях числителя, (цифровой элемент вывода – ***Numerator of system, zeros***) и полюсах, корнях знаменателя, (цифровой элемент вывода – ***Denominator of system, poles***) передаточной функции системы в целом и их расположении в плоскости корней (графический элемент отображения – ***PZ-plane***).

Диалоговое окно ***Analyse H(s)*** лицевой панели ***ВП 1*** изображено на рис.3.2.9.

В этом диалоговом окне представлено значение общего коэффициента усиления передаточной функции системы (цифровой элемент вывода – ***Gain Constant***).

Логический элемент ***System character*** представляет собой два индикатора:

Stable system – индикатор, активное состояние которого говорит об устойчивости системы;

Unstable system – индикатор, активное состояние которого говорит о неустойчивости системы.

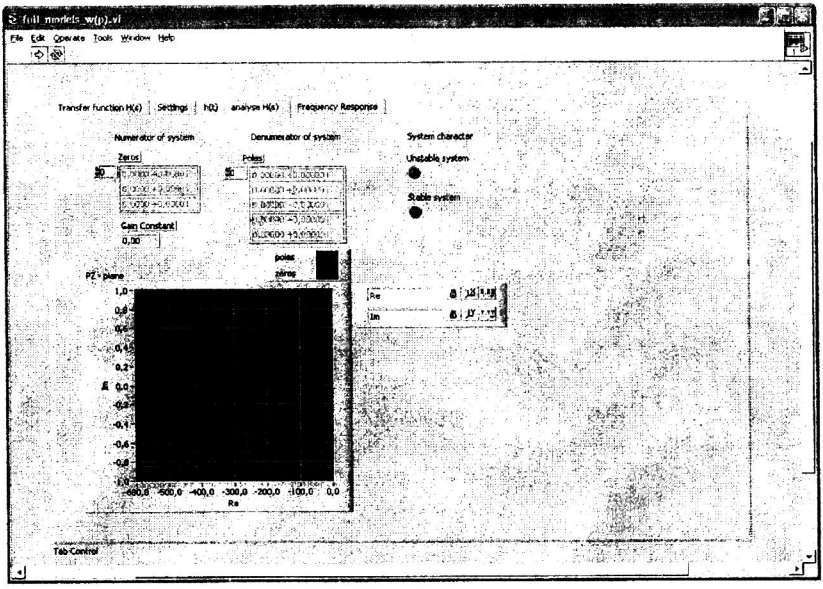

Рисунок 3.2.9 – Диалоговое окно ***Analyse H(s)*** лицевой панели ***ВП 1***

Замечание 3.2.2: В памяти записан массив нулей (полюсов) передаточной функции, элементы которого представляются в форме комплексного числа. Для просмотра нулей (полюсов) передаточной функции системы необходимо менять номер элемента массива в левой части цифрового элемента вывода (рис.3.2.10**а**). В правой части будет появляться значение нуля (полюса), соответствующее номеру, записанному слева (рис.3.2.10**б**).

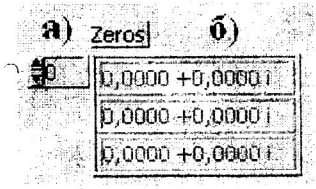

Рисунок 3.2.10 – Цифровой элемент вывода ***Zeros***

Продолжение примера 3.2.1:

Для того чтобы введенные нами параметры в диалоговых окнах ***Transfer Function H(s)*** и ***Settings*** вступили в силу нажимаем на кнопку , расположенную в верхней части панели ***ВП 1***. В результате автоматически на первом плане появляется диалоговое окно ***Analyse H(s)*** и выводится предупреждение: "Введенная система неустойчива и требует коррекции!" (рис. 3.2.11).

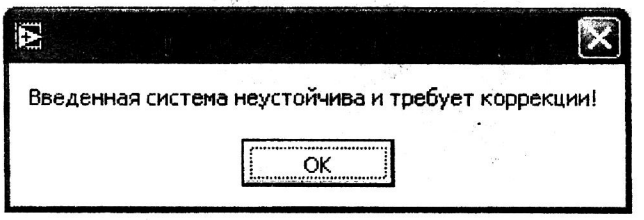

Рисунок 3.2.11 – Предупреждение пользователю

Индикатор ***Unstable system*** находится в активном состоянии. В цифровых элементах вывода ***zeros*** и ***poles*** можно посмотреть значения нулей и полюсов (см. ***замечание 3.2.2***) передаточной функции заданной нами модели (см. ***пример 3.2.1***).

