

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального
образования
«МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)»
ВОЛЖСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра математики и информатики



Лабораторный практикум по дисциплине

«Аппаратно-программные комплексы»

для направления

09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

профиля

**«Автоматизированные системы обработки информации и
управления»**

ЧАСТЬ 2

СИНТЕЗ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Для студентов очной формы обучения

Чебоксары 2015

Рецензенты:

М.В. Максимова, кандидат физико-математических наук доцент кафедры математики и информатики Волжского филиала Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)

О.Н. Зайцев, кандидат технических наук профессор кафедры «Управление в технических системах и программирование» Чебоксарского политехнического института (филиала) ФГБОУ ВПО «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)»

К 862 Изосимова Т.А., Ксенофонтова И.В. Лабораторный практикум по дисциплине «Аппаратно-программные комплексы». Часть 2. – Чебоксары: Волжский филиал Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), 2015. – 46 с.

Методическое пособие составлено в соответствии с действующей программой курса «Аппаратно-программные комплексы» для студентов направления 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника». Предназначено для студентов очной формы обучения. В нем кратко изложены необходимые теоретические сведения и методические указания для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Аппаратно-программные комплексы».

*Печатается по решению Учебно-методического совета
Волжского филиала МАДИ*

Содержание

Введение.....	4
Лабораторная работа №1. Одноконтурная автоматическая система регулирования с идеальным ПИ-регулятором	6
Лабораторная работа №2. Одноконтурная автоматическая система регулирования с П, ПИ законом регулирования (расчет настроек регулятора методом Зиглера-Николса).....	13
Лабораторная работа №3. Одноконтурная автоматическая система регулирования с ПИД законом регулирования (расчет настроек регулятора по методу Куна по возмущению).....	19
Лабораторная работа №4. Аппроксимация типовых процессов объекта с самовывравниванием	22
Лабораторная работа №5. Одноконтурная автоматическая система регулирования с ПИД регулятором.....	28
Приложение 1. Варианты заданий.....	34
Приложение 2. Формулы для определения настройки промышленных регуляторов.	35
Приложение 3. Графики.	38

Введение.

Одним из этапов создания системы управления технологическим процессом является анализ применимости тех или иных алгоритмов управления, исследование поведения системы в различных ситуациях, учет многочисленных факторов, влияющих на работоспособность системы и т.д.

Решение таких задач целесообразно проводить с помощью моделирования динамических систем во временной области, используя средства вычислительной техники. Для моделирования динамических систем во временной области существует достаточное количество программ, отличающихся сервисом, предоставляемым пользователю.

Процесс моделирования динамических систем на ПЭВМ состоит из следующих этапов:

1. Формулировка задачи.
2. Представление моделируемой системы в одном из принятых в программе виде:
 - структуры типовых блоков из библиотеки пакета;
 - структуры, задаваемой в виде сигнального графа;
 - математических выражений, записанных по определенным правилам.
3. Ввод структуры модели, значений коэффициентов, начальных условий и параметров моделирования в ПЭВМ.
4. Задание информации о результатах моделирования, необходимой для выдачи на экран монитора или печать.
5. Собственно моделирование: запуск на решение, изменение параметров, анализ информации на экране, редактирование модели и т.д.
6. Документирование результатов моделирования и сохранение модели для последующей работы.

Для выполнения поставленной нами задачи используем программный комплекс для моделирования динамических систем «**20-sim Pro 2.3**», разработанный в TWENTE UNIVERSITY of TECHNOLOGY, Enschede, The Netherlands (www.20-sim.com).

Программный комплекс работает под управлением операционной системы Windows–9x, на компьютерах с процессором i486DX-4 и выше при объеме оперативной памяти не менее 16 Мб. Саморазархивирующийся файл «**20sim**» имеет объем 7,87 Мб и после запуска сам устанавливает программный комплекс на ПЭВМ. После завершения установки программный комплекс размещается в папке «**20-sim**» на выбранном пользователем диске. Одновременно в меню рабочего стола (**Пуск → Программы → 20-sim 2.3**) помещаются команды доступа к основным файлам программы, предназначенных для:

- помощи (**20-sim Help**)
- руководство пользователя (**20-sim Manual**),
- демонстрации работы программы (**20-sim Pro 2.3 demo**),
- работы (**20-sim Pro 2.3**),
- демонстрации примеров моделей (**Demo Models**),

– обучения пользователей (**Tutorial**).

Файл **Tutorial**, предназначенный для обучения работе с программным комплексом автоматически запускает видеоплеер и позволяет просмотреть видеоролики, объясняющие приемы задания структурных схем, ввода значений, исправлений, получение результатов для трех приведенных выше видов представлений моделируемой системы (структуры типовых блоков из библиотеки программного комплекса; структуры, задаваемой в виде сигнального графа; математических выражений). Технологию использования «**20-sim**» для структурного моделирования динамических систем с помощью типовых блоков показывает файл **Demoblk**.

Программный комплекс для моделирования динамических систем «**20-sim**» состоит из двух связанных между собой программ:

1. Графического редактора (**Graf Editor**),
2. Моделирующей системы (**Simulator**).

Этапы моделирования объединены в две стадии в соответствии с используемой программой: составление модели и подготовка и проведение эксперимента.

При описании моделируемой системы в цикле лабораторных работ по курсу «Системы автоматизации и управления» используется представление моделируемой системы в виде структуры типовых блоков из библиотек программного комплекса для моделирования динамических систем «**20-sim**».

Представление моделируемой системы в виде блоков требует некоторого навыка. Наиболее просто задача решается, если математическое описание объекта, регулятора и преобразователей задается в виде передаточных функций. Структурная схема системы для моделирования на ПЭВМ получается с помощью последовательного, параллельного или встречно-параллельного соединения блоков, входящих в библиотеку пакета.

В библиотеки «**20-sim**» входят различные блоки: статические и динамические звенья, нелинейные, логические и дискретные блоки, источники сигналов, типовые регуляторы и критерии, блоки математических функций и др.

Лабораторная работа №1

Одноконтурная автоматическая система регулирования с идеальным ПИ-регулятором

Цель лабораторного занятия: исследование одноконтурной АСР с ПИ-законом регулирования с использованием программы моделирования динамических систем "20 sim"

Задание на работу

1.1. Разработать структурную схему модели системы регулирования, определить значения вводимых коэффициентов модели объекта и рассчитать оптимальные значения параметров настройки регулятора.

$$W(p) = \frac{Ke^{-\tau p}}{(T_1 p + 1)}.$$

1.2. Набрать в графическом редакторе 20 sim подготовленную модель одноконтурной АСР с идеальным ПИ-регулятором и вызвать окно моделирования

1.3. Подготовить эксперимент, задав значения коэффициентов модели, начальные условия, параметры моделирования и список графиков, выводимых на экран. Установить рассчитанные по модели объекта оптимальные значения параметров настройки ПИ-регулятора.

1.4. Провести процесс моделирования при ступенчатом воздействии по заданию регулятору и по каналу регулирующего органа. Сохранить полученную модель системы и параметры эксперимента.

1.5. Рассчитать основные оценки качества регулирования: время регулирования, перерегулирование, степень затухания.

1.6. В отчете по этому заданию представить распечатку модели системы с ПИ-регулятором, графики процессов для всех вариантов настройки регулятора.

Выполнение работы.

1. Структурная схема одноконтурной АСР приведена на рис. 1.1.

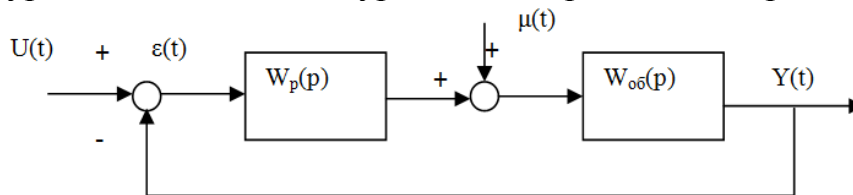


Рис.1.1. Структурная схема одноконтурной АСР

$\mu(t)$ - возмущающее воздействие по каналу регулирующего органа

$U(t)$ – задающее воздействие

$W_p(p)$ – передаточная функция регулятора

$W_{об}(p)$ – передаточная функция объекта

$Y(t)$ – регулируемая величина

Рассчитаем по приближенным формулам полученным ВТИ им.Дзержинского оптимальные значения параметров настройки ПИ-регулятора (в зависимости от значения τ/T).

2. На основании структурной схемы (рис.1.1) составим структурную схему моделирования одноконтурной системы регулирования с ПИ законом регулирования в программе 20sim.

2.1 Для этого в графическом редакторе «20-SIM» создадим подмодель объекта.

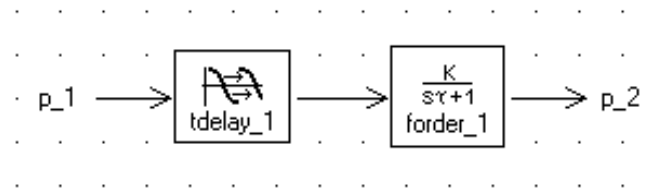


Рис.1.2. Подмодель объекта в 20-sim

2.2 Сохраним подмодель. Для этого выберем пункты меню **Process** → **Check&Save SIDOPS**. В открывшемся окне введем название нашей модели в поле **Choice** и нажмем кнопку **OK**.

!	Внимание: Имя модели вводится только буквами латинского (английского) алфавита. В конце имени обязательно должна стоять цифра. Пример: lab1_5
----------	--

2.3. Собираем основную модель системы регулирования.

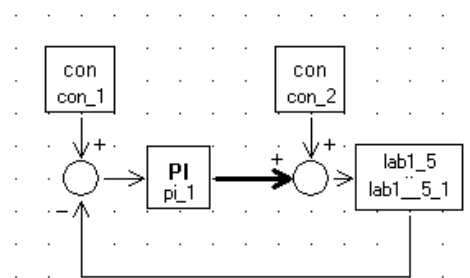


Рис.1.3. Основная модель в 20-sim

Подмодель вызывается из библиотеки **My Project** как обычный блок. Для открытия в графическом редакторе структуры подмодели, необходимо выделить блок подмодели, щелкнуть ПКМ и в открывшемся контекстном меню вызвать пункт **Show Submodels** (показать подмодель). Основная (родительская) модель при этом предварительно должна быть сохранена. Для возврата в основную модель из подмодели в этом же меню необходимо выбрать пункт перехода к исходной модели **Show Parent**.

2.3 Сохраним модель. Для этого выберем пункты меню **File** → **Save As...** В открывшемся окне введем название нашей модели в поле **Choice** и нажмем кнопку **OK**.

2.4 Подготовим эксперимент. Выберем пункт меню **Simulation**. В открывшемся окне выберем пункт меню **Experiment** («Эксперимент»). В меню этого пункта необходимо последовательно задать значения коэффициентов (пункт меню **Parameters**), начальных условий (пункт меню **Initial Conditions**), параметров моделирования (пункт меню **Run Specifications**) и вывода информации (пункт меню **Plot Specifications**).

Выберем пункт **Parameters** (Параметры) в открывшемся окне введем значения коэффициентов при ступенчатом воздействии по заданию регулятора.



Примечание: Значение коэффициентов для вашего варианта смотреть в Приложение 1.

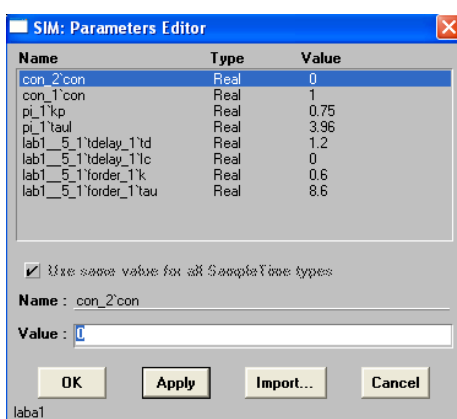


Рис 1.4. Окно ввода значений коэффициентов модели

Далее выберем пункт меню **Experiment** → **Initial Conitdions** (Начальные условия). В нем необходимо задать нулевые начальные условия для всех параметров. Нажмем кнопку **States** для обнуления всех параметров и затем кнопку **OK**.

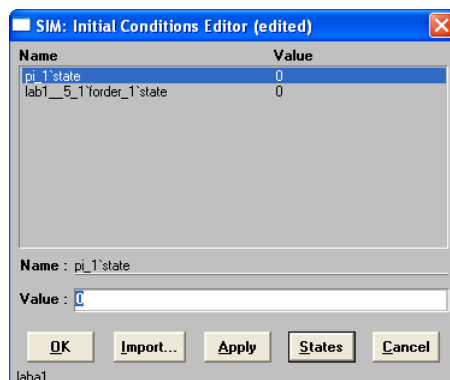


Рис 1.5. Окно ввода начальных условий

Откроем пункт меню **Experiment** → **Run Specifications** (Параметры моделирования). Данное меню определяет значения по оси абсцисс (X). Введем время начала и конца эксперимента в поля **Start Time** и **Finish Time**.

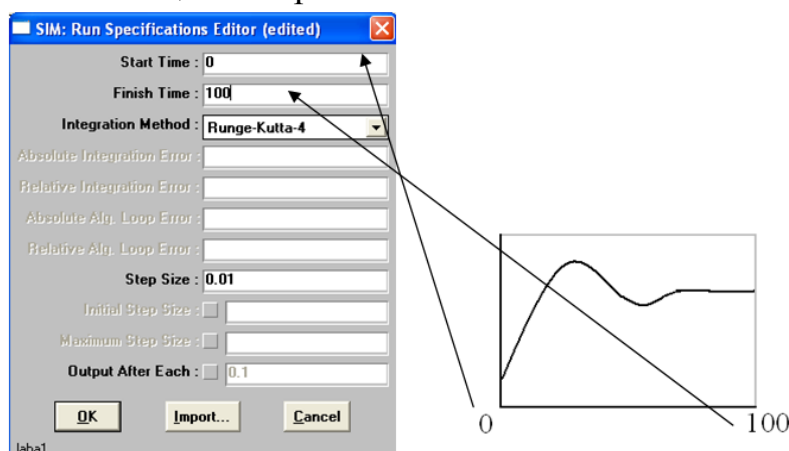


Рис 1.6. Окно ввода значений параметров решения задачи моделирования

Для настройки вывода графиков откроем меню **Experiment** → **Plot Specifications**, в открывшемся окне нажмем кнопку **Choose Name**. Из списка необходимо выбрать графики для вывода.

! Примечание: inp - это input-вход, outp – это output - выход.

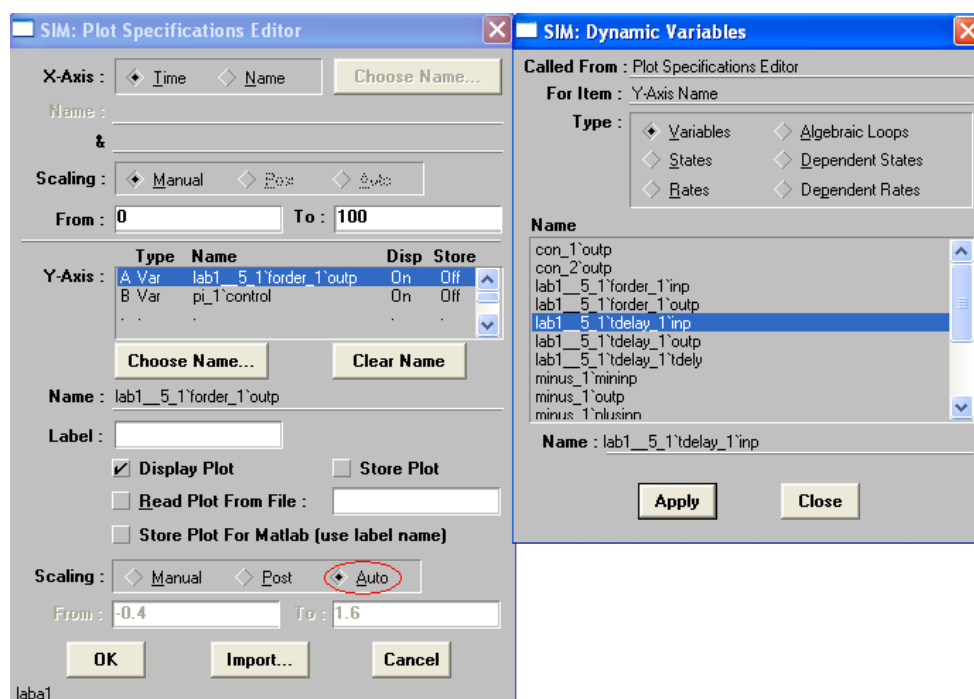


Рис 1.7. Окно подготовки выводимой информации

Для каждого графика в поле **Label** вводим название.

В программе «20–sim» реализован автоматический выбор масштабов выводимых графиков – **Auto**. Для задания масштабов вручную необходимо использовать режим **Manual** («Ручной»), и для каждого выводимого графика задать нужные значения **From** и **To** (“От” и “До”). Выбираем для обоих графиков **Auto**. Нажимаем **OK**. На этом процесс подготовки эксперимента заканчивается.

2.5 После того, как модель и необходимые параметры заданы, можно проводить эксперимент, т.е. осуществлять решение сформулированной задачи.

Подготовленный эксперимент запускаем выбором пункта меню **Action** → **Start Simulation** либо нажатием на кнопку панели инструментов  (Start Simulation)

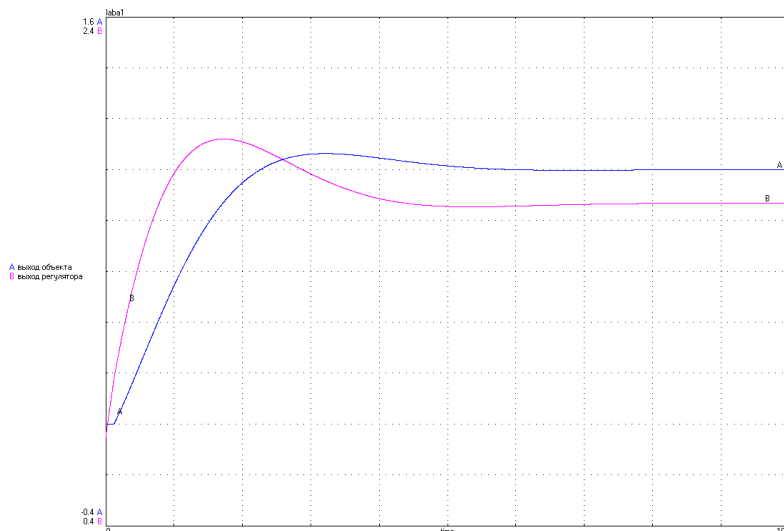


Рис 1.8. Пример изображения на экране результатов эксперимента

Сохраняем полученную модель системы и параметры эксперимента.

2.6 Подготовим эксперимент и проведем процесс моделирования, задав те же значения коэффициентов модели (по каналу регулирующего органа), начальные условия.

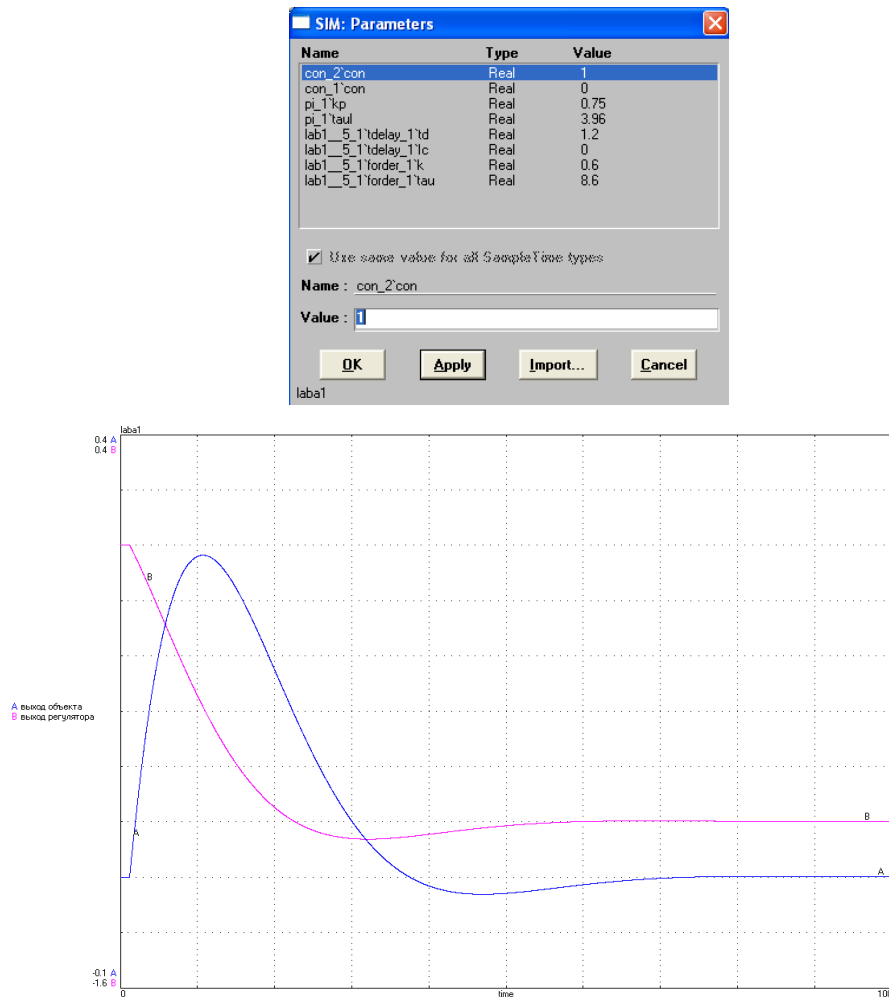
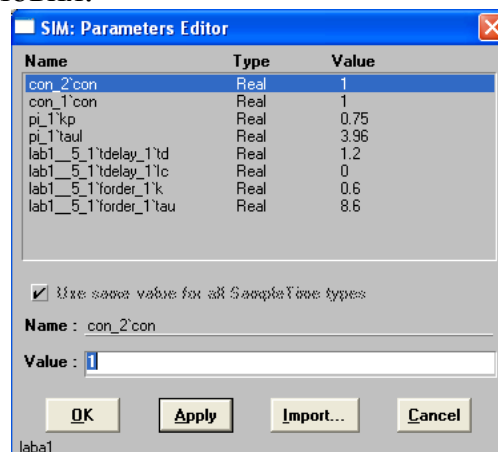


Рис 1.9. Пример изображения на экране результатов эксперимента

2.7 Подготовим эксперимент и проведем процесс моделирования, задав те же значения коэффициентов модели (задав единичные значения по двум каналам), начальные условия.



