

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Курганский государственный университет»

Кафедра автоматизации производственных процессов

**Применение программного пакета MATLAB
при моделировании технических систем
Часть II**

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Введение в моделирование технических систем»
для студентов очной и заочной форм обучения направления
15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»,
27.03.04 «Управление в технических системах»

Курган 2017

Кафедра: «Автоматизация производственных процессов».

Дисциплина: «Введение в моделирование технических систем».

Составители: ст. преподаватель Е.М. Кузнецова.

Утверждены на заседании кафедры «20» октября 2016 г.

Рекомендованы методическим советом университета «17» декабря 2015 г.

Методические указания представляют собой руководство к выполнению лабораторных работ по курсу «Введение в моделирование технических систем». Содержат краткое описание методов вычислений, примеры, порядок выполнения лабораторной работы, задания, контрольные вопросы.

Содержание

Особенности пакета SIMULINK	4
Основы работы с пакетом SIMULINK	4
Установка параметров моделирования	6
Создание модели.....	9
Цель работы.....	10
Задание.....	10
Методика проведения исследований.....	11
Оформление отчета	14
Контрольные вопросы.....	14
Приложение 1	15
Приложение 2.....	16
Список литературы.....	18

Особенности пакета SIMULINK

Пакет Simulink является ядром интерактивного программного комплекса, предназначенного для математического моделирования линейных и нелинейных динамических систем и устройств, представленных своей функциональной блок-схемой. Для построения функциональной блок-схемы моделируемых устройств Simulink имеет обширную библиотеку блочных компонентов и редактор блок-схем. Он основан на графическом интерфейсе пользователя и по существу является средством визуально-ориентированного программирования. Используя палитры компонентов (наборы блоков), пользователь с помощью мыши переносит нужные блоки с палитр на рабочий стол пакета Simulink и соединяет линиями входы и выходы блоков. Таким образом, создается блок-схема системы или устройства, то есть модель.

Библиотека блоков включает источники сигналов с практически любыми временными зависимостями, масштабирующие, линейные и нелинейные преобразователи с разнообразными формами передаточных характеристик, квантующее устройство, интегрирующие и дифференцирующие блоки и т. д.

В библиотеке имеется целый набор виртуальных регистрирующих устройств – от простых измерителей типа вольтметра или амперметра до универсальных осциллографов, позволяющих просматривать временные зависимости выходных параметров моделируемых систем, например токов и напряжений, перемещений, давлений и т.п. Средства графической анимации Simulink позволяют строить виртуальные физические лаборатории с наглядным представлением результатов моделирования [1].

Основы работы с пакетом SIMULINK

Запуск пакета SIMULINK, интегрированного в среду MATLAB, осуществляется нажатием кнопки Simulink в панели инструментов (рисунок 1) либо командой `>> Simulink` в командной строке MATLAB. При нажатии этой кнопки открывается окно интегрированного браузера библиотек (рисунок 2).