К сожалению виртуальный прибор ***ВП 1***устроен так, что, если система, соответствующая заданной в диалоговом окне ***Transfer Function H(s)*** неустойчива, как это оказалось в нашем примере, то нам не доступна больше никакая информация, т.е. мы не можем обратиться к другим вкладкам ***ВП 1***.

- ***Frequency Response*** – представляет логарифмические частотные характеристики заданной САУ: ЛФЧХ (графический элемент отображения – ***Frequency Response [Phase-Freq]***) и ЛАЧХ (графический элемент отображения – ***Frequency Response [Ampl-Freq]***).

Диалоговое окно ***Frequency Response*** лицевой панели ***ВП 1*** изображено на рис.3.2.12.

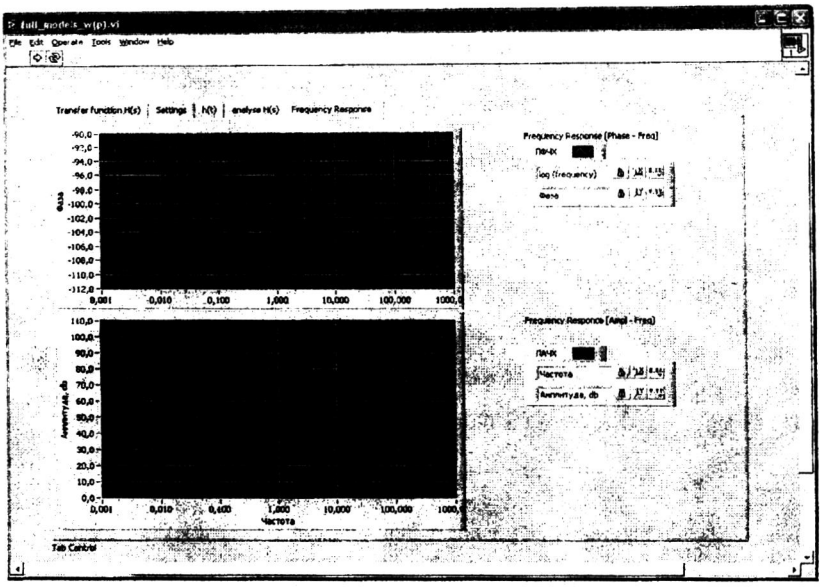

Рисунок 3.2.12 – Диалоговое окно ***Frequency Response*** лицевой панели ***ВП 1***

3.3. Оптимизация параметров корректирующего устройства САУ

Запустите ***ВП 2***. Для этого необходимо открыть файл *v2.exe (optimization(p).vi)*. Перед вами появится лицевая панель ***ВП 2***, представленная на рис.3.3.1.

В ***ВП 2*** имеется несколько диалоговых окон. Рассмотрим подробное описание каждого из них.

- ***Plant*** – имеет те же функции и структуру, что и диалоговое окно ***Transfer Function H(s)*** лицевой панели ***ВП 1***(см. описание в п.3.2).

  Диалоговое окно ***Plant*** лицевой панели ***ВП 2*** изображено на рис. 3.3.2.

- ***Settings*** – служит для задания требуемых параметров переходного процесса (цифровые элементы ввода области – ***Cluster of Q***), ввода информации о критериях качества,

рассматриваемых в виде (3.1.6) и (3.1.7), и отображения информации о протекании процесса оптимизации.

Диалоговое окно ***Settings*** лицевой панели ***ВП 2*** изображено на рис.3.3.1.

В области ***Cluster of Q*** задаются следующие параметры:

alfa1, ***alfa2*** – весовые коэффициенты;

t_reg^* – заданное время регулирования переходного процесса;

$delta^*$ – заданное перерегулирование переходного процесса, выраженное в %.

Для ввода начального значения функции качества переходного процесса служит цифровой элемент ввода – ***Q Function***. Это первый критерий оптимизации.

Для ввода начального значения функции качества корней знаменателя передаточной функции всей системы служит цифровой элемент ввода – Q^* ***Function***. Это второй критерий оптимизации.

Замечание 3.3.1: Для запуска процесса оптимизации нужно задать большую величину функции качества переходного процесса так как изначально рассматриваемая система не устойчива, ее корни лежат в правой полуплоскости, и имеет расходящийся переходный процесс.