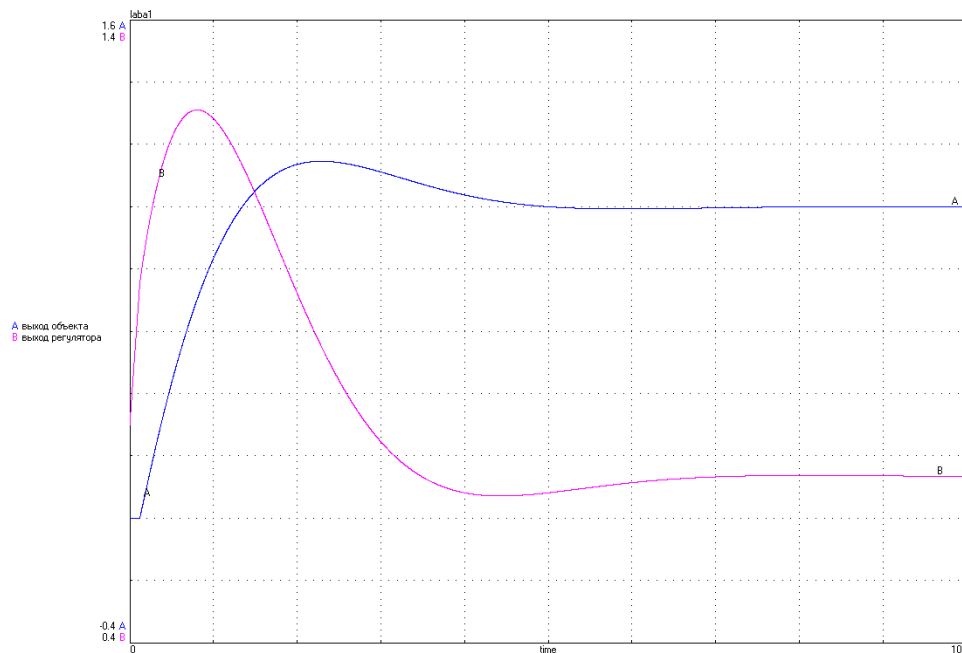


Рис 1.10. Пример изображения на экране результатов эксперимента

Сохраняем полученную модель системы и параметры эксперимента.

3. Для каждого графика необходимо рассчитать основные критерии качества:

Степень затухания ψ есть отношение разности двух соседних положительных амплитуд колебаний выходной величины к первой из них:

$$\psi = \frac{x_{\text{вых}1} - x_{\text{вых}3}}{x_{\text{вых}1}}$$

При незатухающих колебаниях $\psi = 0$. Чем больше ψ , тем быстрее затухает переходный процесс. В практике обычно выбирается значение в диапазоне $0,7 \leq \psi \leq 0,9$.

Перерегулированием (при изменении задания регулятору) называется отношение разности между максимальным отклонением и установившимся значением регулируемой величины к установившемуся значению регулируемой величины:

$$\sigma = \frac{x_{\text{вых, макс}} - x_{\text{вых} \infty}}{x_{\text{вых} \infty}} \cdot 100\% \text{ (по отклонению)}$$

$$\sigma = \frac{x_{\text{вых}2} - x_{\text{вых}1}}{x_{\text{вых}1}} \cdot 100\% \text{ (по возмущению)}$$

Время регулирования t_p есть промежуток времени, в течение которого отклонение регулируемой величины от заданного значения делается меньше определенной наперед заданной величины $\Delta x_{\text{вых}}$.

Режимы снятия выходных характеристик (рис. 1.11)

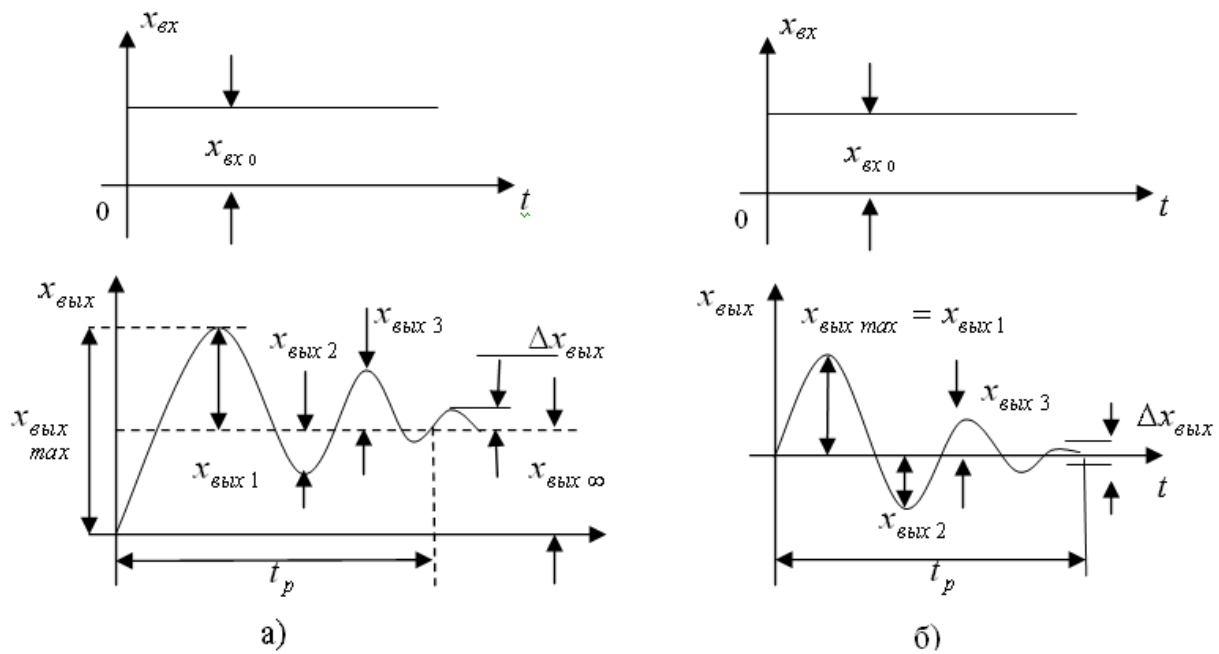


Рис.1.11 а) – при ступенчатом воздействии по заданию регулятора по отклонению
 б) – по каналу регулирования органа по возмущению

4. Отчет о проделанной работе должен содержать:

- Задание на работу
- Ход выполнения работы
- Полученные результаты работы.
- Выводы о проделанной работе

Лабораторная работа №2

Одноконтурная автоматическая система регулирования с П, ПИ законом регулирования (расчет настроек регулятора методом Зиглера-Николса)

Цель лабораторного занятия: исследование одноконтурной АСР с П и ПИ законом регулирования с использованием программы моделирования динамических систем "20 sim"

Задание на работу

При подготовке к лабораторному занятию необходимо разработать структурную схему модели системы регулирования, определить значения вводимых коэффициентов модели (в соответствии с заданием), рассчитать оптимальные значения параметров настройки регулятора и произвести расчет основных оценок качества регулирования.

$$W(p) = \frac{K e^{-\tau}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}.$$

Выполнение работы.

1. Структурная схема одноконтурной АСР будет иметь следующий вид:

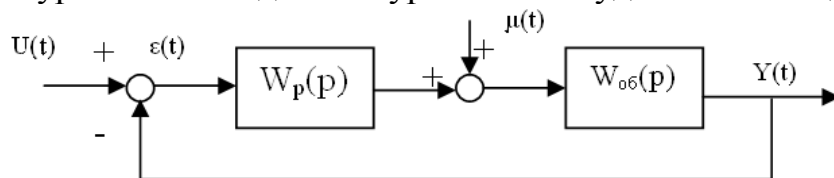


Рис.2.1. Структурная схема одноконтурной АСР

$\mu(t)$ - возмущающее воздействие по каналу регулирующего органа

$U(t)$ – задающее воздействие

$W_p(p)$ – передаточная функция регулятора

$W_{об}(p)$ – передаточная функция объекта

$Y(t)$ – регулируемая величина

2. Для снятия переходной характеристики объекта составляем структурную схему моделирования в программе 20sim.

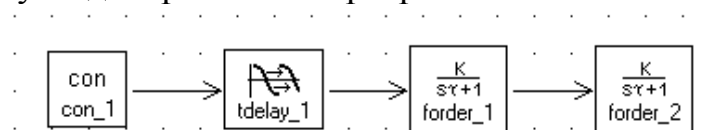
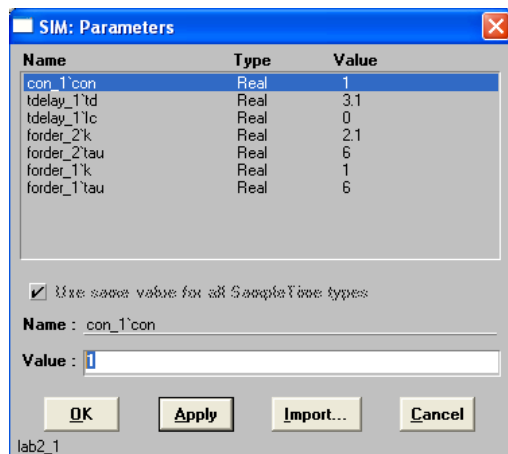


Рис.2.2. Структурная схема переходной характеристики.

2.1 Сохраним модель File → Save As.

2.2 Вызовем окно проведения эксперимента, нажав Simulation. Подготовим эксперимент, задав коэффициенты модели объекта, начальные условия, параметры решения и список графиков, выводимых на экран.



SIM: Parameters

Name	Type	Value
con_1'con	Real	1
tdelay_1'd	Real	3.1
tdelay_1'l	Real	0
forder_2'k	Real	2.1
forder_2'tau	Real	6
forder_1'k	Real	1
forder_1'tau	Real	6

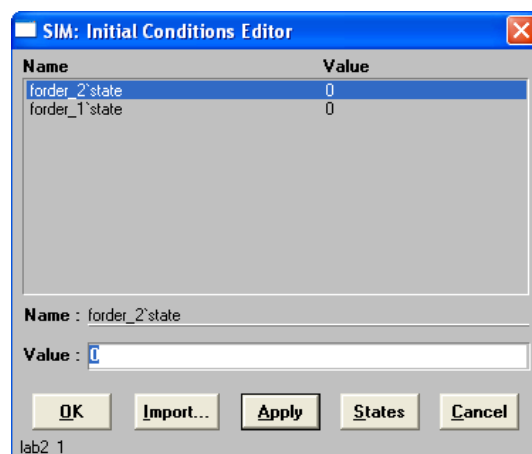
☒ Use same value for all SampleTime types

Name : con_1'con

Value :

OK Apply Import... Cancel

a)



SIM: Initial Conditions Editor

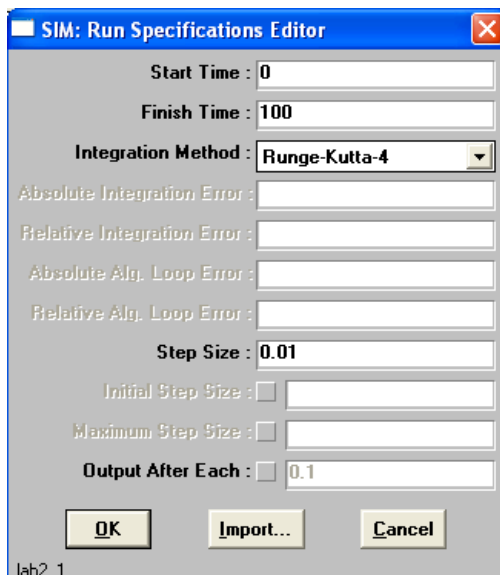
Name	Value
forder_2'state	0
forder_1'state	0

Name : forder_2'state

Value :

OK Import... Apply States Cancel

б)



SIM: Run Specifications Editor

Start Time :

Finish Time :

Integration Method : **Runge-Kutta-4**

Absolute Integration Error :

Relative Integration Error :

Absolute Alg. Loop Error :

Relative Alg. Loop Error :

Step Size :

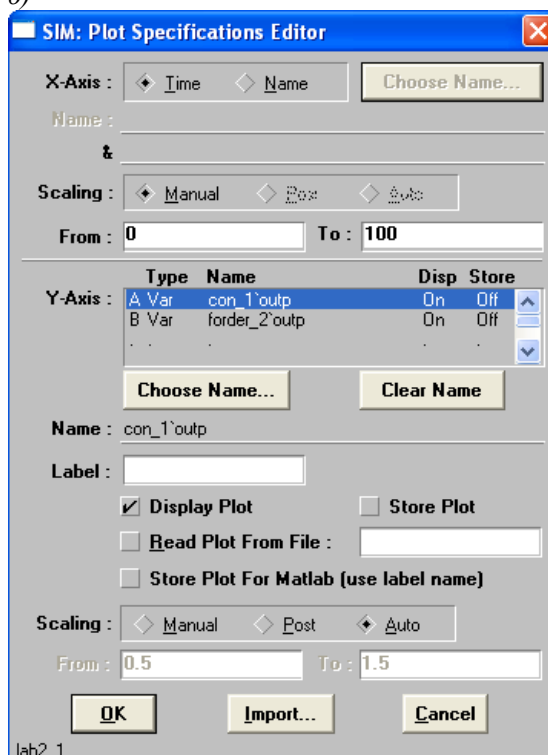
Initial Step Size : ☐

Maximum Step Size : ☐

Output After Each : ☐

OK Import... Cancel

в)



SIM: Plot Specifications Editor

X-Axis : ☒ Time ☐ Name

Name :

Scaling : ☒ Manual ☐ Post ☐ Auto

From : To :

Type	Name	Disp	Store
A Var	con_1'outp	On	Off
B Var	forder_2'outp	On	Off

Name : con_1'outp

Label :

☒ Display Plot ☐ Store Plot

☐ Read Plot From File :

☐ Store Plot For Matlab (use label name)

Scaling : ☐ Manual ☐ Post ☒ Auto

From : To :

OK Import... Cancel

г)

Рис.2.3. Окна ввода параметров эксперимента.

2.3 Подготовленный эксперимент запускаем выбором пункта меню **Action** → **Start Simulation** либо нажатием на кнопку панели инструментов  (Start Simulation).

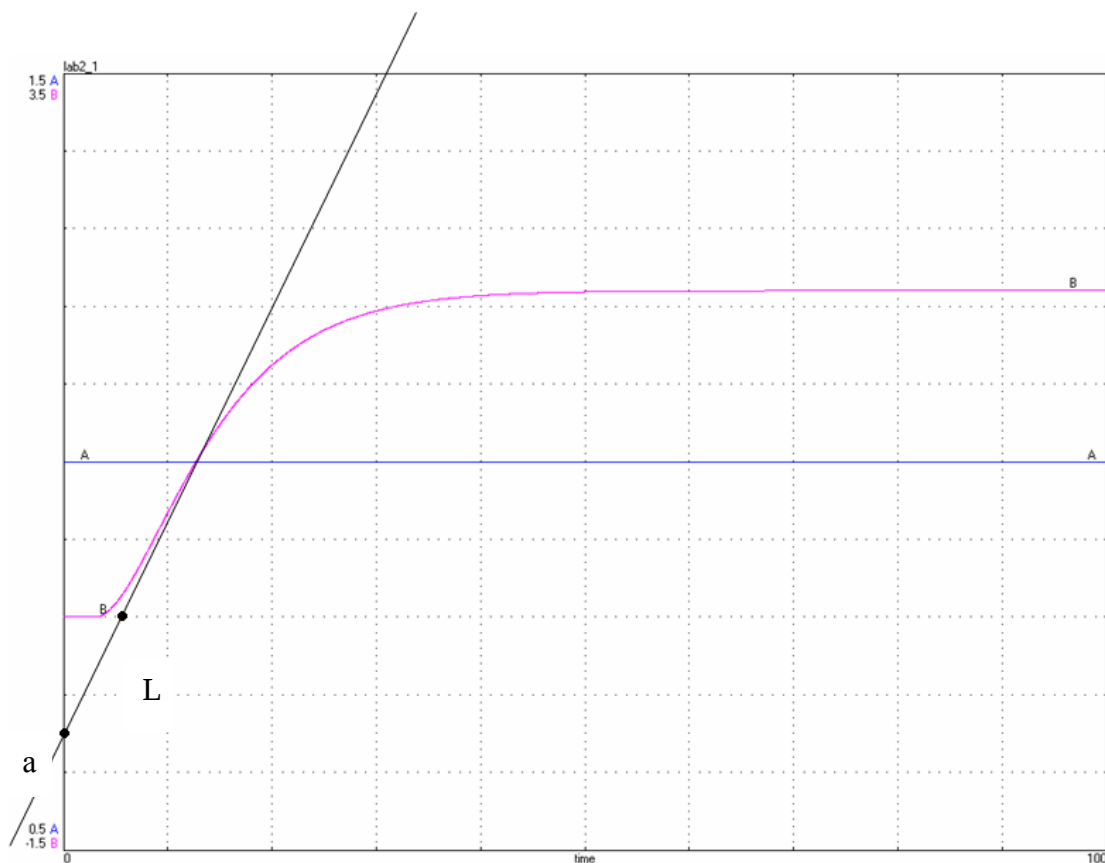


Рис.2.4. Пример изображения на экране результатов эксперимента

2.4 Находим по графику значения a и L , и определяем параметры регулирования.

3.1 На основании структурной схемы (п.1) составляем структурную схему моделирования одноконтурной системы регулирования с П законом регулирования в программе 20 sim.

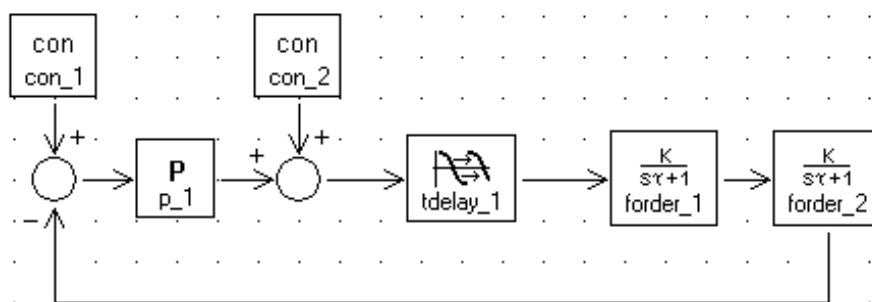


Рис.2.3.1 Структурная схема одноконтурной системы с П законом регулирования

3.2 Рассчитаем настройки П-регулятора по методу Зиглера-Николса для объектов с самовывравниванием для всех существующих критериев качества (расчет по отклику на скачок) (Приложение 2)

3.3 Вызовем окно проведения эксперимента, нажав **Simulation**. Подготовим эксперимент, задав коэффициенты модели объекта, начальные условия, параметры решения и список графиков, выводимых на экран.