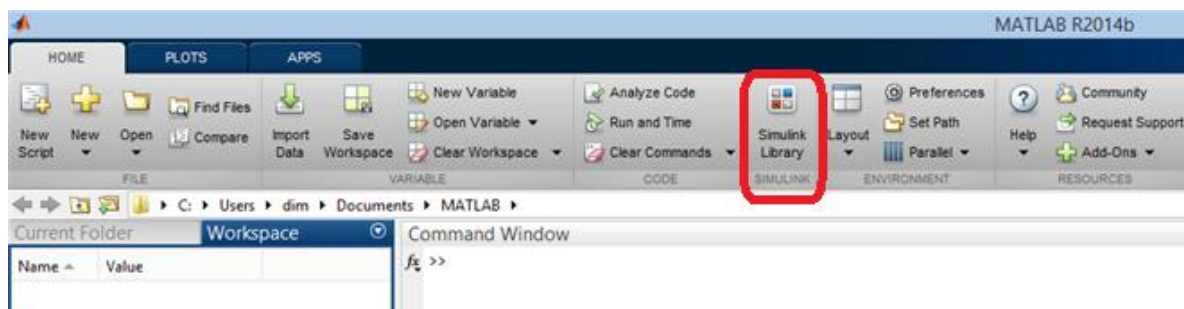


Рисунок 1 – Вызов Библиотеки блоков Simulink

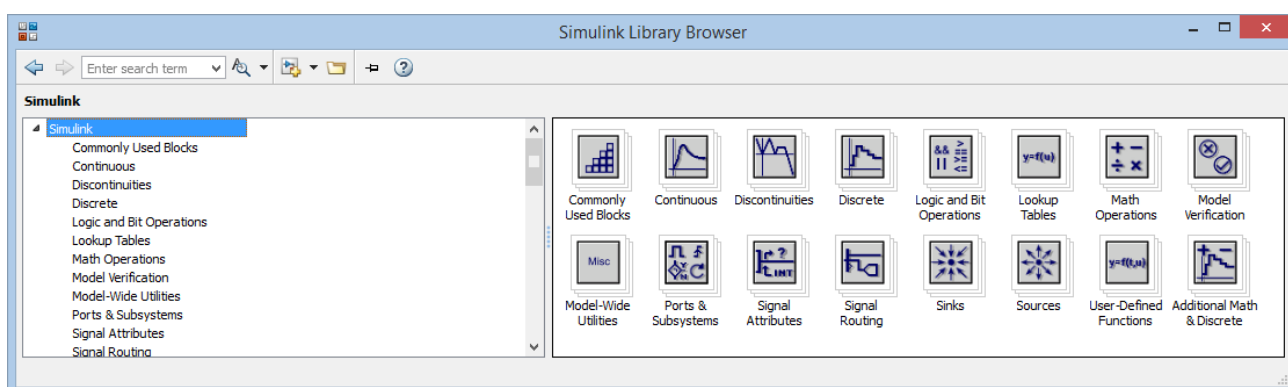


Рисунок 2 – Окно браузера библиотек Simulink

В окне браузера содержится дерево компонентов библиотек Simulink. Для просмотра того или иного раздела библиотеки достаточно выделить его мышью – в правой части окна «Simulink Browser Library» появится набор пиктограмм компонентов активного раздела библиотеки. Основные элементы библиотек приведены в приложении 2. С помощью меню браузера или кнопок его панели инструментов можно открыть окно для создания новой модели или загрузить существующую. Работа с Simulink происходит на фоне открытого окна системы MATLAB, в котором нередко можно наблюдать за выполняемыми операциями – если их вывод предусмотрен программой моделирования.

Окно создания модели вызывается кнопкой Simulink model (рисунок 3).

Меню системы содержит следующие пункты:

File – работа с файлами моделей и библиотек (их создание, сохранение, считывание и печать);

Edit – операции редактирования, работа с буфером обмена и создание подсистем;

View – управление отображением панели инструментов и строки состояния;

Simulation – управление процессом моделирования (старт, пауза, вывод окна настройки параметров моделирования)

Tools – управление видом анализа (в линейной области и в режиме реального времени).