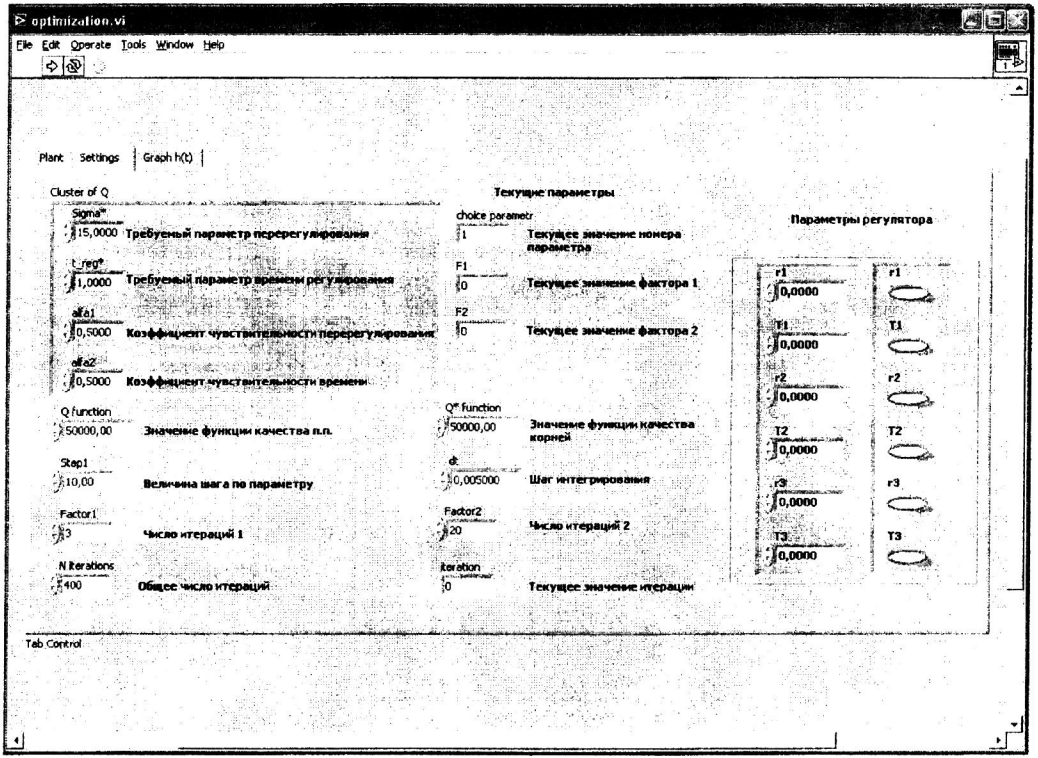

Рисунок 3.3.1 – Лицевая панель ***ВП 2***

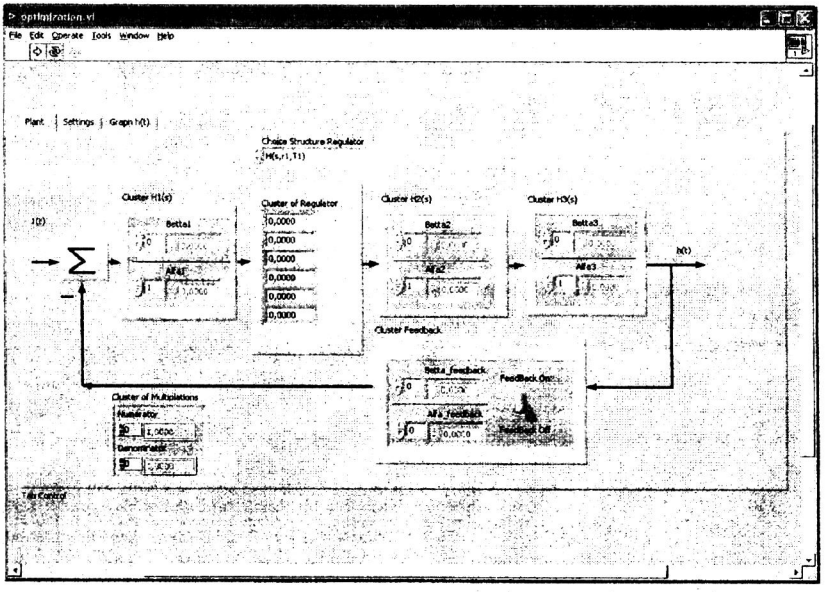

Рисунок 3.3.2 – Диалоговое окно ***Plant*** лицевой панели ***ВП 2***

В цифровом элементе ввода ***Step 1*** задается максимальная величина шага для оптимизации параметров проектируемого корректирующего устройства.

В цифровом элементе ввода ***dt*** задается величина шага интегрирования для расчета переходной функции рассматриваемой системы.