SIM: Parameters

Name	Type	Value
con_2'con	Real	0
con_1'con	Real	1
p_1'kp	Real	0.6
tdelay_1'td	Real	3.5
tdelay_1'tc	Real	0
forder_2'k	Real	1
forder_2'tau	Real	10
forder_1'k	Real	2.5
forder_1'tau	Real	10

☒ Use same value for all SampleTime types

Name : con_2'con

Value :

OK Apply Import... Cancel

a)

SIM: Initial Conditions Editor

Name	Value
forder_2'state	0
forder_1'state	0

Name : forder_2'state

Value :

OK Import... Apply States Cancel

б)

SIM: Run Specifications Editor

Start Time :

Finish Time :

Integration Method : **Runge-Kutta-4**

Absolute Integration Error :

Relative Integration Error :

Absolute Alg. Loop Error :

Relative Alg. Loop Error :

Step Size :

Initial Step Size : ☐

Maximum Step Size : ☐

Output After Each : ☐

OK Import... Cancel

в)

SIM: Plot Specifications Editor

X-Axis : ☐ Time ☐ Name

Name :

Scaling : ☐ Manual ☐ Post ☐ Auto

From : To :

Type	Name	Disp	Store
A Var	forder_1'outp	On	Off
B Var	p_1'control	On	Off

Name : forder_1'outp

Label :

☒ Display Plot ☐ Store Plot

☐ Read Plot From File :

☐ Store Plot For Matlab (use label name)

Scaling : ☐ Manual ☐ Post ☒ Auto

From : To :

OK Import... Cancel

г)

Рис.2.5. Окна ввода параметров эксперимента

3.4 Подготовленный эксперимент запускаем выбором пункта меню

Action → **Start** либо нажатием на кнопку панели инструментов 

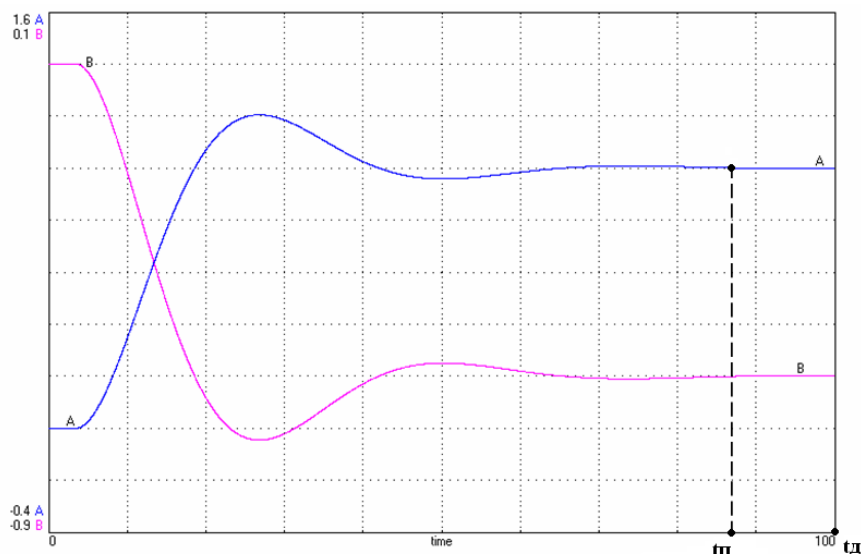


Рис. 2.6. Пример изображения на экране результатов эксперимента

$t_n < t_d$, где $t_n = T_1 * T_2$. t_n – время установившееся, t_d – допустимое время.

!

Внимание: Если $t_n > t_d$, необходимо изменить наклон касательной и заново определить коэффициенты.

3.5 Рассчитаем по полученному графику основные критерии качества:

Степень затухания: $\psi = \frac{x_{вых1} - x_{вых3}}{x_{вых1}}$

Перерегулирование: $\sigma = \frac{x_{вых.макс} - x_{вых\infty}}{x_{вых\infty}} * 100\%$

Время регулирования: $t_{рег}$

4. Прделаем те же действия (п.3.1 – п.3.4), заменив П-регулятор на ПИ-регулятор.

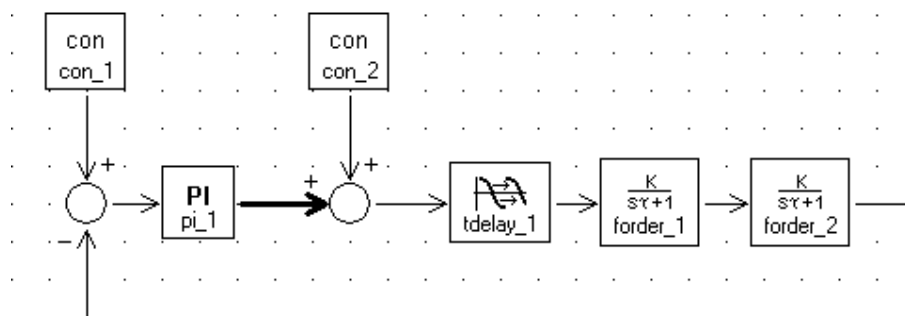
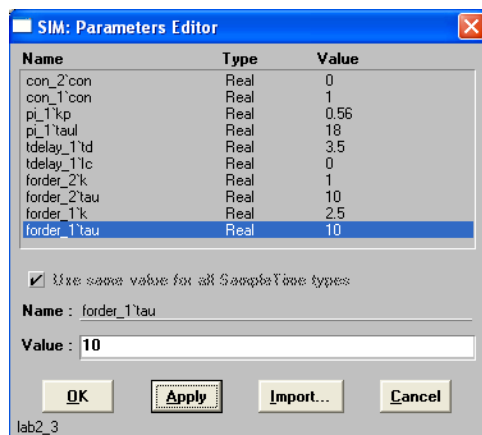
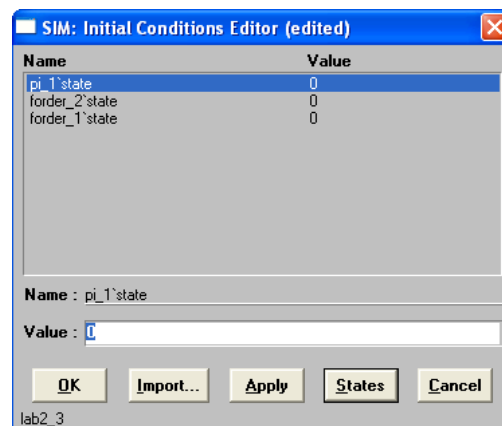


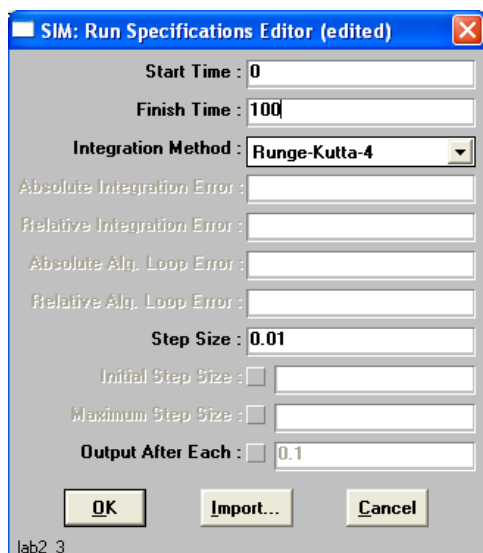
Рис.2.7. Структурная схема одноконтурной системы с ПИ законом регулирования



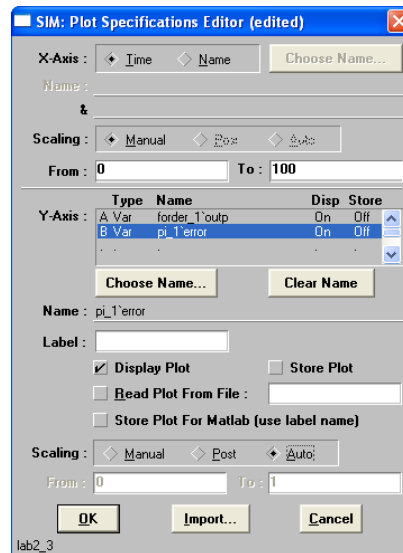
а)



б)



е)



з)

Рис.2.8. Окна ввода параметров эксперимента

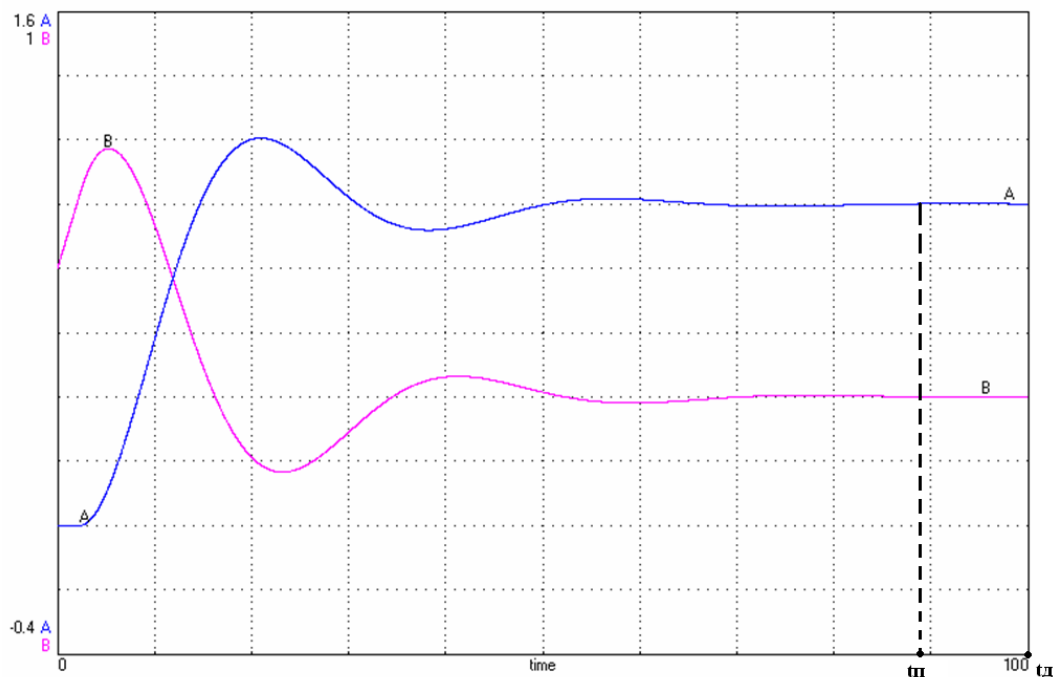


Рис. 2.9. Пример изображения на экране результатов эксперимента

5. Рассчитаем по полученному графику основные критерии качества:

Степень затухания: $\psi = \frac{x_{\text{вых1}} - x_{\text{вых3}}}{x_{\text{вых1}}}$

Перерегулирование: $\sigma = \frac{x_{\text{вых.макс}} - x_{\text{вых.уст}}}{x_{\text{вых.уст}}} * 100\%$

Время регулирования: $t_{\text{рег}}$

6. Оформление отчета. Отчет должен содержать:

- Цель работы
- Порядок выполнения работы
- Полученные результаты работы
- Выводы о проделанной работе

Лабораторная работа №3

Одноконтурная автоматическая система регулирования с ПИД законом регулирования (расчет настроек регулятора по методу Куна по возмущению)

Цель лабораторного занятия: исследование одноконтурной АСР с ПИД законом регулирования с использованием программы моделирования динамических систем "20 sim"

Задание на работу

При подготовке к лабораторному занятию необходимо разработать структурную схему модели системы регулирования, определить значения вводимых коэффициентов модели (в соответствии с заданием), рассчитать оптимальные значения параметров настройки регулятора методом Куна (нормальной и быстрой настройки) и произвести расчет полной оценки качества регулирования.

$$W(p) = \frac{Ke^{-\tau} (T_A p + 1)}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)},$$

(примечание $T_A = 0,5 * T_1$, остальные параметры см приложение1))

Выполнение работы.

1. Структурная схема одноконтурной АСР будет иметь следующий вид:

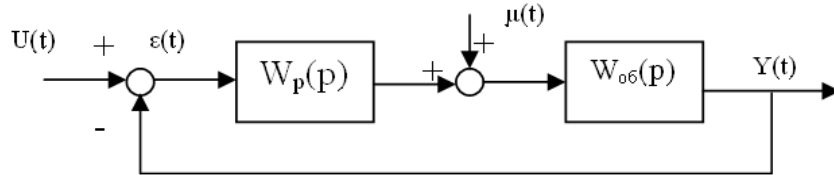


Рис.3.1. Структурная схема одноконтурной АСР

$\mu(t)$ - возмущающее воздействие по каналу регулирующего органа

$U(t)$ – задающее воздействие

$W_p(p)$ – передаточная функция регулятора

$W_{об}(p)$ – передаточная функция объекта

$Y(t)$ – регулируемая величина

2. На основании структурной схемы (п.1) составляем структурную схему моделирования одноконтурной системы регулирования с ПИД законом регулирования в программе 20 sim.

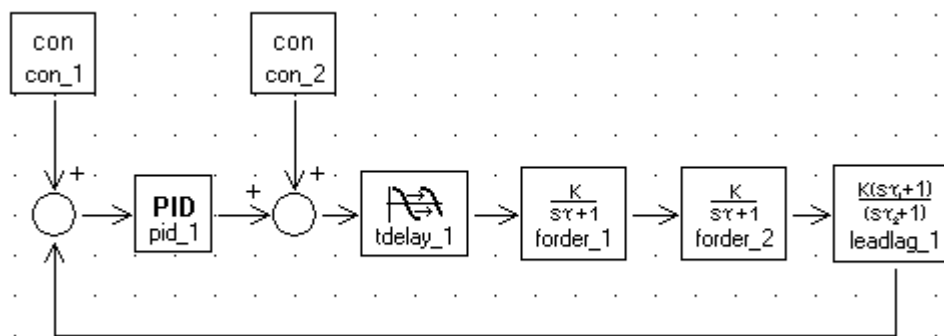


Рис.3.2. Структурная схема одноконтурной системы с ПИД законом регулирования

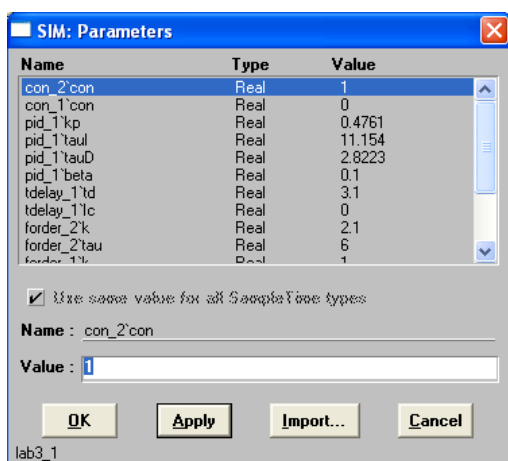
2.1 Сохраним модель **File** → **Save As**

2.2 Вызовем окно проведения эксперимента, нажав **Simulation**.

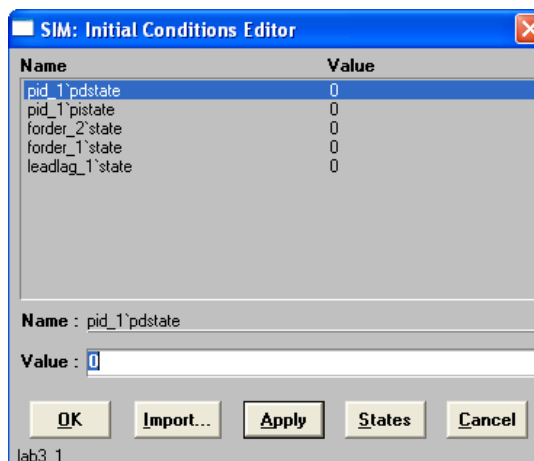
Подготовим эксперимент. Все параметры объекта вводим по заданию. Рассчитываем настройки ПИД-регулятора по методу Куна (нормальная настройка).

В окне ввода коэффициентов для параметра pid_1'beta задаем значение 0,05 – 0,2. Эти значения дают выигрыш по сравнению с ПИ-регулятором, а при beta=0 и $T_d \neq 0$, блок PID не работает. Если задать значения $T_d=0$ или beta=1, то блок PID будет моделировать обычный ПИ-закон регулирования, а при условии $T_d > 1$ – ПД закон регулирования.

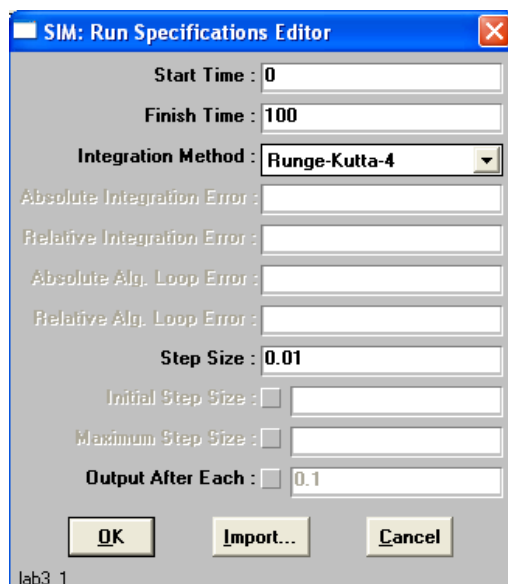
T_Σ вычисляется по формуле: $T_\Sigma = T_1 + T_2 + T_3 + \tau - T_d$



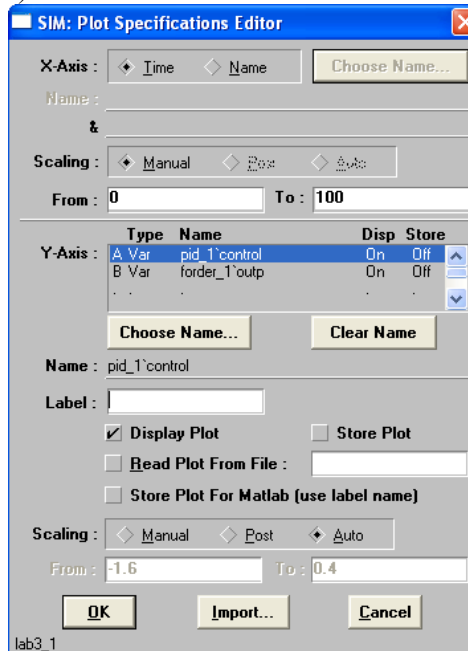
a)



b)



в)



г)

Рис.3.3. Окна ввода параметров эксперимента

2.3 Подготовленный эксперимент запускаем выбором пункта меню

Action → **Start** либо нажатием на кнопку панели инструментов

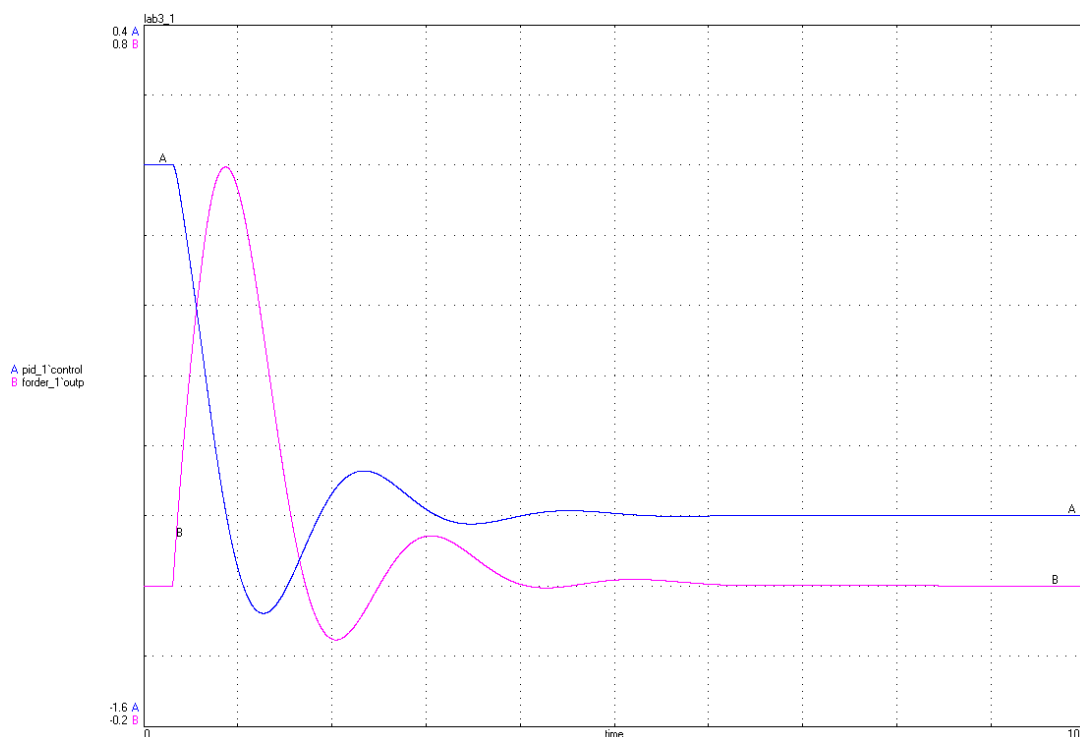


Рис.3.4. Пример изображения на экране результатов эксперимента

2.4 Произведем по полученному графику полную оценку качества регулирования.

3.1 Рассчитываем настройки ПИД-регулятора по методу Куна (быстрая настройка).