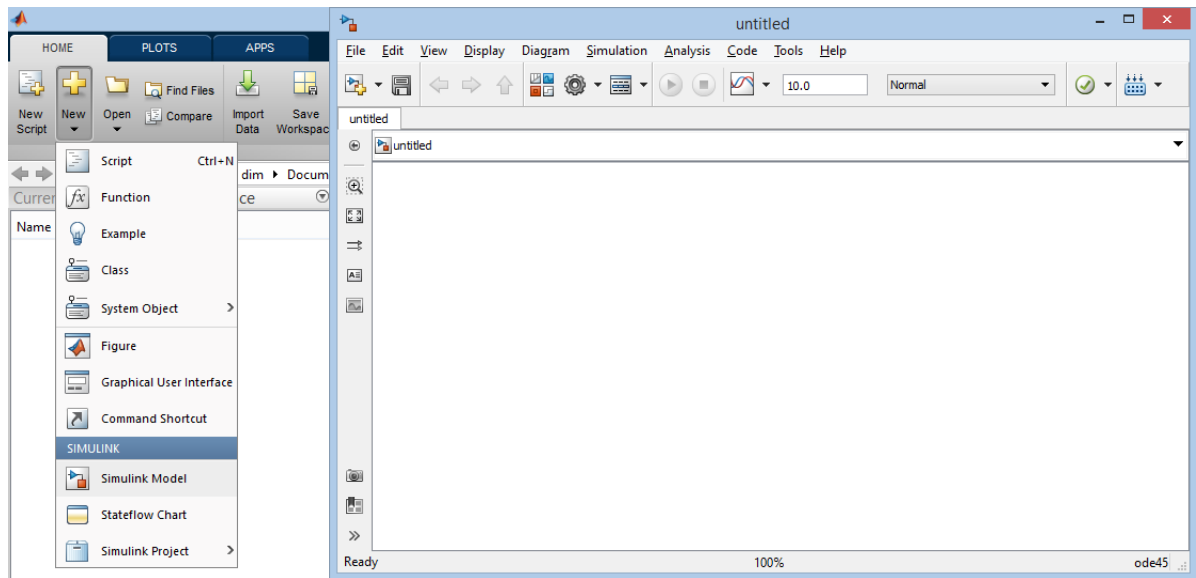


Рисунок 3 – Вызов окна модели

Установка параметров моделирования

Перед запуском модели необходимо настроить параметры моделирования.

Для настройки параметров моделирования используется команда меню «Simulation ⇒ Model Configuration Parameters...(Ctrl+E)». После ее выполнения появляется окно установки параметров моделирования, имеющее ряд вкладок с довольно большим числом параметров (рисунок 4).

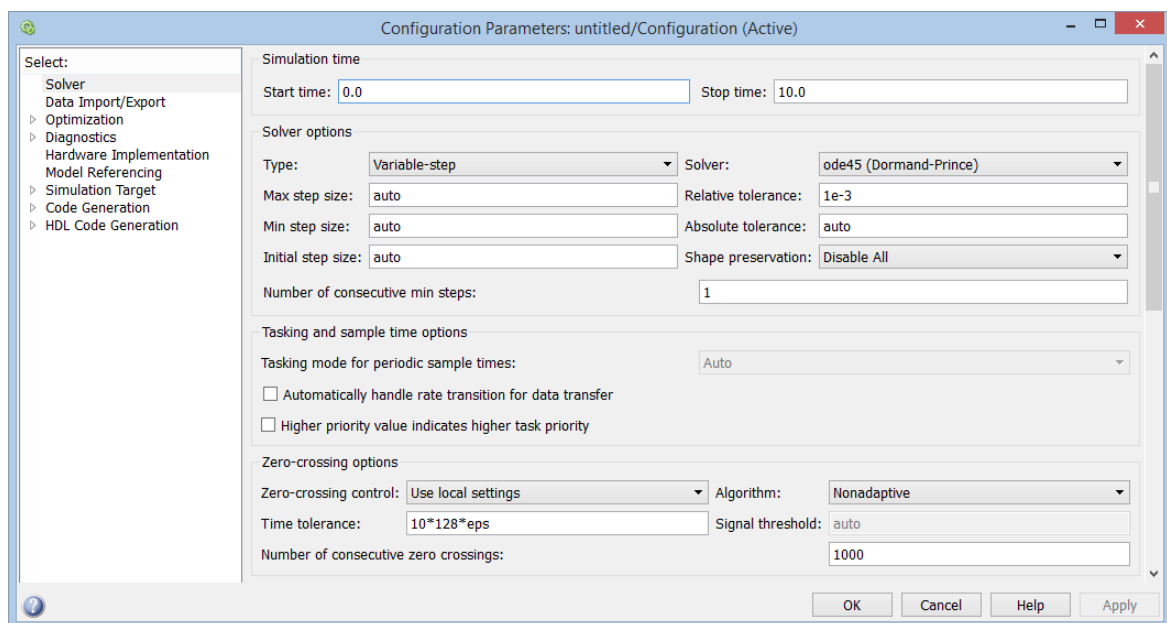


Рисунок 4 – Окно установки параметров моделирования

Наиболее важной является вкладка, открываемая по умолчанию, – «Solver» (Решатель). Эта вкладка позволяет установить параметры решающего устройства системы моделирования Simulink. К числу важнейших параметров решателя относится время моделирования — «Simulation time». Время моделирования определяет собственное время модели, в течение которого выполняется моделирование и не имеет отношения к реальному времени, затрачиваемому на моделирование. Оно задается начальным временем «Start time» (обычно 0) и конечным временем «Stop time» (по умолчанию 10). В качестве конечного времени может быть установлена бесконечность (inf). Равенство «Stop time» бесконечности означает, что моделирование будет происходить бесконечно долго, пока мы не прервем его. Однако в этом случае трудно получить различимые осциллограммы работы устройства, поэтому в большинстве случаев удобнее задавать конечные значения «Stop time».