Замечание 3.3.2: Обратите внимание, так как в данном случае в качестве метода оптимизации используется случайный поиск с переменной величиной шага, то величина шага в процессе оптимизации будет принимать значения в диапазоне от близкого к нулю до заданного шага ***Step 1***. Кроме того, выбирать значение шага интегрирования нужно, отталкиваясь от величин постоянных времени системы. Также следует отметить, что по умолчанию для расчета переходного процесса используется численный метод интегрирования Рунге-Кутта 4-го порядка.

Ограничения на число итераций, т.е. сколько шагов следует произвести в процессе оптимизации, задаются (фактор 1 и фактор 2) в цифровых элементах ввода ***Factor 1*** и ***Factor 2*** соответственно для первого и для второго критериев оптимизации. В цифровом элементе ввода ***N iterations*** указывается общее число итераций проводимых операций.

Цифровые элементы вывода области ***Текущие параметры*** служат для отображения текущего значения номера параметра корректирующего устройства, по которому в данный момент текущей итерации производится оптимизация (цифровой элемент вывода – ***Choice parametr***), текущее значение фактора 1 (цифровой элемент вывода – ***F1***) и текущее значение фактора 2 (цифровой элемент вывода – ***F2***).

В цифровом элементе вывода ***Iteration*** содержится номер текущей итерации.

Область цифровых элементов ***Параметры регулятора*** (так опция обозначена в области виртуального прибора, но физическое значение – параметры корректирующего устройства) поделена на две части. Первая состоит из цифровых элементов ввода предполагаемых значений параметров корректирующего устройства. Вторая представляет собой область логических элементов для выбора отдельного параметра или совокупности параметров корректирующего устройства, которые необходимо оптимизировать. Логические элементы могут находиться в двух состояниях: неактивен (рис.3.3.3**а**), активен (окрашен в зеленый цвет), т.е. рассматривается в процессе оптимизации; (рис.3.3.3**б**), т.е. не рассматривается в процессе оптимизации.

Рисунок 3.3.3 – Логические элементы для выбора параметров

Пример 3.3.1:

В ***пример 3.2.1*** мы исследовали исходную систему без корректирующего устройства, в результате чего установили, что система неустойчива и требует коррекции. Продолжим работу с моделью системы для варианта №30. Открываем файл *v2.exe*, тем самым запускаем ***ВП 2***. Перед нами появляется лицевая панель ***ВП 2*** (рис.3.3.1) и сразу же диалоговое окно ***Settings***.

Не забудьте, что в первую очередь необходимо ввести информацию, соответствующую варианту №30, для задания модели системы так, как описано в ***примере 3.2.1***. Для этого перейдите к диалоговому окну ***Plant***, щелкнув левой кнопкой мыши по соответствующей вкладке. При этом следует обратить внимание на то, что теперь мы хотим произвести коррекцию системы, поэтому в цифровом элементе ***Choice structure regulator*** (рис.3.2.5) выбирается структура корректирующего устройства в соответствии с результатами «ручного» расчета либо из каких-то других соображений.

Мы воспользуемся результатами рассмотренного в п.1 ***примера*** *(для корректирующего устройства, подключаемого последовательно)*:

$$\tau_1 = 0.4$$

$$\tau_2 = 0.2$$

$$\tau_3 = 0.08$$

$$T_1 = 20.893$$

$$T_2 = 0.006$$

$$T_3 = 0.006$$

Эти значения примем как начальную информацию (***замечание 1***). Исходя из этого, в цифровом элементе ***Choice structure regulator*** выбираем структуру корректирующего устройства с передаточной функцией (3.1.5) – ***H(s, r1, T1, r2, T2, r3, T3)***. Обратите внимание, что цифровые элементы области ***Cluster of regulator*** не доступны для заполнения. Начальные значения параметров корректирующего устройства автоматически перенесутся в соответствующие ячейки после запуска процесса оптимизации. Об этом подробнее речь пойдет позже.

Для остальных звеньев модели системы следует полностью повторить действия, описанные в ***примере 3.2.1*** (рис.3.3.4).