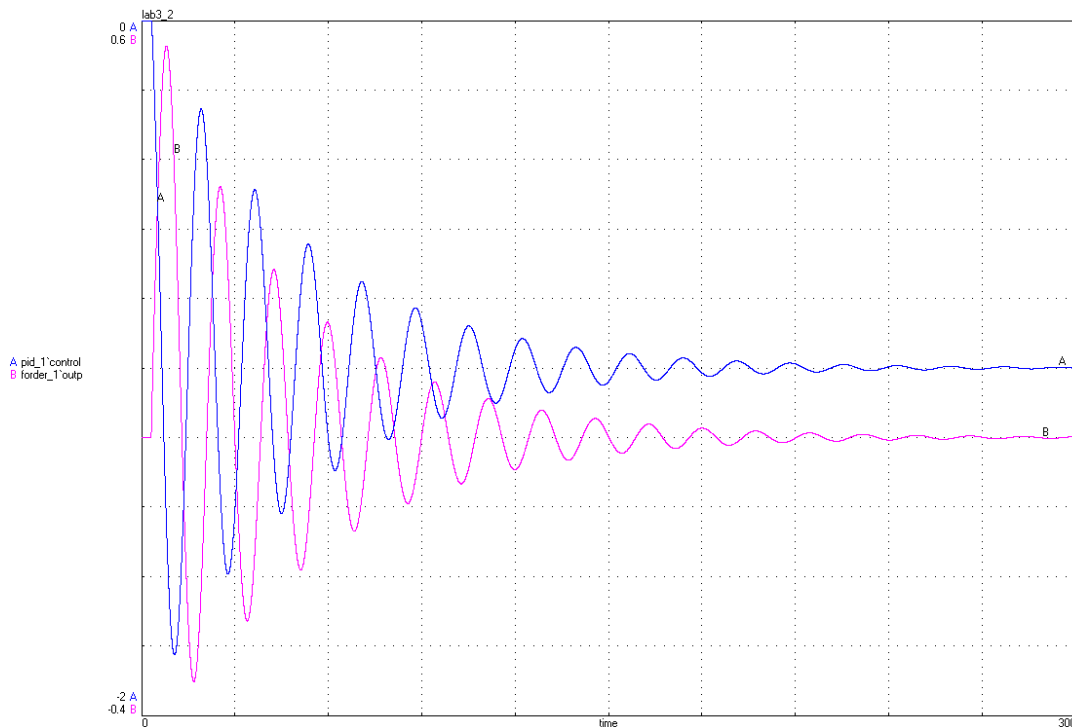


Рис.3.3.1. Пример изображения на экране результатов эксперимента

3.2 Произведем по полученному графику полную оценку качества регулирования.

4. Произвести сравнительный анализ (самостоятельно).

Лабораторная работа №4

Аппроксимация типовых процессов объекта с самовыравниванием

Цель лабораторного занятия: освоение возможностей работы с программным комплексом моделирования динамических систем 20 sim в режиме поиска минимума целевой функции на примерах аппроксимации экспериментально полученных типовых процессов математической моделью в виде передаточной функции заданной структуры.

Задание на работу

Аппроксимировать значения экспериментально полученного типового процесса для объекта с самовыравниванием в виде последовательного соединения ПИ регулятора, звена транспортного запаздывания и апериодического звена.

Варианты заданий в приложении 3.

Выполнение работы.

1. По заданному графику (смотрите приложение 3) составить в текстовом редакторе Блокнот табличные значения типового процесса регулирования (значения процесса заносятся в файл m1.tbl)



Внимание: При сохранении файла (Рис 4.1.2), расширение “.tbl” вписывается вручную.

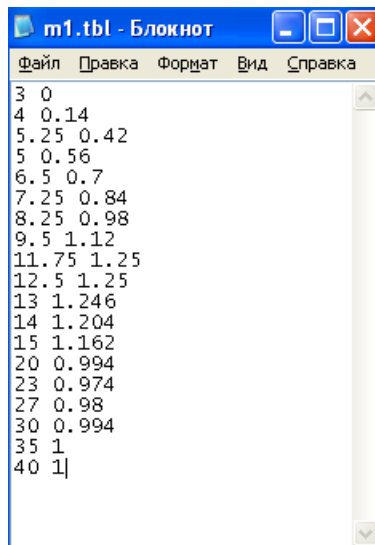


Рис 4.1. Пример ввода значений в файл m1.tbl

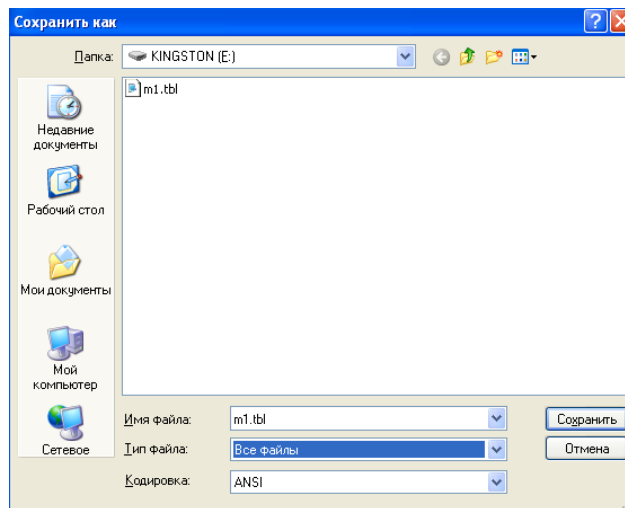


Рис.4.2 Сохранение значений в файл m1.tbl

2. Составляем и набираем структурную схему модели в пакете 20 sim.

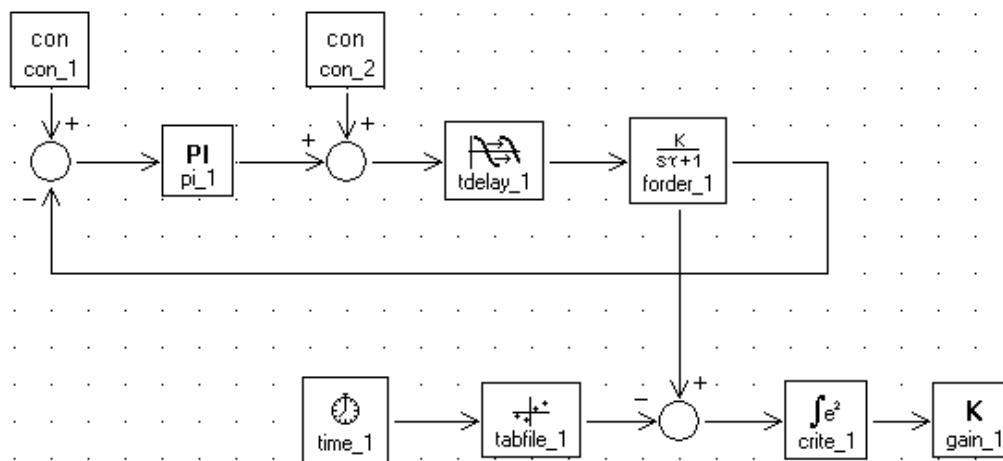


Рис.4.3. Структурная схема модели для решения задачи аппроксимации.

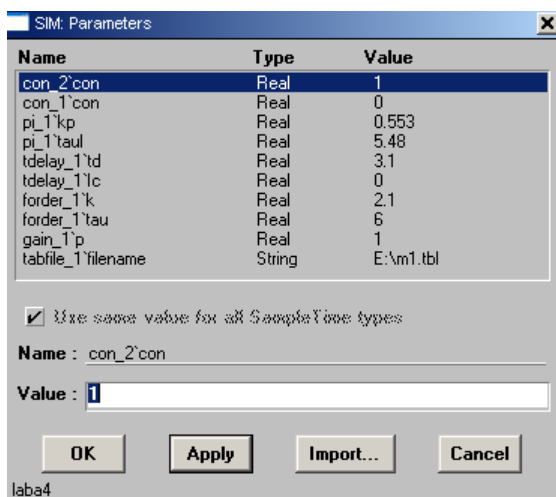
con1 – блок формирования ступенчатого входного сигнала;
 con2 – возмущающее воздействие по каналу регулирующего органа;
 tdelay – блок моделирования чистого запаздывания;
 forder – блок моделирования аperiодического звена;
 time – блок моделирования времени;
 tabfile – блок моделирования данных, заданных таблично;
 crite – блок формирования критерия приближения;
 gain –блок умножения входного сигнала на постоянное значение $K=1$.

3. Сохраним модель **File** → **Save As**.

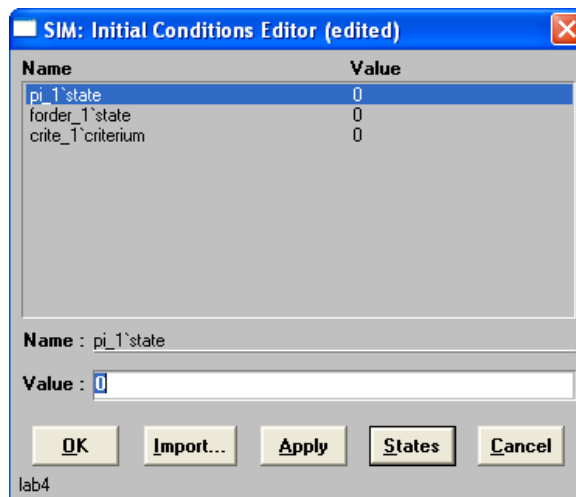
4. Вызовем окно проведения эксперимента, нажав **Simulation**. Подготовим эксперимент. Все параметры объекта вводим по заданию. Рассчитываем настройки ПИ-регулятора по методике Копелович для заданного типового процесса.

Для задания экспериментальной переходной характеристики блока tabfile необходимо в диалоговом окне указать полный путь к файлу m1.tbl.

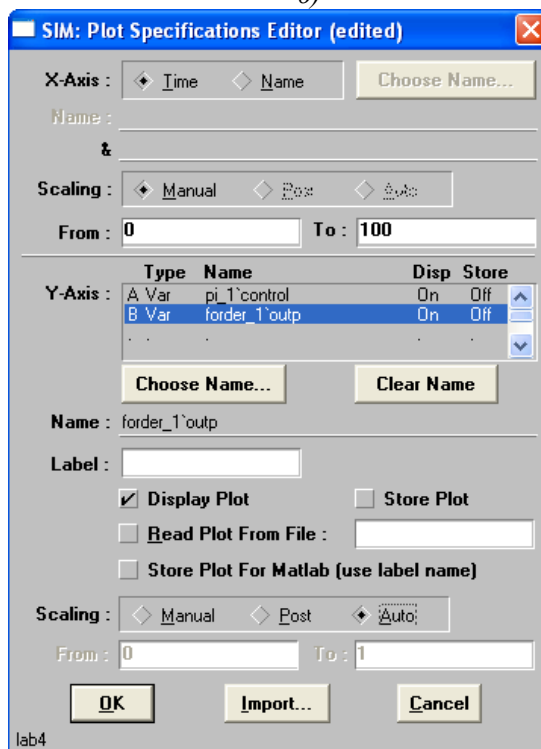
Выведем на экран график исходного процесса регулирования, график аппроксимирующего процесса регулирования.



a)



б)



в)

Рис.4.4. Окна ввода параметров эксперимента

5. Подготовленный эксперимент запускаем выбором пункта меню **Action**

→ **Start** либо нажатием на кнопку панели инструментов

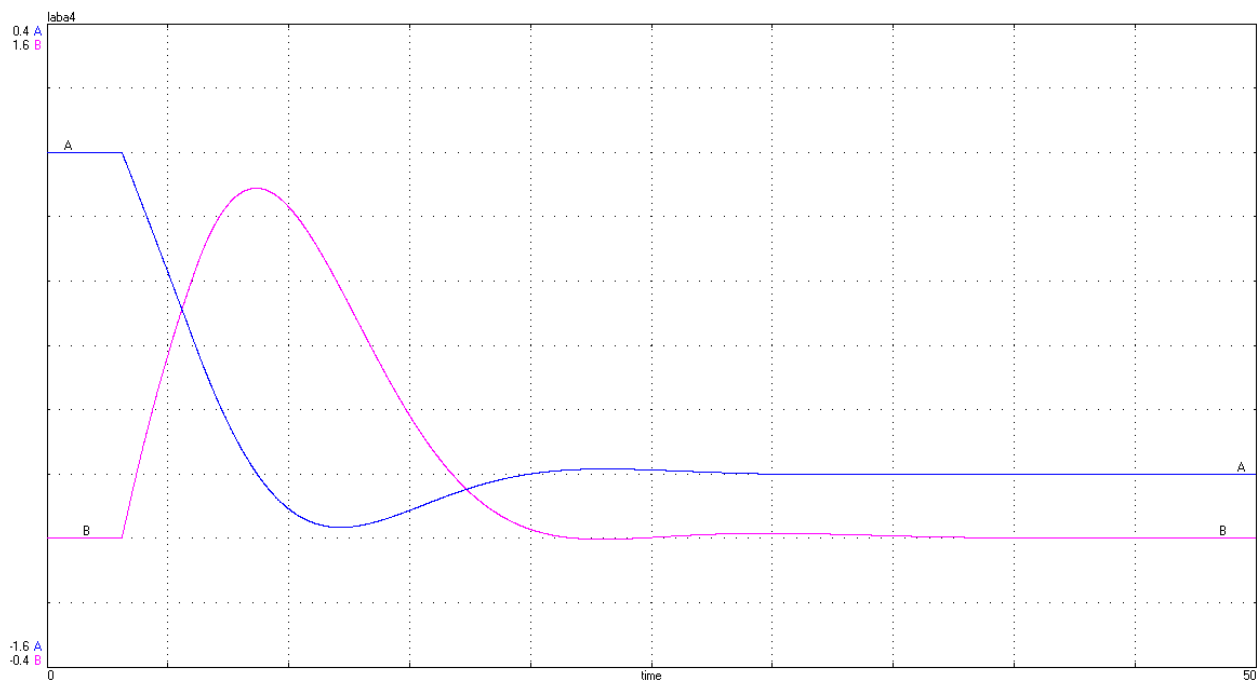


Рис.4.5. Пример изображения на экране результатов эксперимента

6. Зададим вывод на экран еще двух графиков: графика, показывающего текущее значение критерия приближения для каждого шага поиска коэффициентов аппроксимирующей модели, график отклонения аппроксимирующей кривой от исходной для каждого момента времени.

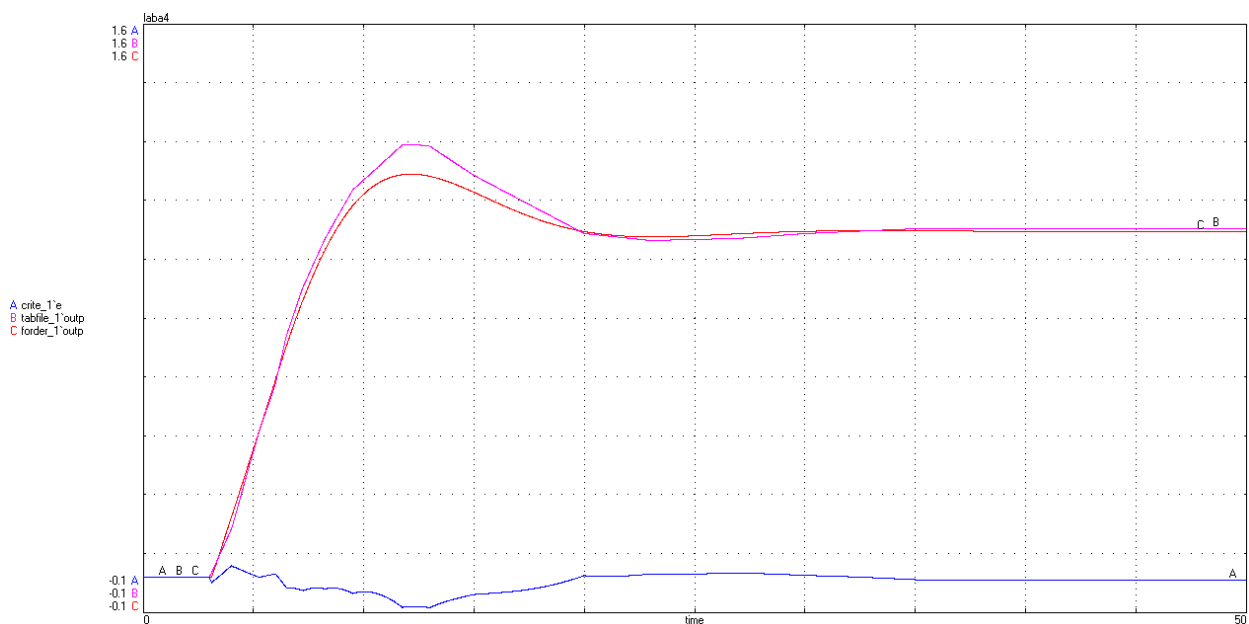
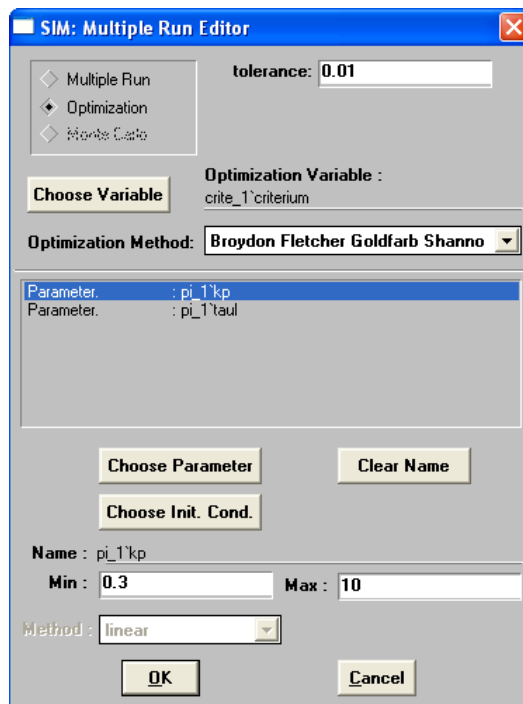


Рис.4.6. Пример изображения на экране результатов эксперимента

7. Проведем аппроксимацию.

7.1 В диалоговом окне Multiple Run Editor выбрать режим Optimization, оптимизируемый блок States (crite_1' criterium), метод оптимизации (Davidson Fletcher Powell), варьируемые переменные (Choose parameter) – настройки регулятора (K_p и T_{ip}) и диапазоны их изменения (диапазоны изменения в приложении 2).



SIM: Multiple Run Editor

☐ Multiple Run
☒ Optimization
☐ Monte Carlo

tolerance: 0.01

Choose Variable

Optimization Variable :
crite_1`criterium

Optimization Method: Broydon Fletcher Goldfarb Shanno

Parameter. : pi_1`kp
 Parameter. : pi_1`taul

Choose Parameter Clear Name

Choose Init. Cond.

Name : pi_1`kp

Min : 0.3 Max : 10

Method : linear

OK Cancel

Рис.4.7. Окна ввода параметров эксперимента

7.2 Для вызова окна оптимизации нажимаем на  либо командой **Action → Start Multiple Run Simulation.**

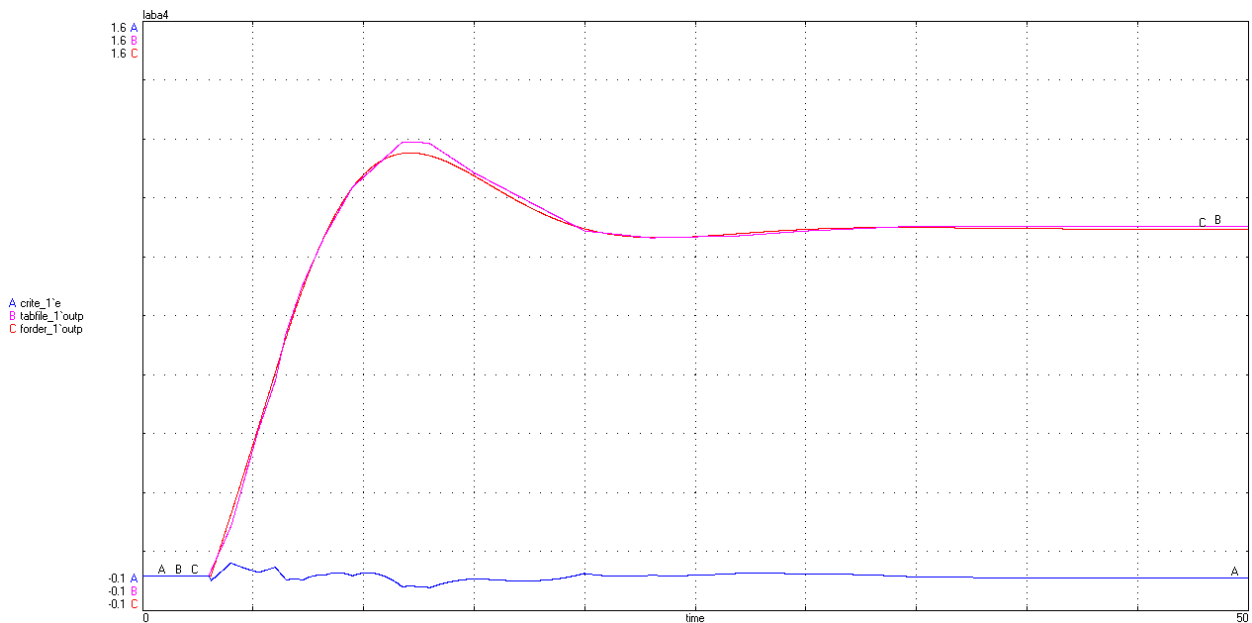


Рис.4.8. Пример изображения на экране результатов эксперимента

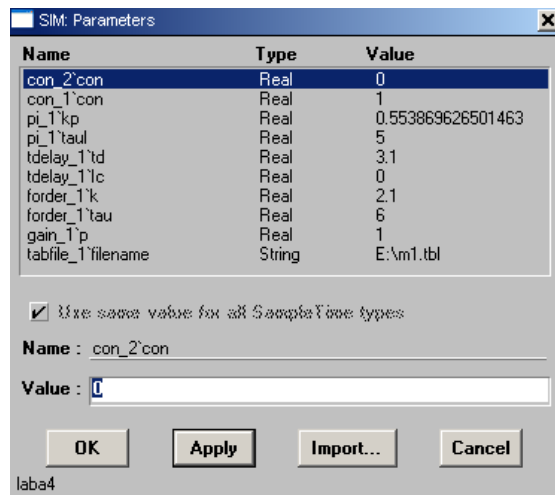


Рис. 4.9. Оптимальные настройки регулятора

8. Оформление отчета. Отчет должен содержать:

- Цель работы
- Порядок выполнения работы
- Полученные результаты работы
- Выводы о проделанной работе

Лабораторная работа №5

Одноконтурная автоматическая система регулирования с ПИД регулятором

Цель лабораторного занятия: исследование одноконтурной автоматической системы регулирования с ПИД-регулятором при ступенчатом возмущении с использованием программы моделирования динамических систем в 20 sim.