Первостепенное значение имеют две опции решателя в поле «Solver options»: тип решения «Type» и метод решения «Solver». Возможны два типа решения:

- «Variable-step» — решение с переменным шагом;
- «Fixed-step» — решение с фиксированным шагом.

Как правило, лучшие результаты дает решение с переменным шагом. В этом случае шаг автоматически уменьшается, если скорость изменения результатов в процессе решения возрастает. И напротив, если результаты меняются слабо, шаг решения автоматически увеличивается. Это исключает (опять-таки, как правило) расхождение решения, которое нередко случается при фиксированном шаге. Метод с фиксированным шагом обычно стоит применять только тогда, когда фиксированный шаг обусловлен спецификой решения задачи, например, если ее цель заключается в получении таблицы результатов с фиксированным шагом. Этот метод дает неплохие результаты, если поведение системы описывается почти монотонными функциями. В противном случае шаг времени придется сильно уменьшать для описания наиболее быстрых участков изменения результатов моделирования, что ведет за собой значительное возрастание времени моделирования [2].

Вторая из указанных опций – выбор метода моделирования, определяет величину и изменение шага в процессе моделирования. Рисунок 5 показывает окно установки параметров с открытым меню выбора метода моделирования. Выбор метода моделирования может оказывать решающее влияние на результаты моделирования.

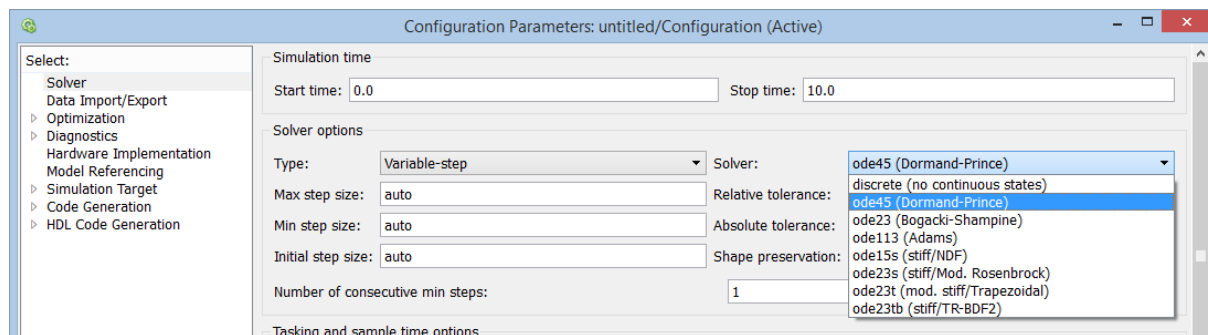


Рисунок 5 – Установка метода моделирования

Следующие три параметра обычно задаются автоматически (значения опций «auto»), но в особых случаях их можно ввести явно:

- «Max step size» – максимальный шаг моделирования (автоматическое значение равно: для дискретного решателя наименьшее значение «Sample time», для непрерывного решателя, если «Stop time» равно «inf», то 0.2, иначе $(\text{Stop time} - \text{Start time})/50$);

- «Min step size» – минимальный шаг интегрирования;

- «Initial step size» – начальный шаг интегрирования.

Важен и такой параметр моделирования, как точность моделирования: «Relative tolerance» – относительная погрешность моделирования; «Absolute tolerance» – абсолютная погрешность моделирования.