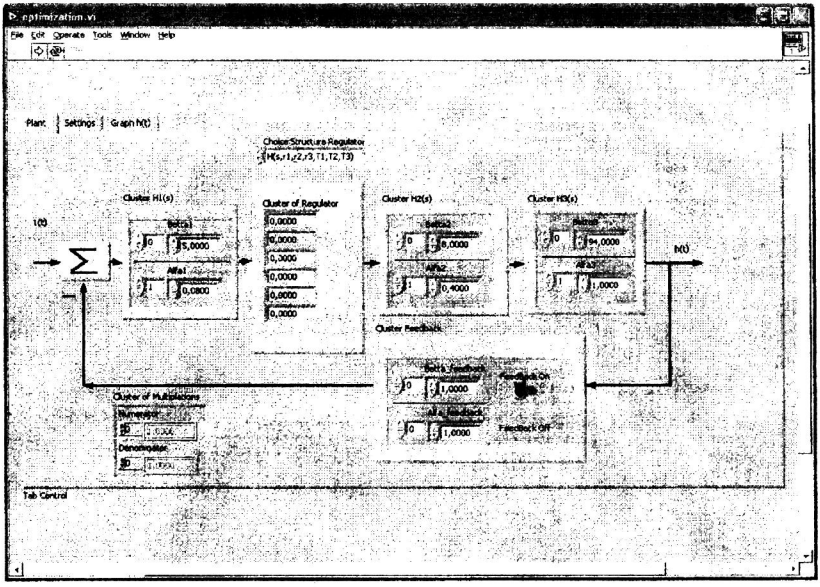

Рисунок 3.3.3 – Результаты ввода в диалоговом окне ***Plant*** лицевой панели ***ВП 2***

На следующем шаге проведем оптимизацию выбранных начальных параметров корректирующего устройства с целью достижения устойчивости системы и удовлетворения заданным параметрам качества – времени регулирования переходного процесса и перерегулирования. Переходим к вкладке ***Settings***, перед нами появляется лицевая панель, изображенная на рис.3.3.1.

Сначала введем требуемые параметры переходного процесса в области ***Cluster of Q***. Весовые коэффициенты возьмем равными 0.5, т.к. мы в одинаковой степени учитываем качество переходного процесса по времени регулирования и перерегулированию. В цифровые элементы ввода ***alfa1***, ***alfa2*** вписываем значение 0.5.

Для варианта №30 требуется выполнить время регулирования переходного процесса:

$$t_p = 0.4$$

Задаем это значение в цифровом элемент ввода ***t_reg****.

Для варианта №30 требуется выполнить перерегулирование переходной функции:

$$\sigma = 30\%$$

Задаем это значение в цифровом элемент ввода ***delta****.

Далее в цифровых элементах ввода ***Q Function*** задаемся начальным значением функции качества переходного процесса всей системы (см. ***замечание 3.3.1***) – большим числом, например, 5000 (рис.3.3.4).

В цифровой элемент ввода ***Step 1*** вводим максимальную величину шага для оптимизации параметров проектируемого корректирующего устройства (см. ***замечание 3.3.2***), например, 0.05 (рис.3.3.4).

В цифровом элементе ввода ***dt*** зададим величину шага интегрирования для расчета переходной функции системы (см. ***замечание 3.3.2***), равной 0.0006 (рис.3.3.4).

Ограничения на число итераций в цифровых элементах ввода ***Factor 1*** и ***Factor 2*** соответственно для первого и для второго критериев оптимизации зададим, например, 50. В цифровом элементе ввода ***N iterations*** укажем общее число итераций проводимых операций, например, 500 (рис.3.3.4).

В области ***Параметры регулятора*** (как было ранее замечено, так внутри виртуального прибора называются параметры корректирующего устройства) в цифровых элементах ввода слева ***r1, T1, r2, T2, r3, T3*** вносим соответственно начальные значения параметров корректирующего устройств τ_1, T_1, τ_2, T_2, τ_3, T_3. Справа подключаем логические элементы ***r1, T1, r2, T2, r3, T3***. Оптимизацию будем проводить по совокупности параметров, записанным слева. Логические элементы при этом окрашиваются в зеленый цвет (рис.3.3.4).

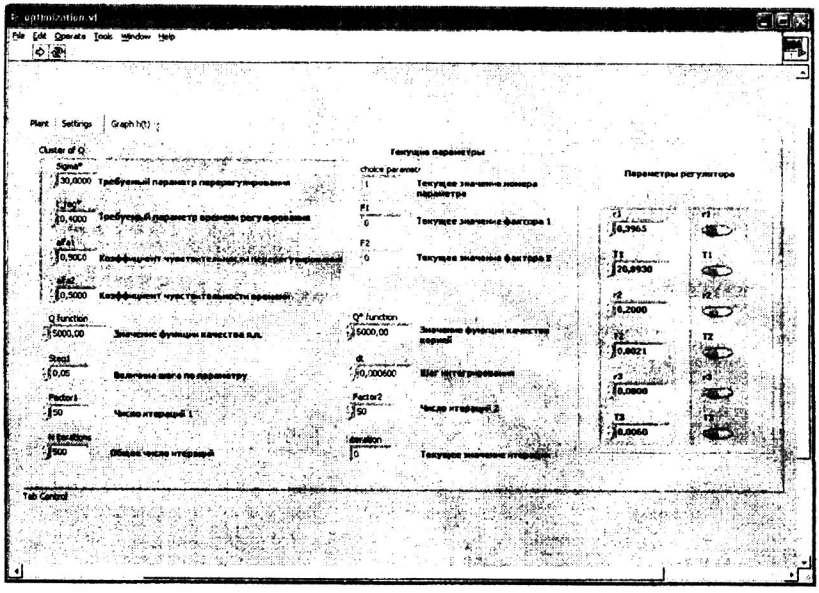

Рисунок 3.3.4 – Результаты ввода в диалоговом окне ***Settings*** лицевой панели ***ВП 2***