Задание на работу

При подготовке к лабораторному занятию необходимо разработать структурную схему модели системы регулирования, определить значения вводимых коэффициентов модели объекта (в соответствии с заданием на моделирование динамики систем регулирования, приведенном в Приложении 1), рассчитать оптимальные значения параметров настройки регулятора.

На занятии провести моделирование одноконтурной системы с ПИД и ПИ-регулятором при ступенчатом воздействии и сделать вывод об эффективности регуляторов. Исследовать поведение системы регулирования при различных способах задания модели регулятора.

Выполнение работы.

1. Моделирование динамики одноконтурной системы регулирования.

1.1 Структурная схема одноконтурной АСР будет иметь следующий вид:

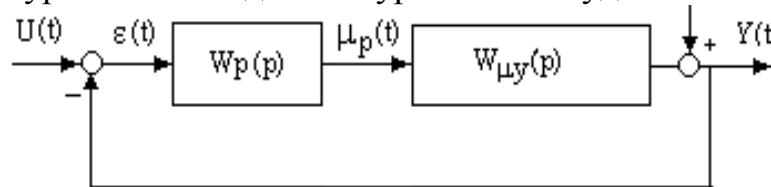


Рис. 5.1. Структурная схема одноконтурной АСР

$\mu_p(t)$, $U(t)$ – регулирующие и задающие воздействия;

$Y(t)$, $\varepsilon(t)$ – регулируемая величина и рассогласование;

$W_{\mu y}(p)$ – передаточные функции объекта относительно регулирующих воздействий;

$W_p(p)$ – передаточная функция

В пакете "20 sim" ПИД закон регулирования можно моделировать двумя способами:

1. Как параллельное соединение пропорционального, интегрирующего и дифференцирующего звеньев.
2. С использованием динамического блока **PID**.

Первый способ позволяет моделировать идеальный ПИД закон регулирования, оптимальные значения параметров настройки которого, рассчитываются известными методами по частотным характеристикам объекта. Структурная схема модели такого регулятора приведена на рис. 5.2.

Второй способ моделирования ПИД-закона регулирования предполагает использование типового динамического блока "pidser1" из библиотеки **20-sim version 1.0**

графического редактора. Этот блок реализует передаточную функцию регулятора в следующем виде:

где $0 < \beta < 1$.

$$W_p(p) = k_p \cdot \left(\frac{1}{T_u p} + \frac{1 + T_d p}{1 + \beta T_d p} \right)$$

Нетрудно заметить, что приведенная передаточная функция регулятора отличается от идеального наличием фильтра в виде апериодического звена с постоянной времени βT_d , ограничивающего значения пропорциональной и дифференциальной составляющих при резких изменениях входной величины. Такой регулятор часто называют “реальным” и при моделировании значение параметра “ β ” подбирается экспериментально.

Введение в закон регулирования фильтра в виде апериодического звена фактически изменяет динамические характеристики объекта, что, естественно, влияет на качество процесса регулирования.

Значения β равные $0,05 \div 0,2$ дают выигрыш по сравнению с ПИ-регулятором, а при $\beta = 0$ и $T_d \neq 0$, блок **PID** не работает.

Если задать значения $T_d = 0$ или $\beta = 1$, то блок **PID** будет моделировать обычный ПИ-закон регулирования. а при условии $T_u \gg 1$ – ПИД закон регулирования.

1.2 Значения вводимых коэффициентов модели объекта определяются в соответствии с заданием на моделирование динамики систем регулирования, приведенном в Приложении 1.

1.3 Расчет оптимальных значений параметров настройки ПИ и ПИД-регуляторов производится по методике Копеловича (критерий качества: апериодический с минимумом t_p типовой процесс) для объектов с самовывравниванием (Приложение 2).

1.4 Наберем в графическом редакторе 20 sim подмодели объекта и «идеального» регулятора (рис.5.2). Сохраняем модель в библиотеке **My Project** (см. описание лабораторной работы №1).

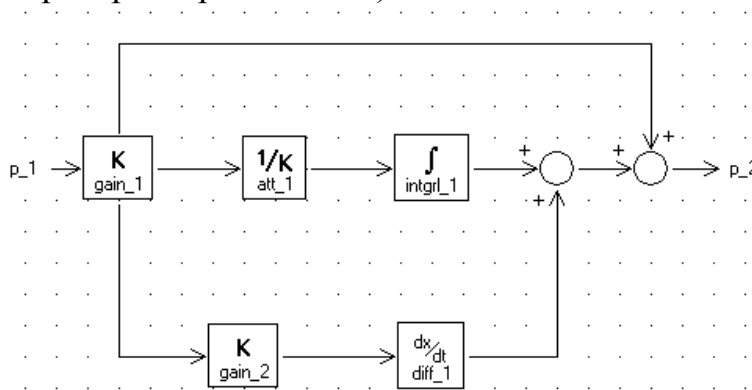


Рис. 5.2 Структурная схема модели идеального ПИД – регулятора

p_1 – блок РЮ: вход регулятора (рассогласование);

$gain_1$ – блок для установки значения коэффициента передачи регулятора k_p ;

att_1 – блок для установки значения постоянной интегрирования регулятора T_u ;

$integr_1$ – блок интегрирования входного сигнала;

$gain_2$ – блок для установки значения постоянной дифференцирования регулятора T_d ;

$diff_1$ – блок формирования производной от входного сигнала;

p_2 – блок РЮ: выход регулятора (перемещение регулирующего органа).

1.5 Набираем в графическом редакторе "20-sim" модель одноконтурной АСР с "идеальным" ПИД-регулятором (Рис.5.3)

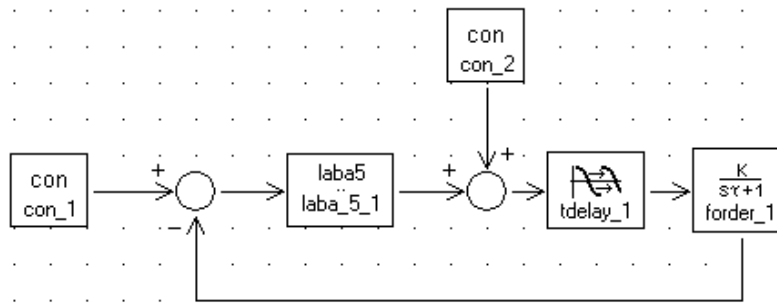
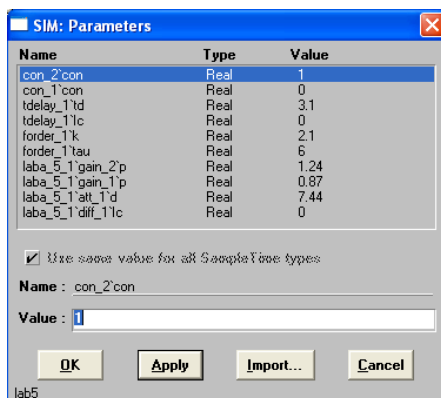


Рис.5.3 Структурная схема одноконтурной АСР с «идеальным» ПИД-регулятором.

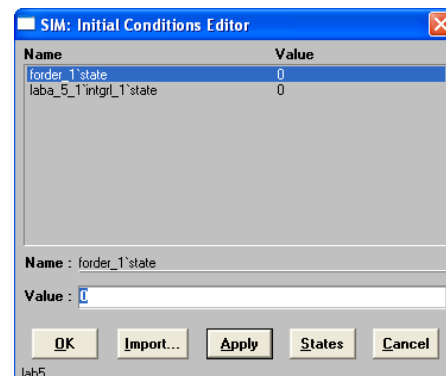
1.6 Вызовем окно проведения эксперимента, нажав **Simulation**. Подготовим эксперимент, задав значения коэффициентов модели, начальные условия, параметры моделирования и список графиков, выводимых на экран. Установим рассчитанные по модели объекта оптимальные значения параметров настройки ПИД-регулятора. На экран выведем графики:

А – выходной величины регулятора $\mu_p(t)$;

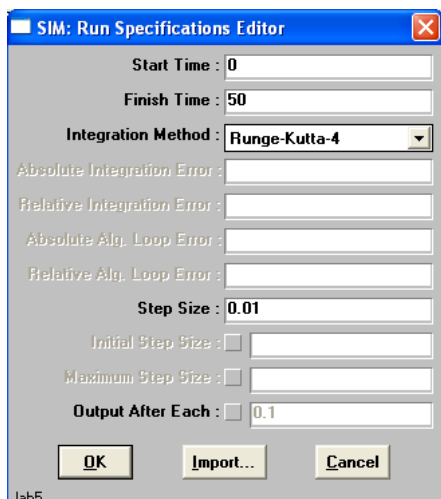
В – выходной величины объекта $Y(t)$.



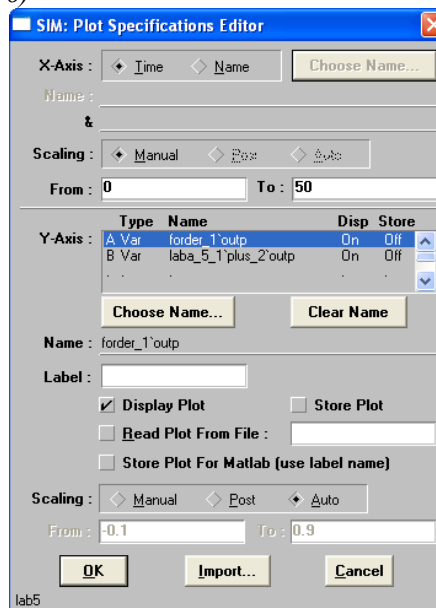
а)



б)



в)



г)

Рис.5.4. Окна ввода параметров эксперимента

1.7 Подготовленный эксперимент запускаем выбором пункта меню **Action** → **Start** либо нажатием на кнопку панели инструментов 

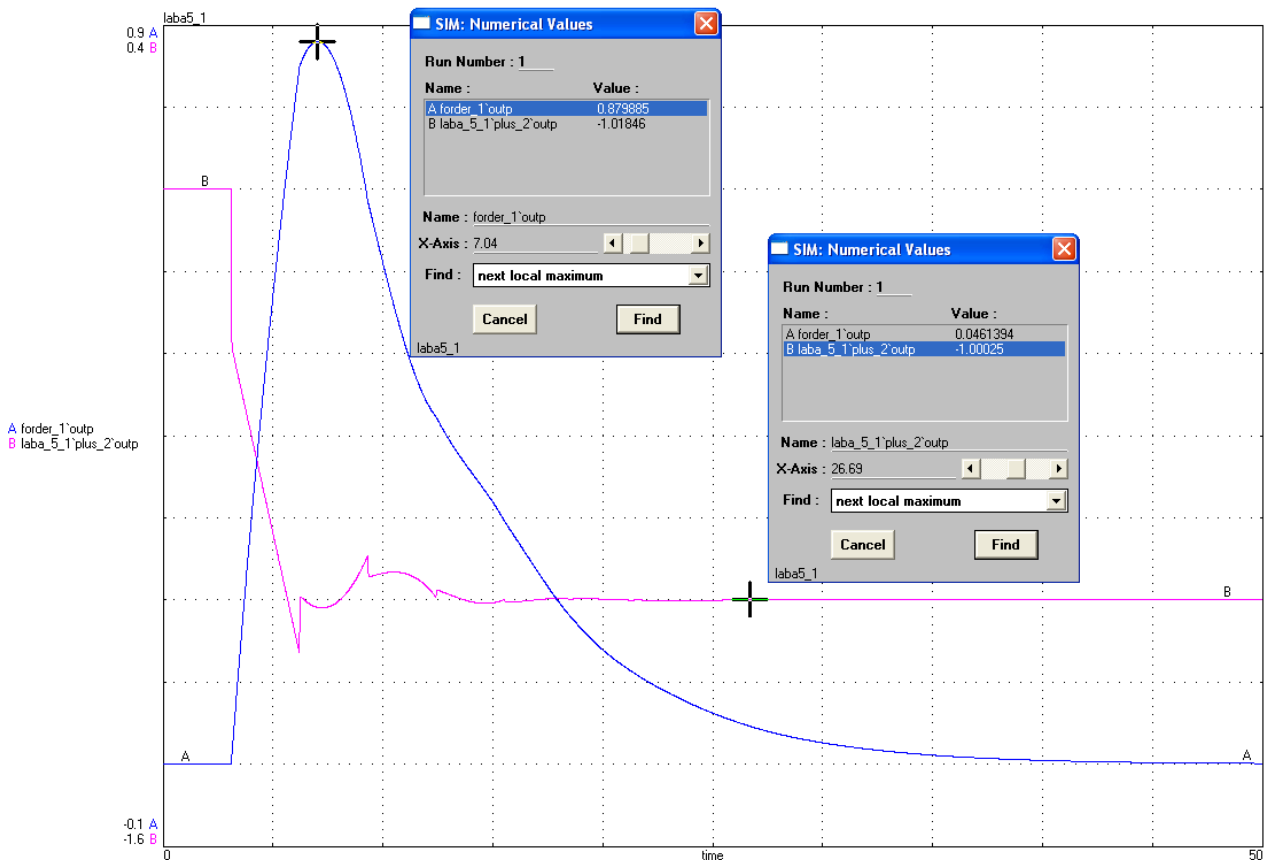


Рис.5.5 Пример изображения на экране результатов эксперимента

1.8 Определить показатель $X_{\max}$ и время регулирования $t_{\text{рег}}$

В нашем случае $X_{\max}=0,879$, $t_{\text{рег}}=26,69$

2. Моделирование одноконтурной АСР со "стандартным" ПИД-регулятором

2.1 Наберем в графическом редакторе 20 sim подготовленную структуру модели одноконтурной АСР с ПИД-регулятором в соответствии со схемой приведенной на рис.5.6.

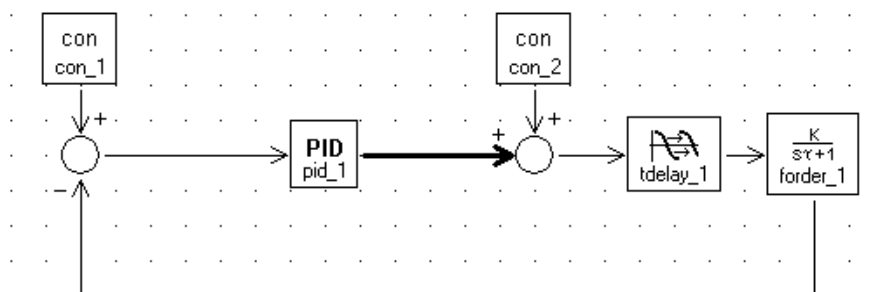
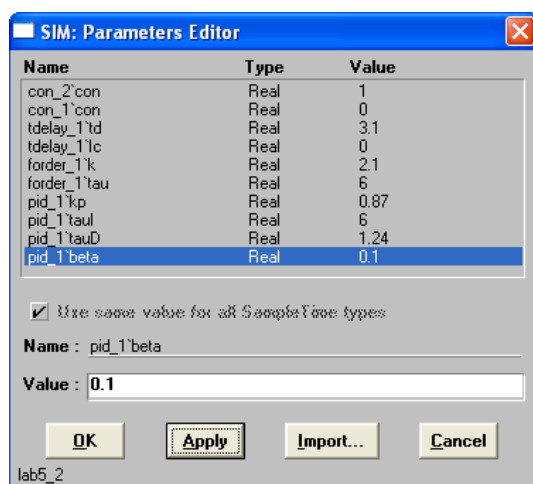


Рис.5.6. Структурная схема одноконтурной АСР с ПИД-регулятором

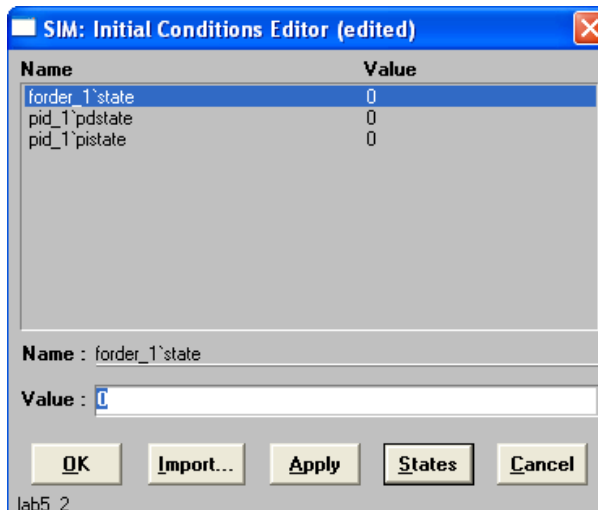
2.2 Вызовем окно проведения эксперимента, нажав **Simulation**. Подготовим эксперимент, задав значения коэффициентов модели (по отклонению), начальные условия, параметры моделирования и список графиков, выводимых на экран. На экран выведем графики:

A – выходной величины регулятора $\mu_p(t)$;

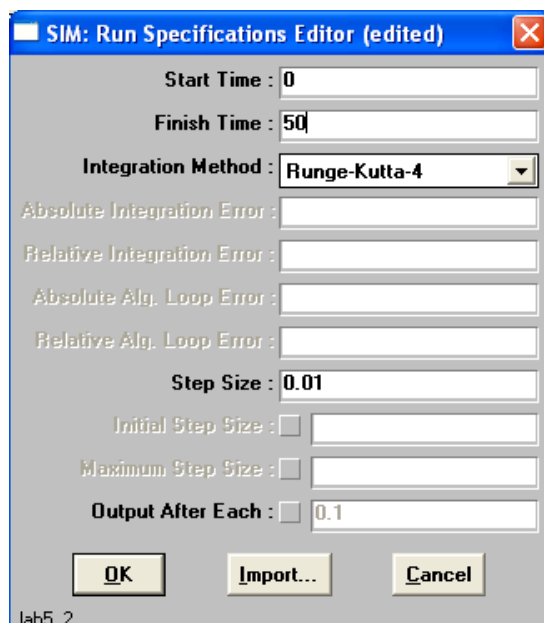
В– выходной величины объекта $Y(t)$.



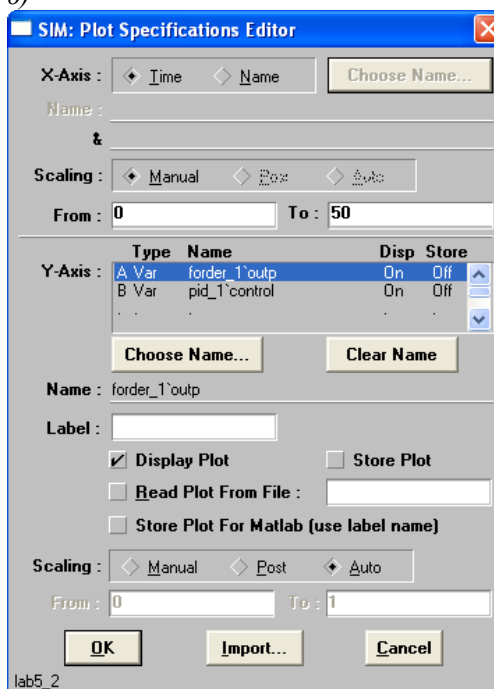
a)



б)



в)



г)

Рис.5.7. Окна ввода параметров эксперимента

2.3 Подготовленный эксперимент запускаем выбором пункта меню

Action → **Start** либо нажатием на кнопку панели инструментов 

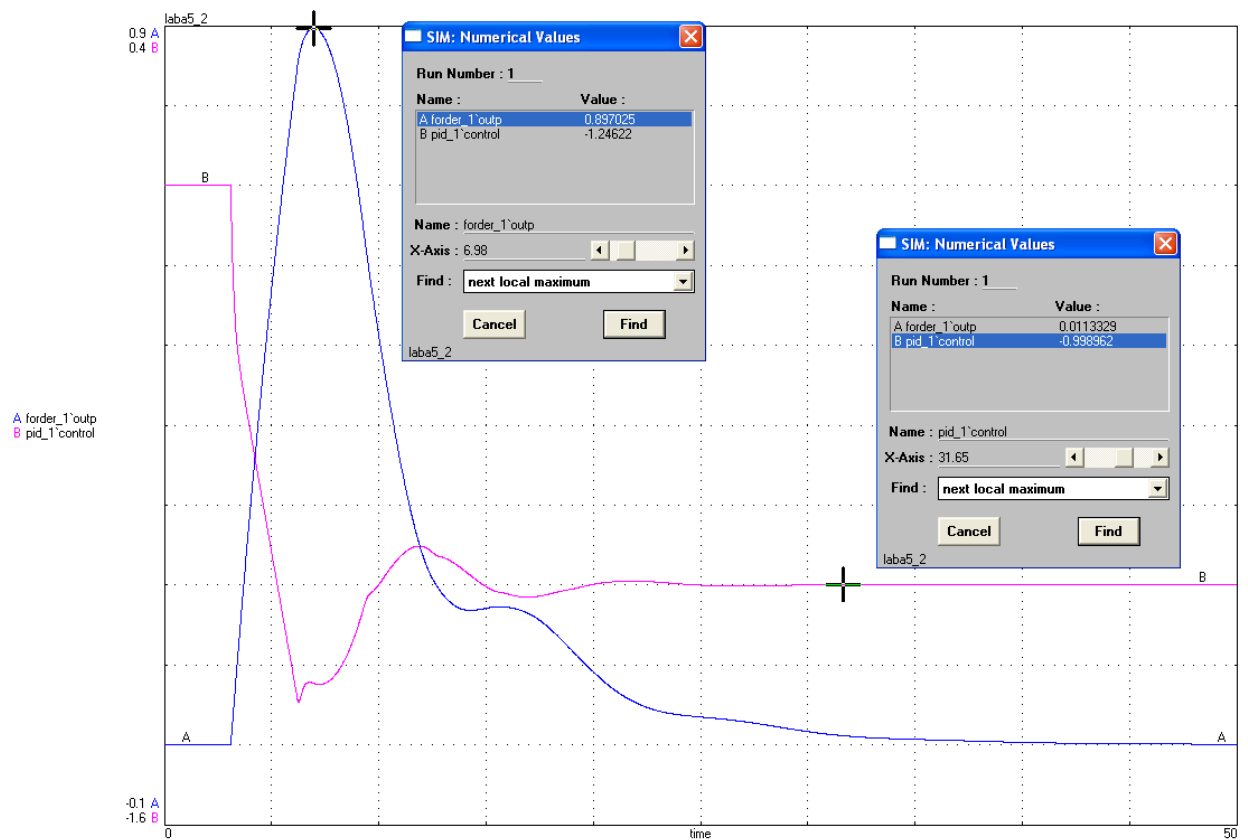


Рис.5.8. Пример изображения на экране результатов эксперимента

2.4 Определить показатель $X_{\max}$ и время регулирования $t_{\text{рег}}$

В нашем случае $X_{\max}=0,897$, $t_{\text{рег}}=31,65$

2.5 Сравнить полученные результаты с результатами, полученными в п.1.8 и сделать выводы.