По умолчанию они заданы, соответственно, равными 10^{-3} и 10^{-6} . Если, например, графики результатов моделирования выглядят составленными явно из отдельных фрагментов, это указывает на необходимость уменьшения указанных значений погрешности. Однако слишком малые погрешности могут вызвать значительное увеличение времени вычислений. Не оптимально выбранные значения погрешности (как очень малые, так и очень большие) могут вызвать неустойчивость и даже «зацикливание» процесса моделирования.

Создание модели

Для создания модели необходимо выполнить следующие действия:

1) откройте окно новой модели командой меню «File ⇒ New ⇒ Model» (кнопка «Create a new model» на панели инструментов).

2) из раздела библиотеки «Simulink ⇒ Sources» перенесите в окно модели источник ступенчатого сигнала «Step».

3) из раздела библиотеки «Simulink ⇒ Commonly Used Blocks » перенесите в окно модели нужные блоки.

4) из раздела библиотеки «Simulink ⇒ Sinks» перенесите в окно модели блок осциллографа «Scope».

5) выполните соединение между блоками. Для этого укажите курсором мыши на выход блока источника и затем при нажатой левой кнопке мыши протяните соединение на вход блока назначения (или наоборот).

6) установите время моделирования: «Start time = 0» и «Stop time = 200». Для этого откройте окно параметров моделирования командой меню «Simulation ⇒ Model Configuration parameters ...».

7) запустите модель на исполнение, нажав кнопку «Start Simulation» в панели инструментов окна модели (команда меню «Simulation ⇒ Start»).

8) откройте осциллограф, дважды щелкнув левой кнопкой мыши по блоку «Scope». Результат моделирования приведен на рисунке 6.

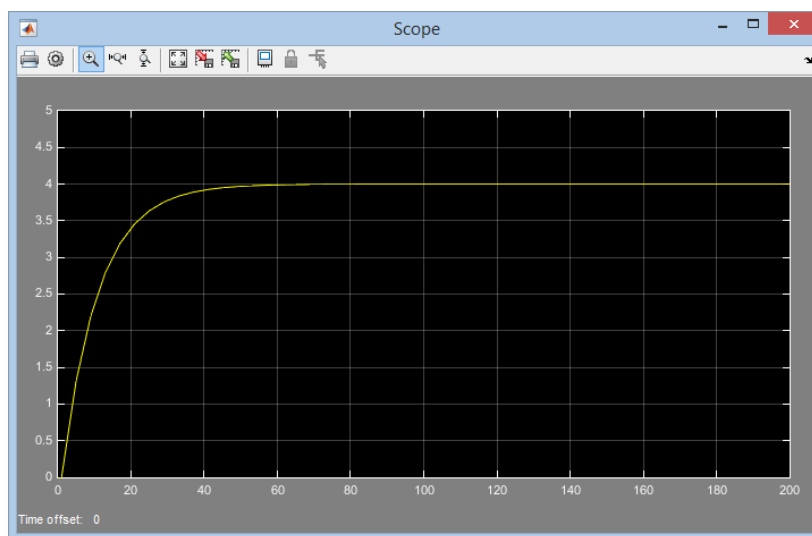


Рисунок 6 – График переходной функции

По умолчанию окно моделирования отображается черным цветом. Настройки изображения можно менять по своему усмотрению. Для настройки изображения щелкните левой кнопкой мыши на кнопке Parameters. В открывшемся окне на вкладке Style можно поменять цвет фона графика, цвет линий сетки, цвет фона окна, цвет, тип и толщину линии, цвет и тип маркеров (рисунок 7).