Мы внесли всю необходимую информацию для проведения процесса оптимизации параметров корректирующего устройства.

- ***Graph h(t)*** – содержит информацию о текущем переходном процессе системы (графический элемент отображения – ***Current h(t)***) и о удачном переходном процессе системы, (графический элемент отображения – ***Successful attempt***).

Диалоговое окно ***Graph h(t)*** лицевой панели ***ВП 2*** изображено на рис.3.3.5.

Замечание 3.3.3: Под текущим переходным процессом понимается процесс, смоделированный на текущем шаге оптимизации. Под удачным переходным процессом понимается процесс, для которого значение функции качества улучшено по сравнению с предыдущим шагом оптимизации.

Для ***Current h(t)*** доступна информация:

max value* – цифровой элемент вывода максимального значения переходной функции на текущем шаге оптимизации;

delta, %* – цифровой элемент вывода величины перерегулирования на текущем шаге оптимизации, выраженной в % ;

t_reg* – цифровой элемент вывода величины времени регулирования переходного процесса на текущем шаге оптимизации;

Q^* – цифровой элемент вывода значения функции качества переходного процесса на текущем шаге оптимизации.

Для ***Successful attempt*** доступна информация:

max value – цифровой элемент вывода максимального значения переходной функции на удачном шаге оптимизации;

delta, % – цифровой элемент вывода величины перерегулирования на удачном шаге оптимизации, выраженной в % ;

t_reg – цифровой элемент вывода величины времени регулирования переходного процесса на удачном шаге оптимизации;

Q – цифровой элемент вывода значения функции качества переходного процесса на удачном шаге оптимизации.

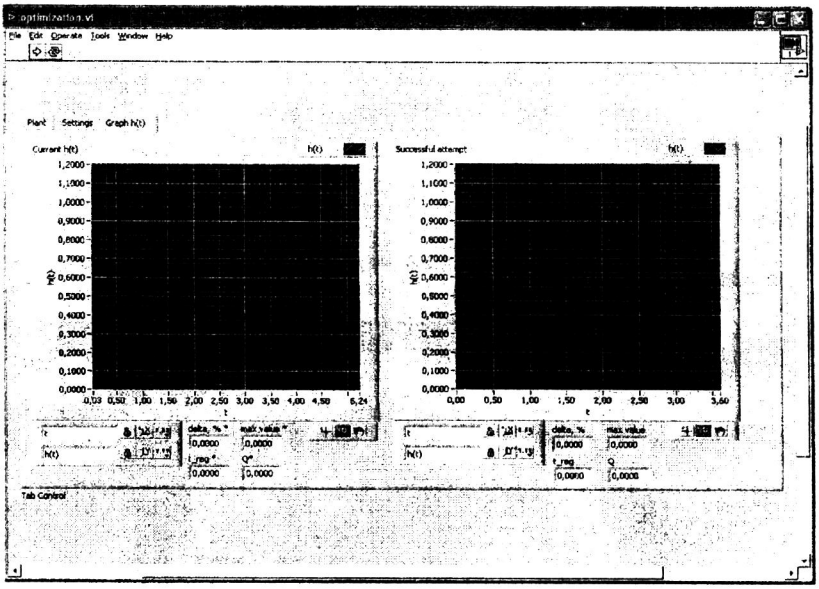

Рисунок 3.3.5 – Диалоговое окно ***Graph h(t)*** лицевой панели ***ВП 2***

Продолжение примера 3.3.1:

Перед нами все еще диалоговом окне ***Settings***. Для запуска процесса оптимизации нажимаем на кнопку , расположенную в верхней части панели ***ВП 2***.

Выше было сказано, что цифровые элементы области ***Cluster of regulator*** диалогового окна ***Plant*** заполнятся после запуска работы ***ВП 2***. Вы можете обращаться к вкладке ***Plant*** во время процесса оптимизации.