Приложение 1. Варианты заданий.

Вариант Параметры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
T=T ₁	2	4	5	8	10	2	4	5	8	10	2	4	5	8	10	2	4	5	8	10
K	4					8					5					12				
T ₂	$\frac{T_1}{2}$					$\frac{T_1}{4}$					$\frac{T_1}{2}$					$\frac{T_1}{4}$				
τ	0.5T ₁					0.25T ₁					0.5T ₁					0.25T ₁				
T ₃	$\frac{T_1 + T_2}{2}$																			
N	5					6					8					10				

Вариант Параметры	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
T=T ₁	2	4	5	8	10	2	4	5	8	10	2	4	5	8	10	2	4	5	8	10
K	8					15					4					8				
T ₂	$\frac{T_1}{2}$					$\frac{T_1}{4}$					$\frac{T_1}{2}$					$\frac{T_1}{4}$				
τ	$0.5T_1$					$0.25T_1$					$0.5T_1$					$0.25T_1$				
T ₃	$\frac{T_1 + T_2}{2}$																			
N	5					6					8					10				

Вариант Параметры	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
T=T ₁	2	4	5	8	10	2	4	5	8	10	2	4	5	8	10	2	4	5	8	10
K	5					12					8					15				
T ₂	$\frac{T_1}{2}$					$\frac{T_1}{4}$					$\frac{T_1}{2}$					$\frac{T_1}{4}$				
τ	0.5T ₁					0.25T ₁					0.5T ₁					0.25T ₁				
T ₃	$\frac{T_1 + T_2}{2}$																			
N	5					8					6					10				

Приложение 2. Формулы для определения настройки промышленных регуляторов.

Диапазоны изменений динамических параметров регуляторов

Динамические параметры регуляторов	Диапазоны изменений динамических параметров регуляторов		
	П	ПИ	ПИД
Коэффициент усиления K_p	$0,3 \div 10$ $2,5 \div 50$	$0,3 \div 10$ $2,5 \div 50$	$0,3 \div 10$ $2,5 \div 50$
Постоянная времени интегрирования T_u (с)		$5 \div 500$ $20 \div 2000$	$5 \div 500$ $20 \div 2000$
Постоянная времени дифференцирования T_θ (с)			$0 \div 100$

Метод Зиглера-Николса

Расчет по отклику на скачок				Расчет по частотным параметрам		
	k_p	T_u	T_θ	k_p	T_u	T_θ
П	$1/a$	-	-	$0,5/k_{180}$	-	-
ПИ	$0,9/a$	$3L/k_p$	-	$0,4/k_{180}$	$0,8T_{180}/k_p$	-
ПИД	$1,2/a$	$0,9L/k_p$	$0,5L/k_p$	$0,6/k_{180}$	$0,5T_{180}/k_p$	$0,125T_{180}/k_p$

Расчет настроек регулятора методом Куна (нормальная настройка)

	k_p	T_u	T_θ
П	$1/k$	-	-
ПД	$1/k$	-	$0,33T_\Sigma$
ПИ	$0,5/k$	$0,5T_\Sigma$	-
ПИД	$1/k$	$0,66T_\Sigma$	$0,167T_\Sigma$

Расчет настроек регулятора методом Куна (быстрая настройка)

	k_p	T_u	T_θ
ПИ	$1/k$	$0,7T_\Sigma$	
ПИД	$2/k$	$0,8T_\Sigma$	$0,1194T_\Sigma$

Расчет настроек регулятора по Копеловичу
объект с самовыравниванием

Регулятор	Типовой процесс регулирования		
	апериодический	с 20% перерегулирования	$J_{\min}$
И	$K_p = \frac{1}{4,5 K_o \tau}$	$K_p = \frac{1}{1,7 K_o \tau}$	$K_p = \frac{1}{1,7 K_o \tau}$
П	$K_p = \frac{0,3}{K_o \tau / T}$	$K_p = \frac{0,7}{K_o \tau / T}$	$K_p = \frac{0,9}{K_o \tau / T}$
ПИ	$K_p = \frac{0,6}{K_o \tau / T}$ $T_i = 0,8\tau + 0,5T$	$K_p = \frac{0,7}{K_o \tau / T}$ $T_i = \tau + 0,3T$	$K_p = \frac{0,9}{K_o \tau / T}$ $T_i = \tau + 0,35T$
ПИД	$K_p = \frac{0,95}{K_o \tau / T}$ $T_i = 2,4\tau$ $T_0 = 0,4\tau$	$K_p = \frac{1,2}{K_o \tau / T}$ $T_i = 2\tau$ $T_0 = 0,4\tau$	$K_p = \frac{1,4}{K_o \tau / T}$ $T_i = 1,3\tau$ $T_0 = 0,5\tau$

объект без самовыравнивания

Регулятор	Типовой процесс регулирования		
	апериодический	с 20% перерегулирования	$\min \int_0^{\infty} e_p^2 dt$
П	$K_p = \frac{0,4}{\tau / T}$	$K_p = \frac{0,7}{\tau / T}$	—
ПИ	$K_p = \frac{0,4}{\tau / T}$ $T_i = 6T$	$K_p = \frac{0,7}{\tau / T}$ $T_i = 3T$	$K_p = \frac{0,9}{\tau / T}$ $T_i = 4T$
ПИД	$K_p = \frac{0,6}{\tau / T}$ $T_i = 5\tau$ $T_0 = 0,2\tau$	$K_p = \frac{1,1}{\tau / T}$ $T_i = 2\tau$ $T_0 = 0,4\tau$	$K_p = \frac{1,4}{\tau / T}$ $T_i = 1,6\tau$ $T_0 = 0,5\tau$

Формулы метода ВТИ (Всесоюзный технологический институт)

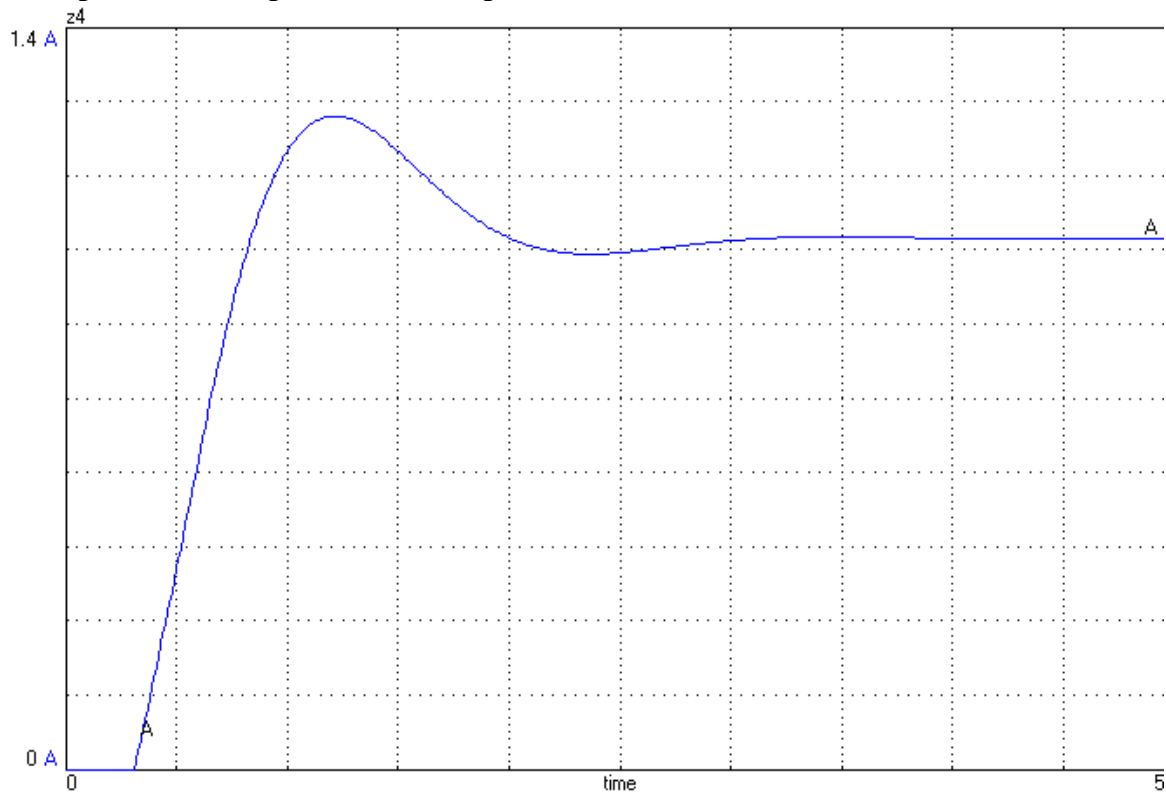
Отношение запаздывания объекта к его пост. времени	$\frac{\tau}{T} = 0 - 0,2$		
Параметр \ закон регул.	П	ПИ	ПИД
K_p	$\frac{1}{\varepsilon \tau}$	$\frac{0,9}{\varepsilon \tau}$	$\frac{1,25}{\varepsilon \tau}$
T_i	—	$3,3\tau$	$2,5\tau$
T_d	—	—	$(0,15 - 0,25)T_{II}$
$T_{им}$	$(1 - 4)\tau$	$(1 - 4)\tau$	$(0,75 - 3)\tau$

Отношение запаздывания объекта к его пост. времени	$0,2 \leq \frac{\tau}{T} < 1,5$		
Параметр закон регул.	П	ПИ	ПИД
K_p	$\frac{0,38}{K_0} \cdot \frac{\frac{\tau}{T} + 0,6}{\frac{\tau}{T} - 0,08}$	$\frac{0,38}{K_0} \cdot \frac{\frac{\tau}{T} + 0,6}{\frac{\tau}{T} - 0,08}$	$\frac{0,22}{K_0} \cdot \frac{\frac{\tau}{T} + 0,6}{\frac{\tau}{T} - 0,08}$
T_и	–	0,8τ	0,45τ
T_d	–	–	(0,15 – 0,25)T _и
T_{им}	(1 – 4)τ	(1 – 4)τ	(0,75 – 3)τ

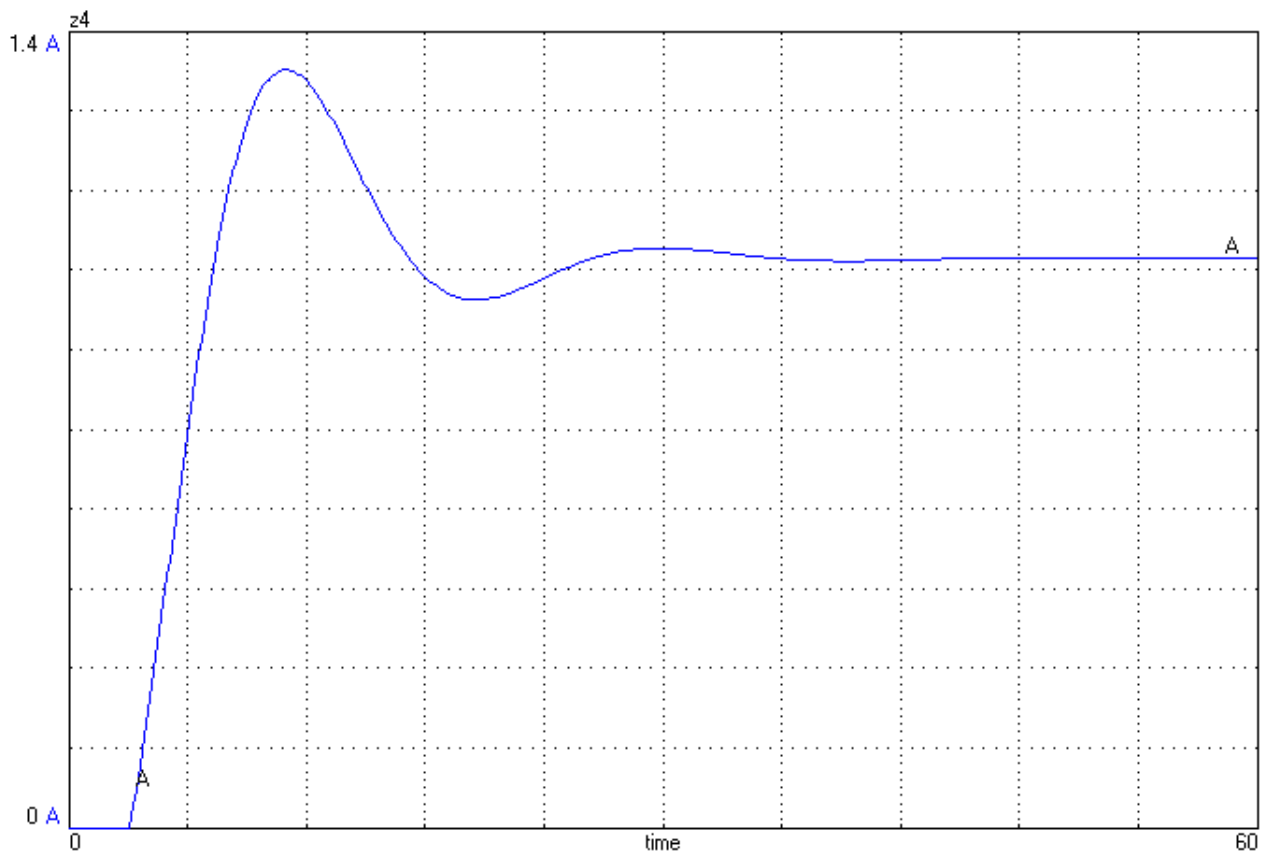
Отношение запаздывания объекта к его пост. времени	$\frac{\tau}{T} \geq 1,5$		
Параметр закон регул.	П	ПИ	ПИД
K_p	$\frac{0,5}{K_0}$	$\frac{0,5}{K_0}$	$\frac{0,5}{K_0}$
T_и	–	0,6τ	0,6τ
T_d	–	–	(0,15 – 0,25)T _и
T_{им}	(1 – 4)τ	(1 – 4)τ	(0,75 – 3)τ

Приложение 3. Графики.

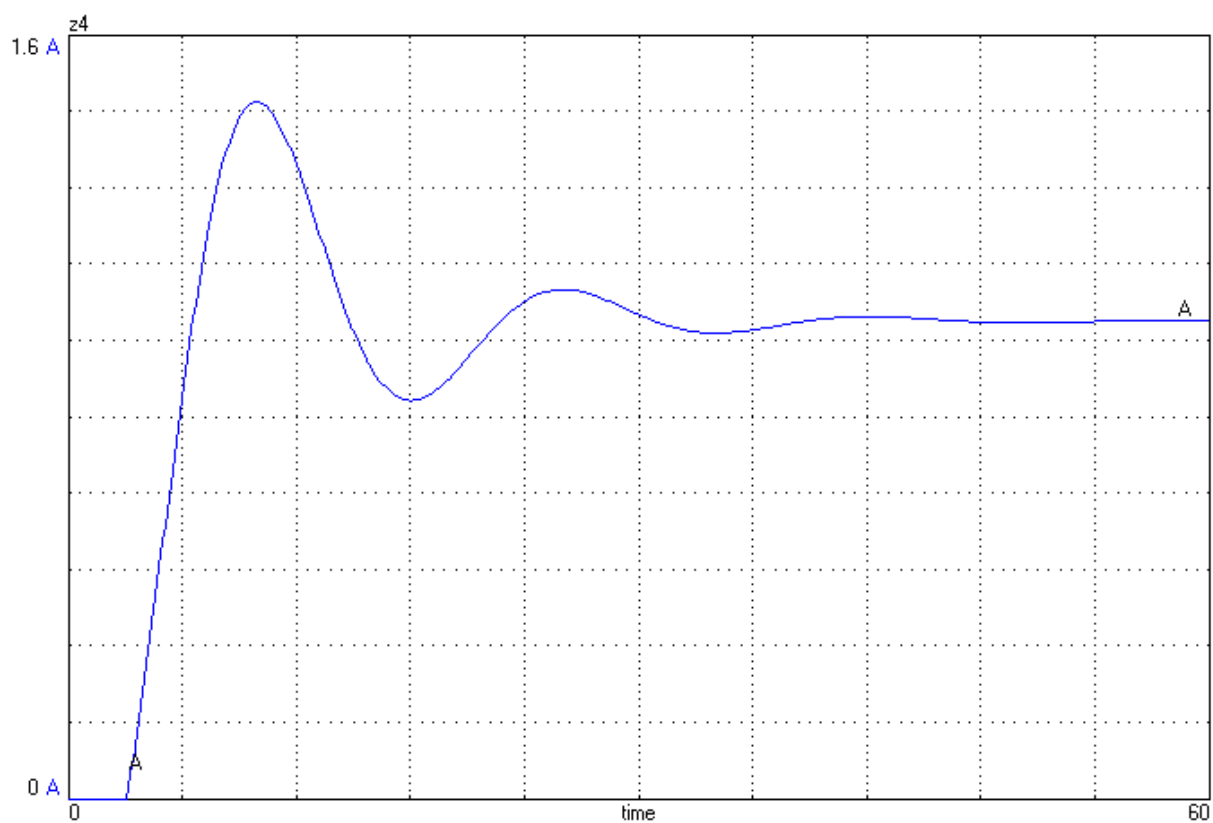
Вариант 1. Аперiodический процесс по отклонению. $\tau=3,1$ с; $T=6$ с; $K=2,1$



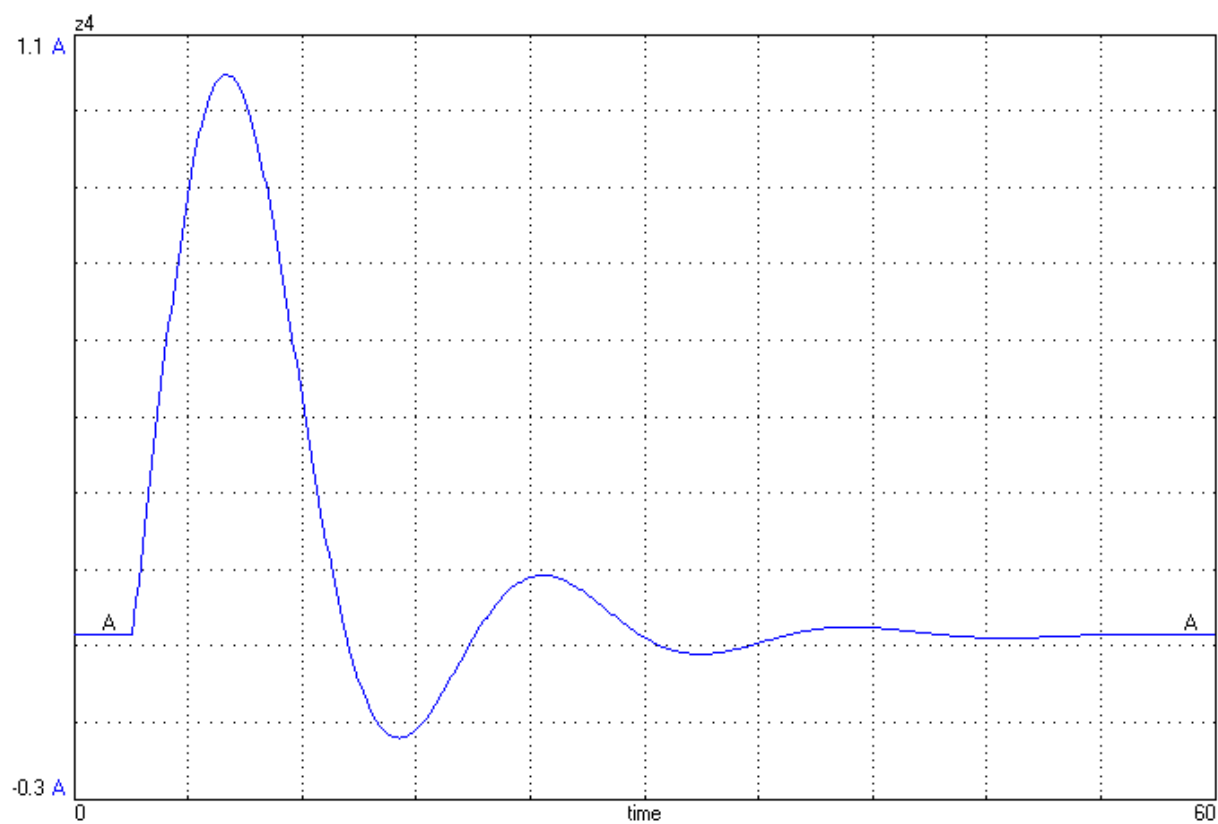
Вариант 2. 20% перерегулирование по отклонению. $\tau=3,1$ с; $T=6$ с; $K=2,1$