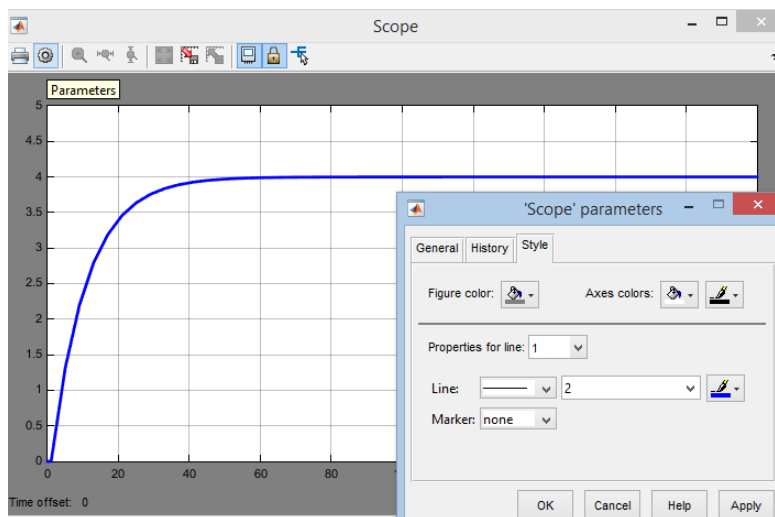


Рисунок 7 – Окно настройки осциллографа

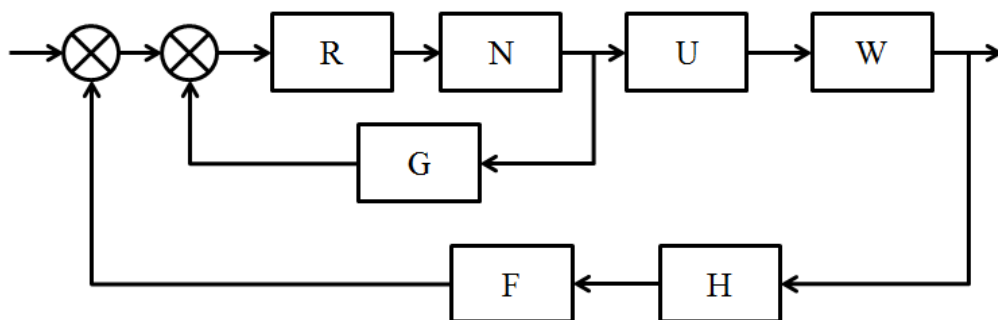
Для смены масштаба щелкните правой кнопкой мыши в окне осциллограммы. В появившемся контекстном меню выберите пункт «Axes Properties...». В открывшемся окне свойств осей замените значения $Y\text{-min}=-5$ и $Y\text{-max}=5$, например, на $Y\text{-min}=0$ и $Y\text{-max}=5$. В контекстном меню осциллограммы есть также пункт «Autoscale» (Автомасштабирование), устанавливающий масштаб, при котором окно осциллограммы используется полностью. Эта же команда реализуется кнопкой «Autoscale» панели инструментов окна осциллограммы.

Цель работы

Целью лабораторной работы является получение навыков разработки электронных моделей типовых динамических звеньев САУ в программном пакете Simulink, исследование их их частотных и переходных характеристик.

Задание

В лабораторной работе исследуется система автоматического управления, структурная схема которой приведена на рисунке 8.



R – регулятор (корректирующее звено), N – нелинейное звено, U – усилитель мощности, W – объект управления (электродвигатель), F – фильтр, H – датчик обратной связи

Рисунок 8 – Структурная схема САУ

Методика проведения исследований

1) В базовом варианте исследуется САУ со структурной схемой на рисунке 9.

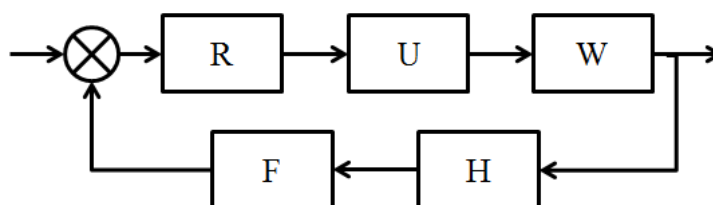


Рисунок 9 – Структурная схема базовой САУ

1.1) Задать передаточные функции звеньев U , H , F :

$$U(p) = \frac{k_{ум}}{T_{ум}p + 1}, H(p) = k_{ос}, F(p) = \frac{k_{ф}}{T_{ф}p + 1}$$

Значения коэффициентов и постоянных времени приведены в таблице 1.

Модели звеньев приведены в приложении 1.

1.2) Задать передаточную функцию объекта интегрирующим звеном:

$$W_1(p) = \frac{k_{об}}{T_{об}p}$$

1.3) Рассчитать регулятор

$$R(p) = \frac{T_{об}}{2T_{\mu} \cdot k_{ум} \cdot k_{об} \cdot k_{ос} \cdot k_{ф}}$$

1.4) Снять переходную характеристику. Определить показатели качества.