В области ***Текущие параметры*** можно наблюдать текущее значение номера параметра корректирующего устройства, по которому в данный момент текущей итерации производится оптимизация (цифровой элемент вывода – ***Choice parametr***), текущее значение фактора 1 (цифровой элемент вывода – ***F1***) и текущее значение фактора 2 (цифровой элемент вывода – ***F2***).

Для просмотра информации о текущем и удачном переходных процессах системы ***(замечание 3.3.3)*** перейдите на вкладку ***Graph h(t)***. Перед вами появится диалоговое окно, изображенное на рис. 3.3.6.

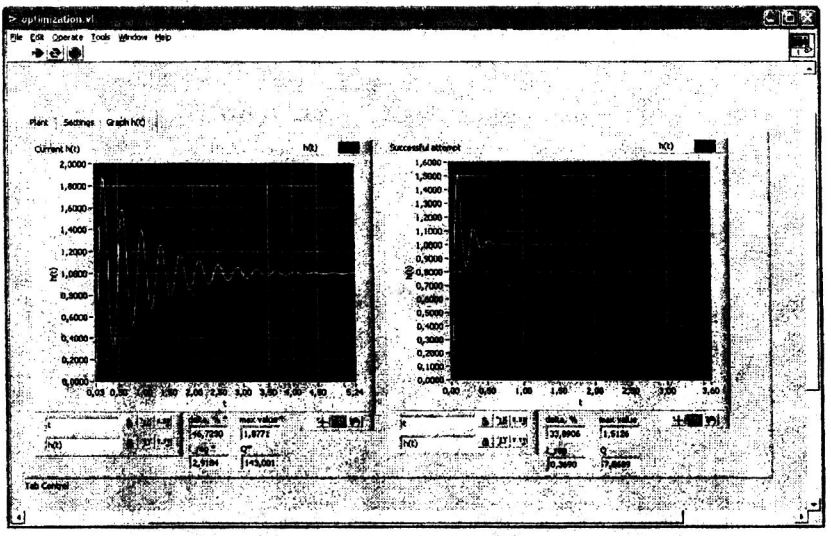

Рисунок 3.3.6 – Диалоговое окно ***Graph h(t)*** в процессе оптимизации лицевой панели ***ВП 2***

В графическом элементе отображения ***Current h(t)*** вы можете наблюдать график текущего переходного процесса. В графическом элементе отображения ***Successful attempt*** – график удачного переходного процесса.

Для ***Current h(t)*** в нижней части диалогового окна имеется информация о перерегулировании – ***delta, %****, максимальном значении передаточной функции – ***max value****, времени регулирования – ***t_reg****, значении функции качества – ***Q****, т.е. параметры переходного процесса на текущей итерации.

Для ***Successful attempt*** в нижней части диалогового окна имеется информация о перерегулировании – ***delta, %***, максимальном значении передаточной функции – ***max value***, времени регулирования – ***t_reg***, значении функции качества – ***Q***, т.е. параметры переходного процесса на последнем удачном шаге оптимизации.

Процесс оптимизации можно считать завершенным, когда будет подобрана такая совокупность выбранных для

рассмотрения параметров корректирующего устройства, что показатели качества переходного процесса будут максимально приближены к требуемым. Если вы считаете, что это условие выполняется, нажмите на кнопку , расположенную в верхней части панели ***ВП 2***. После этого в графических элементах отображения ***Current h(t)*** и ***Successful attempt*** вы сможете наблюдать один и тот же график переходного процесса. То же касается и его параметров (рис.3.3.7).

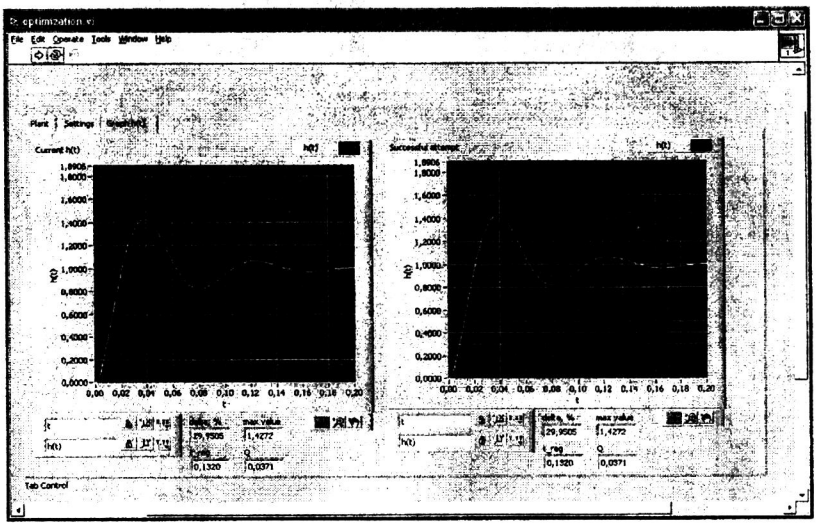

Рисунок 3.3.7 – Диалоговое окно ***Graph h(t)*** по завершению процесса оптимизации лицевой панели ***ВП 2***

Вы можете перейти на вкладку ***Settings***, чтобы ознакомиться со значениями параметров на момент завершения процесса оптимизации (рис.3.3.8).