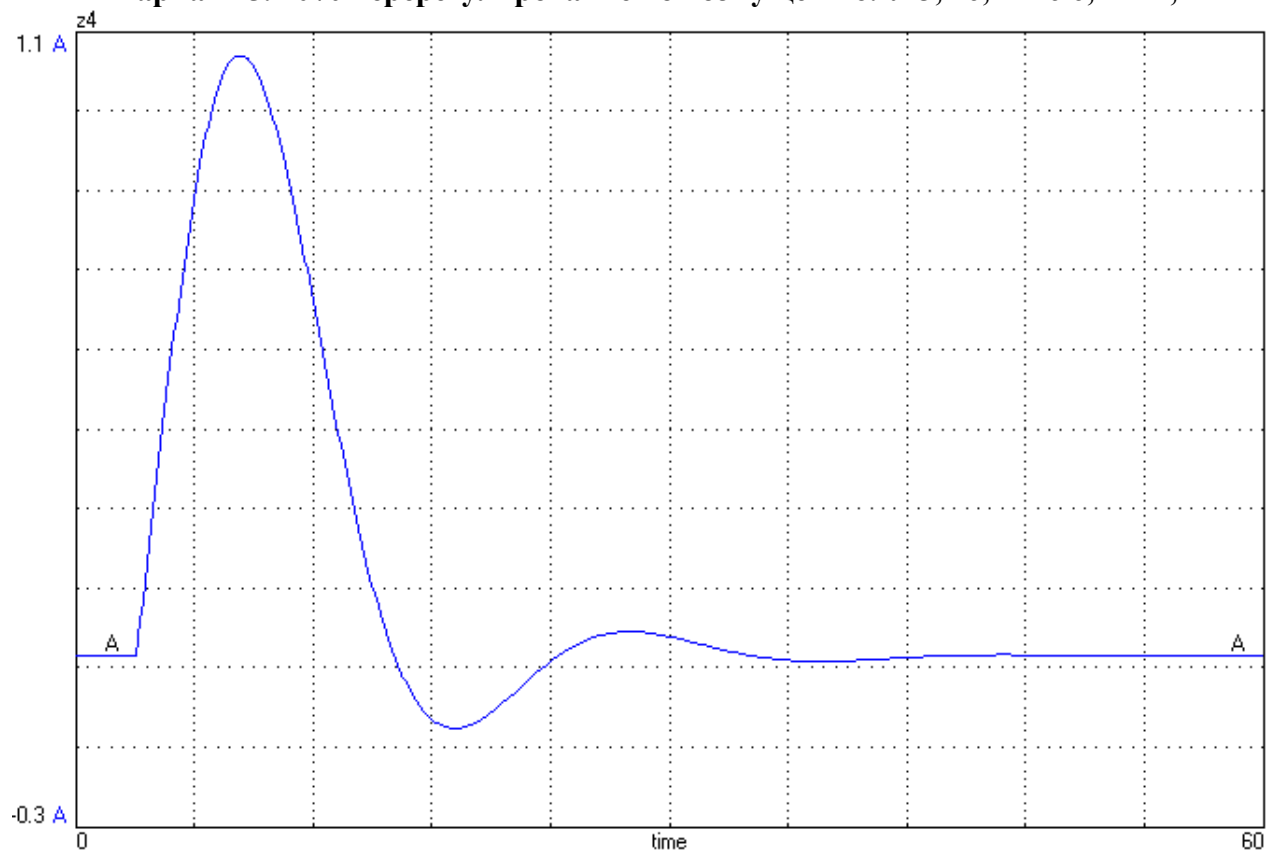
Вариант 3. Минимум интеграла квадрата регулируемой величины по отклонению.
 $\tau=3,1$ с; $T=6$ с; $K=2,1$



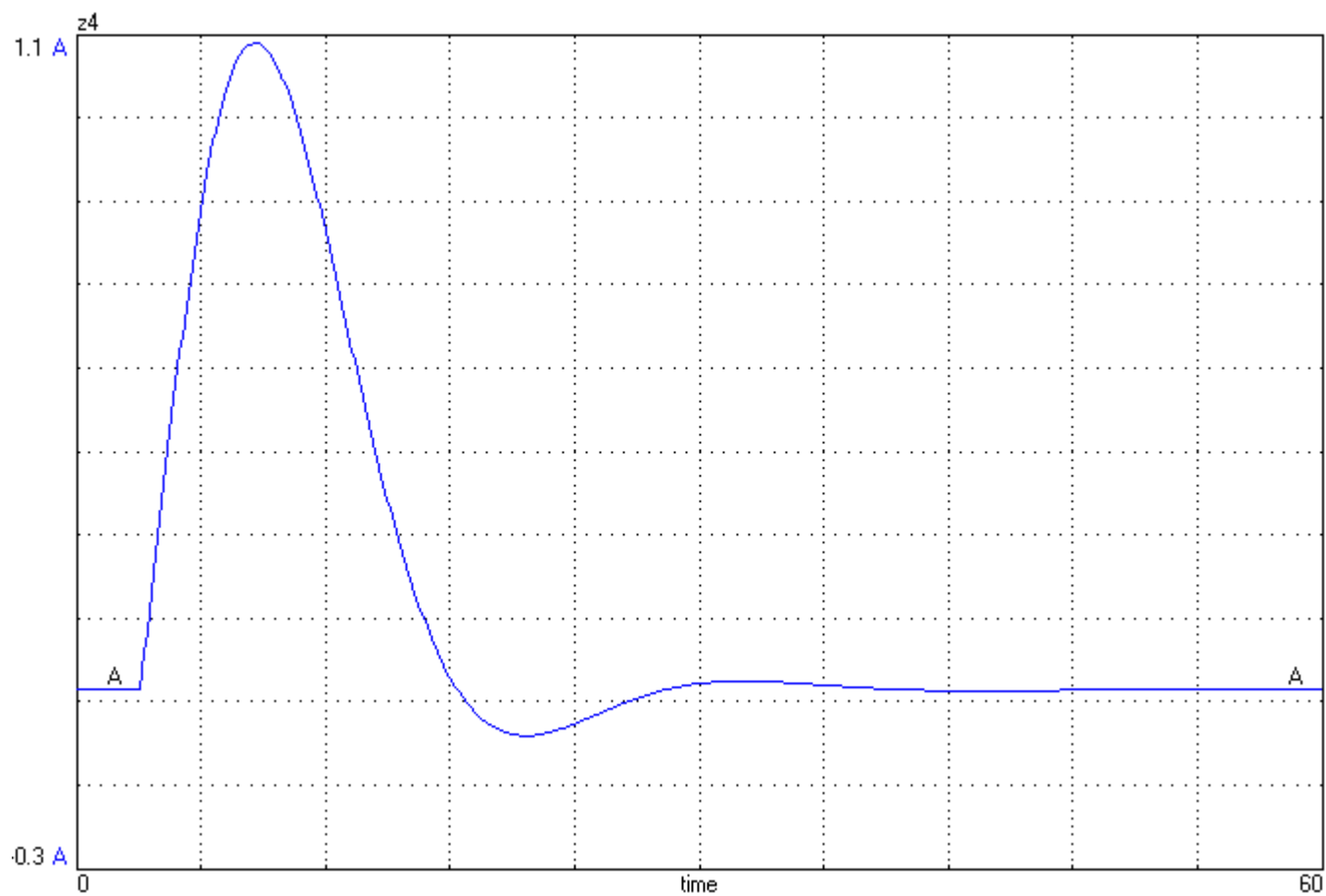
Вариант 4. По возмущению минимум интеграла квадрата регулируемой величины.
 $\tau=3,1$ с; $T=6$ с; $K=2,1$



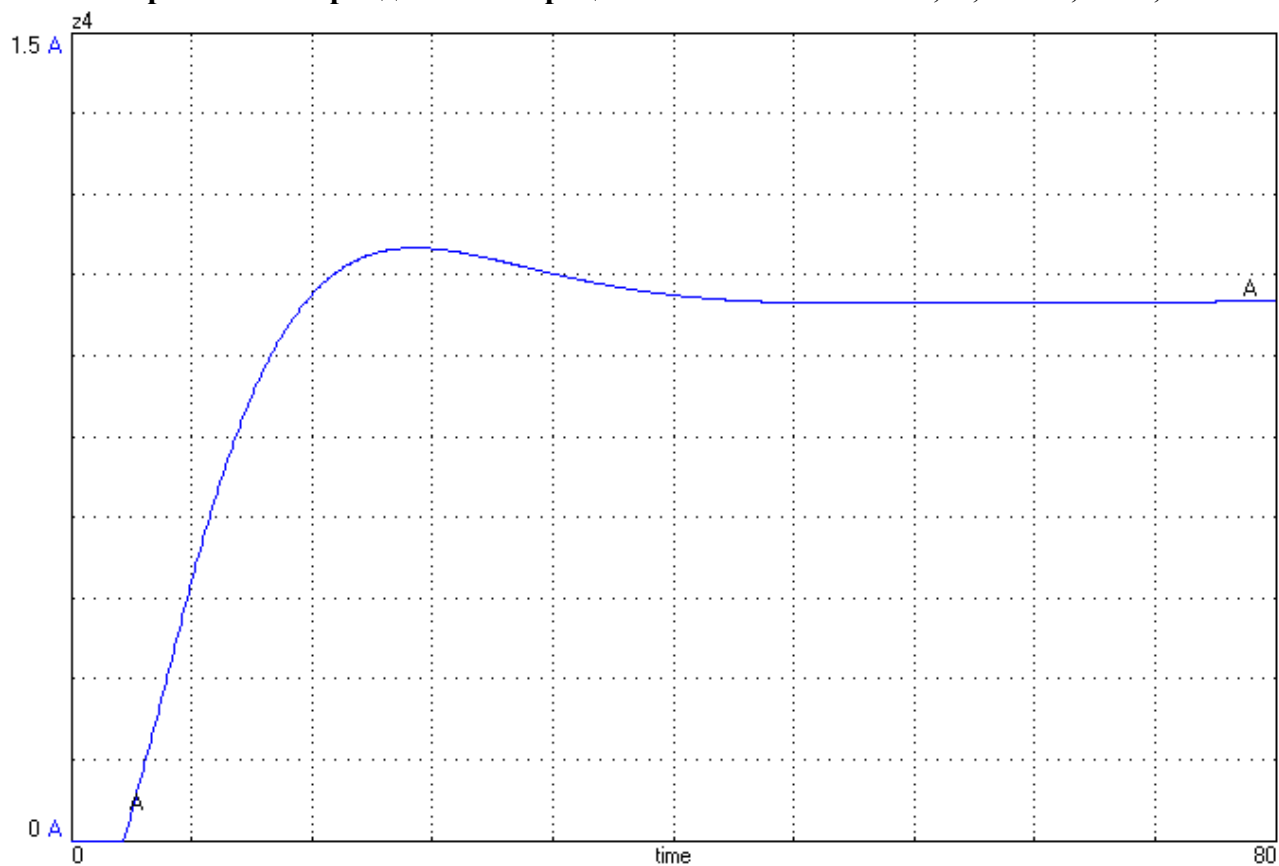
Вариант 5. 20% перерегулирование по возмущению. $\tau=3,1$ с; $T=6$ с; $K=2,1$



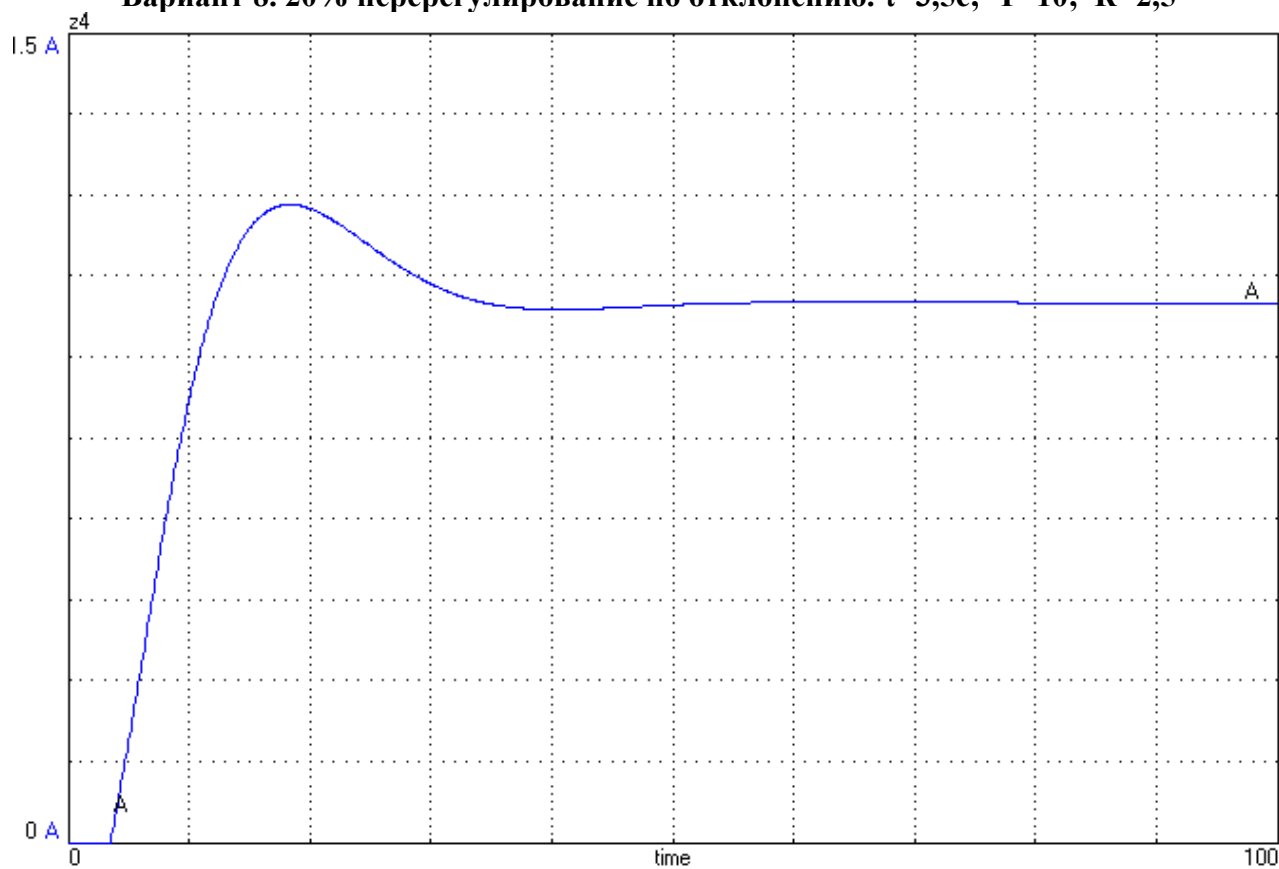
Вариант 6. Аperiodический типовой процесс по возмущению. $\tau=3,1$ с; $T=6$ с; $K=2,1$



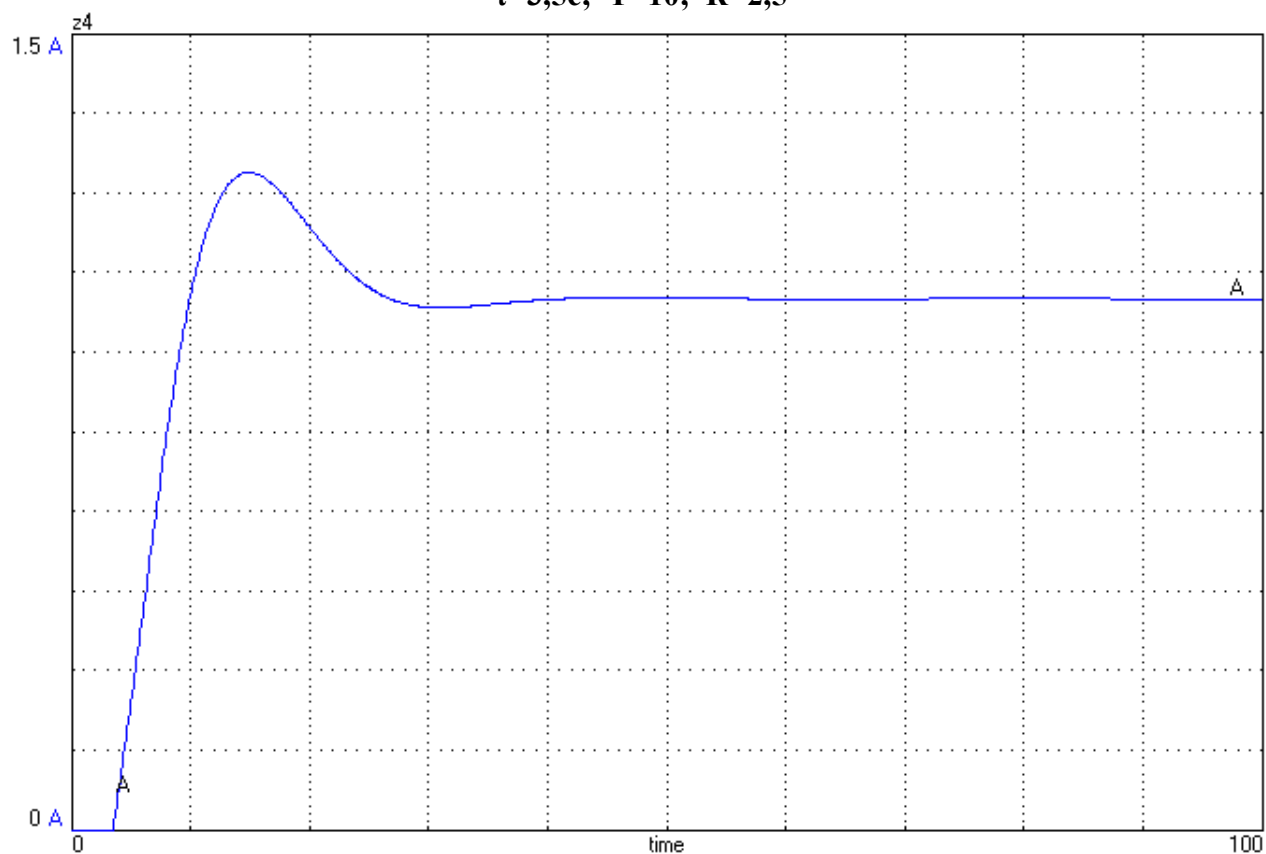
Вариант 7. Аперiodический процесс по отклонению. $\tau=3,5\text{с}$; $T=10$; $K=2,5$