1.5) Повторить пункты 1.2-1.4 для передаточных функций объекта:

$$W_2(p) = \frac{k_{об}}{T_{об}p + 1}, W_3(p) = \frac{k_{об}}{(T_{об1}p + 1)(T_{об2}p + 1)}$$

$$R(p) = \frac{k_p(T_p p + 1)}{T_p p}, T_p = T_{об}, k_p = \frac{T_{об}}{2T_{\mu} \cdot k_{ум} \cdot k_{об} \cdot k_{ос} \cdot k_{\phi}}$$

При $T_1 \ll T_2$ $T_p = T_2$, $T_1 \sim T_2$ $T_p = T_1 + T_2$.

Таблица 1 – Параметры звеньев САУ

Вар	$k_{ум}$	$T_{ум}, мс$	$k_{ос}$	$k_{об}$	$T_{об1}, мс$	$T_{об2}, мс$	k_{ϕ}	$T_{\phi}, мс$
1	4	10	0,5	2	40	100	2	20
2	2	10	0,5	1	60	80	1	20
3	3	15	0,7	2	60	120	2	8
4	5	15	0,7	2	40	60	1	8
5	4	20	0,6	2,5	180	200	2	5
6	5	20	0,6	2,5	100	180	1	5
7	6	5	0,5	2	15	150	2	10
8	2	5	0,5	2	10	70	1	10
9	3	8	0,6	4	20	100	2	15
10	4	8	0,6	4	15	90	1	15

2) Исследовать базовый вариант САУ с корректирующим устройством в обратной цепи.

2.1) Задать передаточные функции звеньев U, H, R :

$$U(p) = \frac{k_{ум}}{T_{ум}p + 1}, H(p) = k_{ос}, R(p) = \frac{k_p}{T_p p + 1}$$

Значения коэффициентов и постоянных времени приведены в таблице 1 ($k_p = k_{\phi}$, $T_p = T_{\phi}$).

2.2) Задать передаточную функцию объекта интегрирующим звеном:

$$W_1(p) = \frac{k_{об}}{T_{об}p}$$

2.3) Выбрать корректирующее устройство:

$$F_1(p) = \frac{T_{\phi1}p + 1}{T_{\phi2}p + 1}, F_2(p) = \frac{k_{\phi}(T_{\phi}p + 1)}{T_{\phi2}p}, F_3(p) = \frac{T_{\phi}p}{T_{\phi}p + 1}$$

2.4) Снять переходную характеристику. Определить показатели качества.

2.5) Повторить пункты 1.2-1.4 для передаточных функций объекта:

$$W_2(p) = \frac{k_{об}}{T_{об}p + 1}, W_3(p) = \frac{k_{об}}{(T_{об1}p + 1)(T_{об2}p + 1)}$$

3) Изучить влияние местной обратной связи на динамику системы

Для этого задать звено G . Его передаточную функцию выбрать из таблицы 2.

Значения коэффициентов подобрать самостоятельно.

Таблица 2 – Варианты местной обратной связи

$G(p) = \frac{k}{Tp + 1}$	$G(p) = k$
$G(p) = \frac{k}{Tp}$	$G(p) = \frac{kp + 1}{Tp + 1}$

4) Изучить влияние нелинейных элементов методом фазового портрета. В качестве нелинейности использовать:

- гистерезис;
- зона нечувствительности;
- реле;
- насыщение;
- ограничение.

5) На основании экспериментальных исследований оценить:

- влияние П, ПИ и ПИД-регуляторов на статические и динамические характеристики САУ

- влияние метода решения дифференциальных уравнений на результат моделирования.

6) Ответить на контрольные вопросы.

7) Сформулировать выводы.