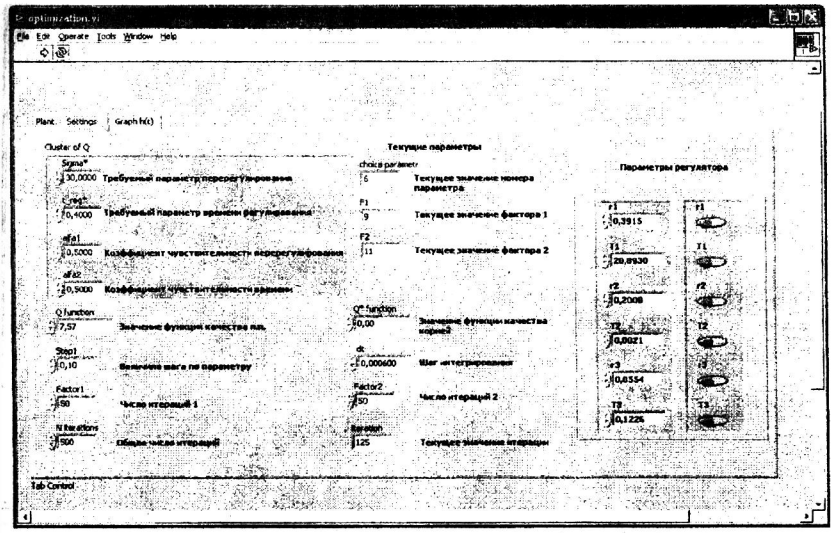

Рисунок 3.3.8 – Диалоговое окно ***Settings*** по завершению процесса оптимизации лицевой панели ***ВП 2***

Также вы можете обратиться к вкладке ***Plant***, на которой увидите модель системы с оптимизированными параметрами корректирующего устройства на момент завершения процесса оптимизации (рис.3.3.9).

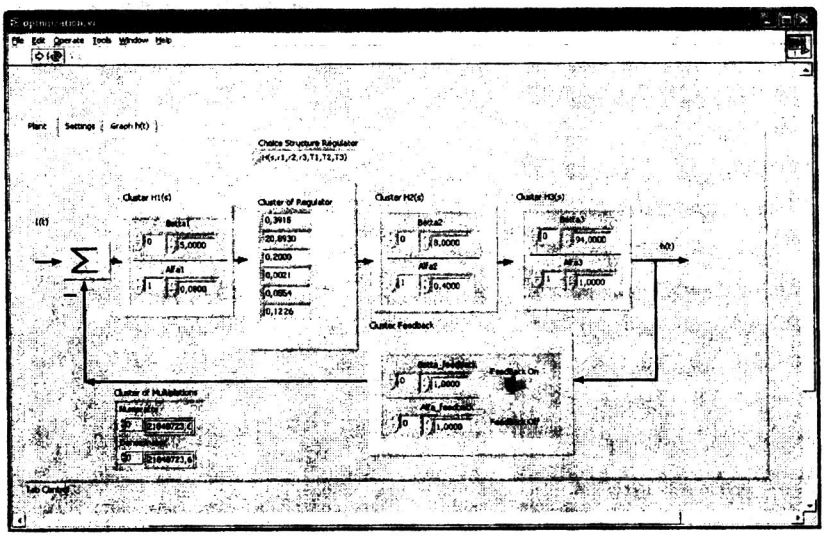

Рисунок 3.3.9 – Диалоговое окно ***Plant*** по завершению процесса оптимизации лицевой панели ***ВП 2***

Если вас не устроили результаты оптимизации или, возможно, оптимизация параметров не приводит к улучшению показателей качества, тогда остановите процесс, вернитесь ко вкладке ***Settings***, попробуйте поменять значение шага оптимизации, или ограничения на число итераций, или задайте новые начальные условия (см. выше ***пример 3.3.1***).

Для того чтобы проверить устойчивость уже откорректированной системы, вернитесь к ***ВП 1***. Следуя описанию ***примера 3.2.1***, опишите модель полученной в результате коррекции системы (рис.3.3.9) и исследуйте ее.