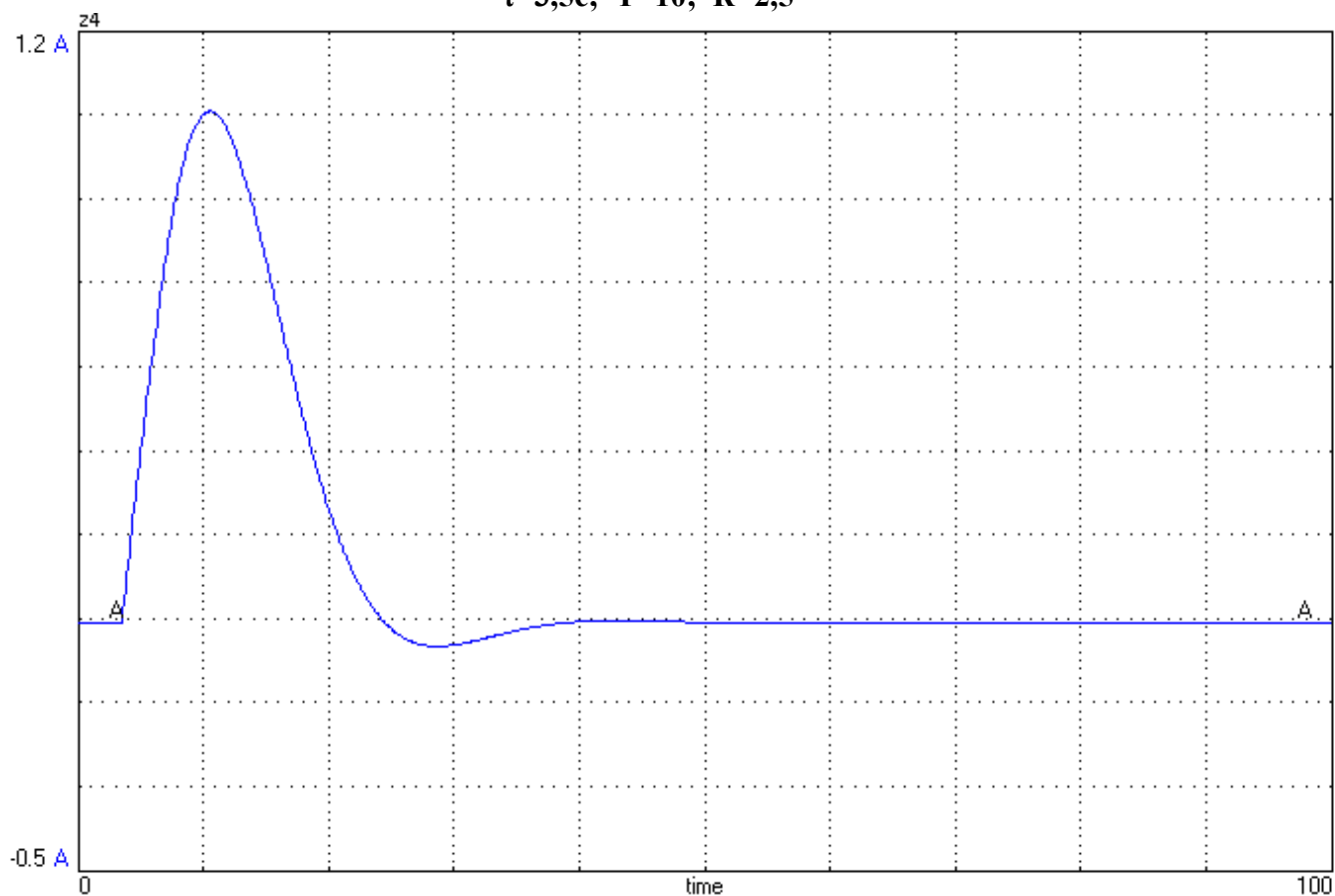
Вариант 8. 20% перерегулирование по отклонению. $\tau=3,5\text{с}$; $T=10$; $K=2,5$



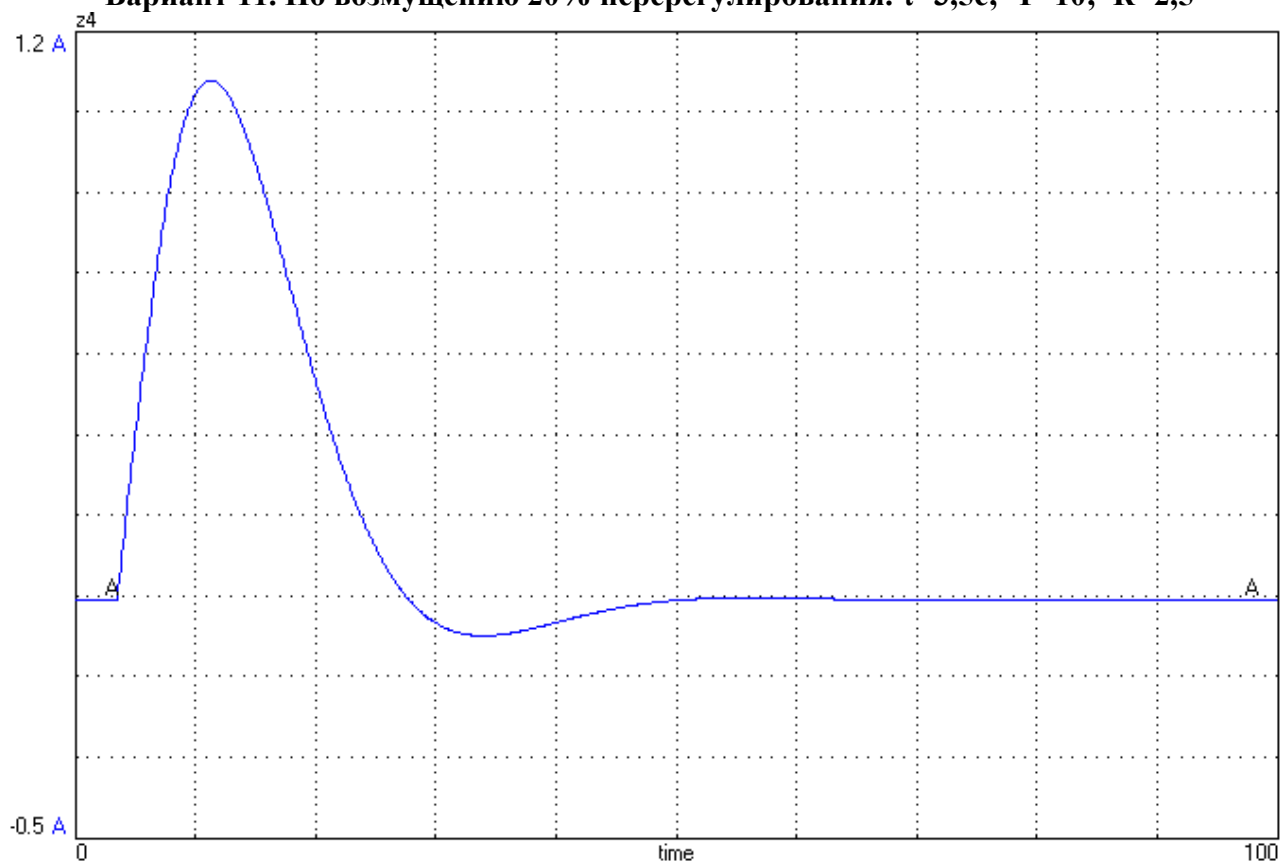
Вариант 9. По отклонению минимум интеграла квадрата регулируемой величины.
 $\tau=3,5\text{c}; T=10; K=2,5$



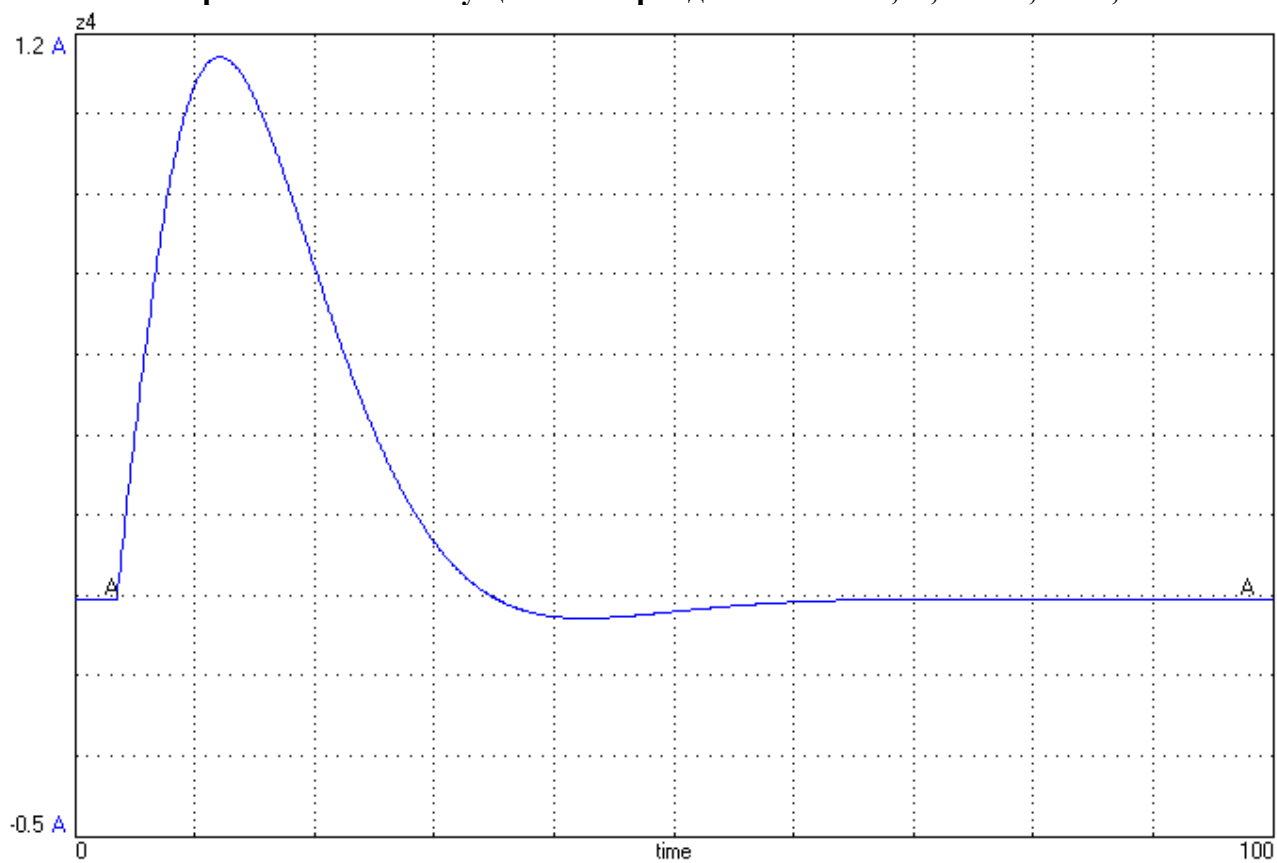
Вариант 10. По возмущению минимум интеграла квадрата регулируемой величины.
 $\tau=3,5\text{c}; T=10; K=2,5$



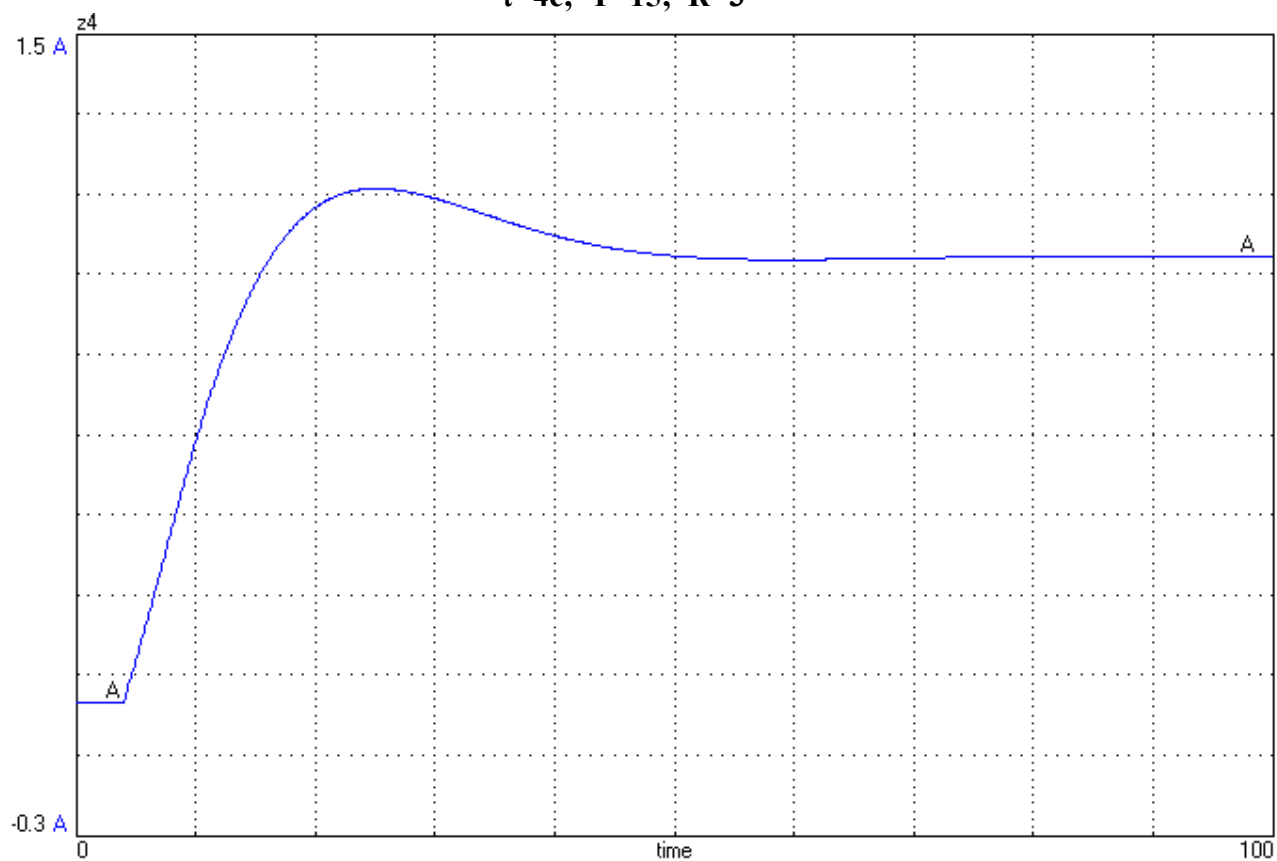
Вариант 11. По возмущению 20% перерегулирования. $\tau=3,5\text{c}$; $T=10$; $K=2,5$



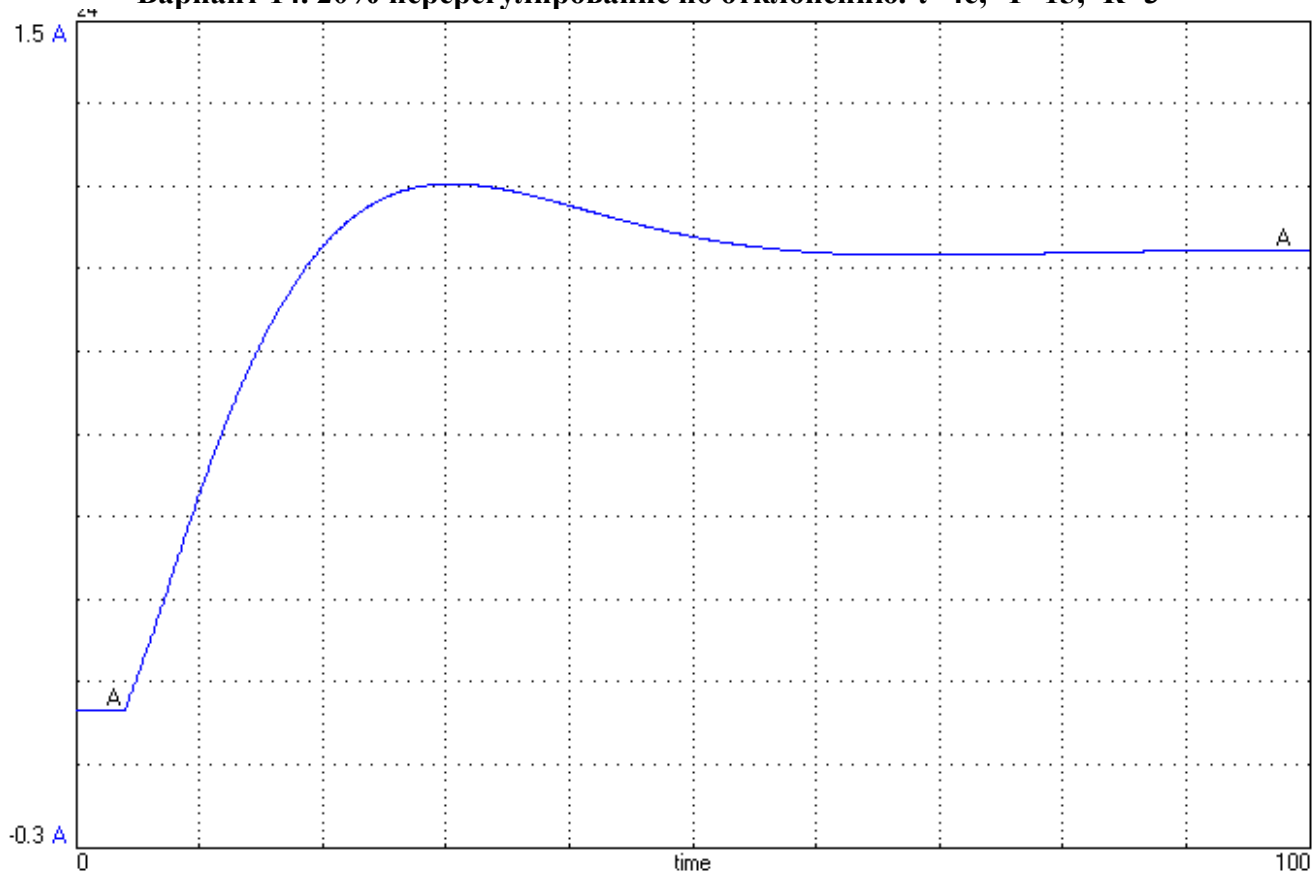
Вариант 12. По возмущению аperiodический. $\tau=3,5\text{c}$; $T=10$; $K=2,5$



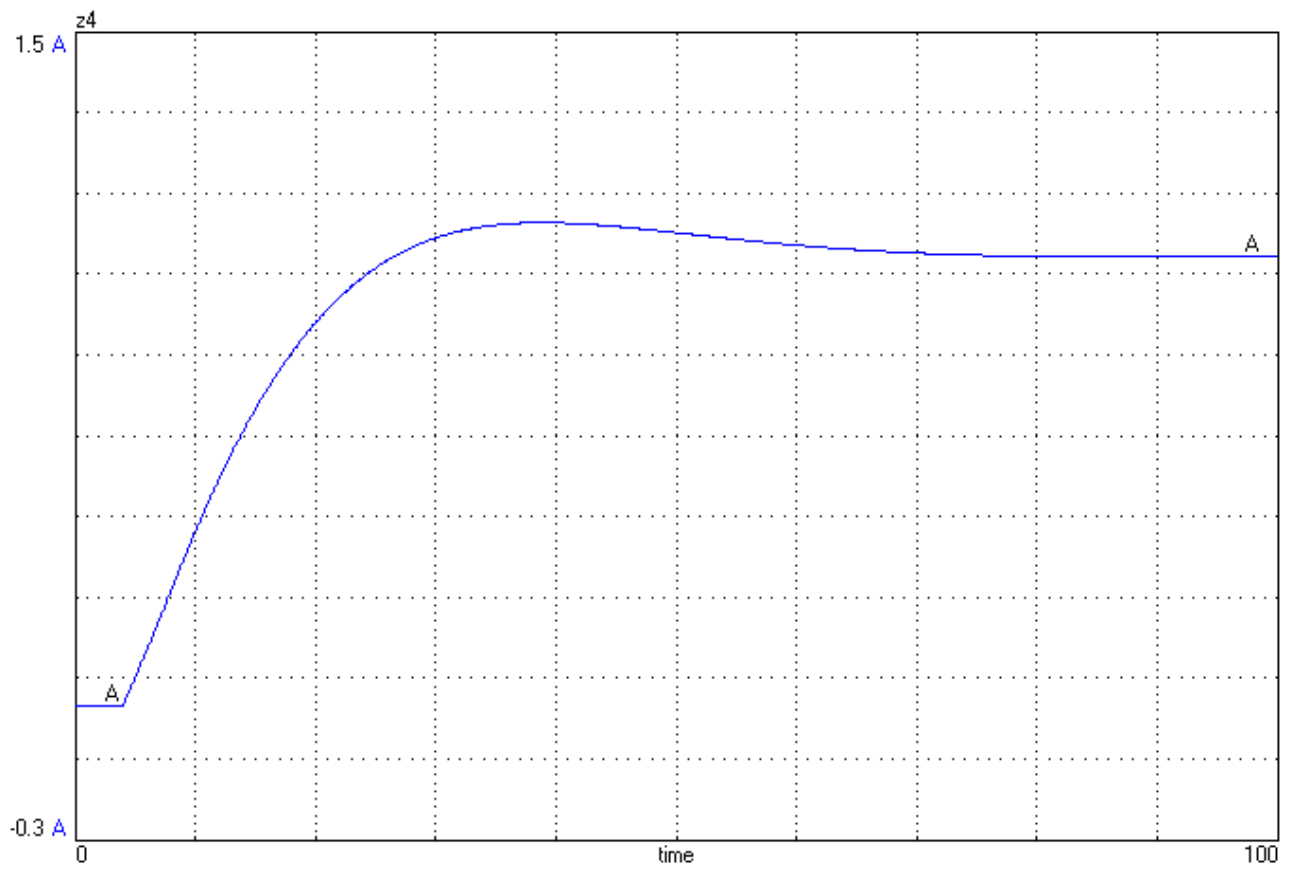
Вариант 13. Минимум по отклонению интеграла квадрата регулируемой величины.
 $\tau=4\text{с}; T=15; K=3$



Вариант 14. 20% перерегулирование по отклонению. $\tau=4\text{с}; T=15; K=3$



Вариант 15. Аperiodический по отклонению. $\tau=4\text{с}$; $T=15$; $K=3$



**Татьяна Анатольевна Изосимова
Инна Витальевна Ксенофонтова**

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по дисциплине
«Аппаратно-программные комплексы»
для направления 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»
профиля
«Автоматизированные системы обработки информации и управления»

Часть 2
СИНТЕЗ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Компьютерная верстка – Ксенофонтова И.В.

Подписано в печать . Формат 60х84/16.
Бумага писчая. Печать оперативная. Усл. печ.л.4 .
Тираж экз. Заказ № . Цена свободная

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования
«Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)»
Волжский филиал