Оформление отчета


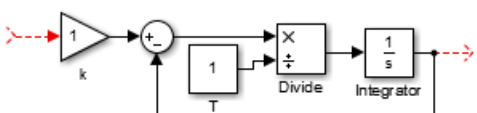
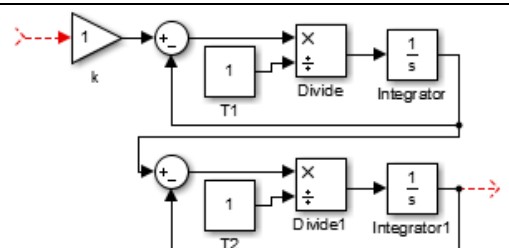
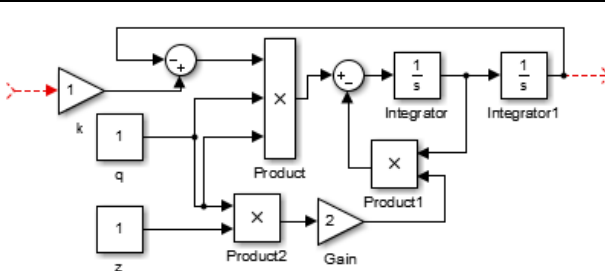
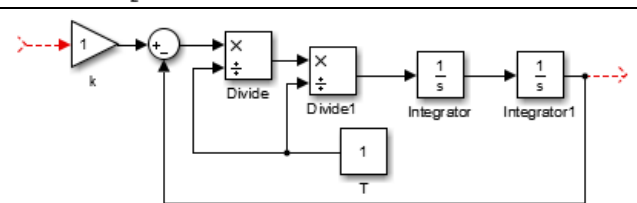
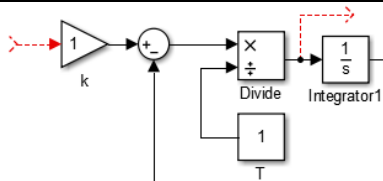

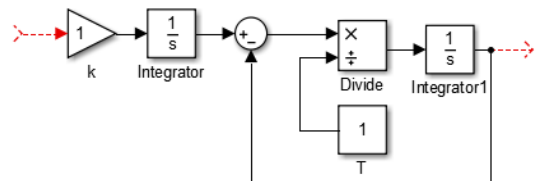
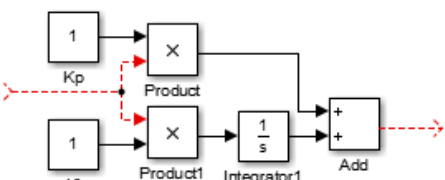
Отчет по лабораторной работе оформляется группой студентов (2-3 человека) и должен содержать следующие материалы:

- 1) Название лабораторной работы.
- 2) Структурные схемы исследуемой модели.
- 3) Расчеты регуляторов
- 4) Временные характеристики.
- 5) Частотные характеристики.
- 6) Выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1) Как устанавливать настройки моделирования?
- 2) Как влияют методы решения дифференциальных уравнений на результат моделирования?
- 3) При каких условиях достигаются наилучшие показатели качества регулирования в статической САУ?
- 4) Как определить запас устойчивости? Чему он равен (в цифрах) в исследуемой САУ?
- 5) Возможно ли с помощью ПИД-регулятора настроить САУ на технический оптимум и какие показатели качества при этом будут достигнуты (в цифрах)?
- 6) Возможно ли с помощью последовательных корректирующих устройств сделать неустойчивую САУ устойчивой и если можно, то почему?

Приложение 1

№	Тип звена (пример)	Электронная модель	Передаточная функция и ее параметры
1	Пропорциональное		$W(p) = k$
2	Инерционное		$W(p) = \frac{k}{Tp + 1}$
3	Апериодическое 2 порядка		$W(p) = \frac{k}{T_1 p^2 + T_2 p + 1}$
4	Колебательное		$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\zeta T p + 1}$ $q = 1/T$
5	Консервативное		$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 1}$
6	Дифференцирующее с замедлением		$W(p) = \frac{kp}{(Tp + 1)}$
	Интегрирующее		$W(p) = \frac{k}{p}$
	Интегрирующее с замедлением		$W(p) = \frac{k}{p(Tp + 1)}$
7	Изодромное		$W(p) = \frac{k(Tp + 1)}{p}$ $T = k_p/k_i$

Приложение 2

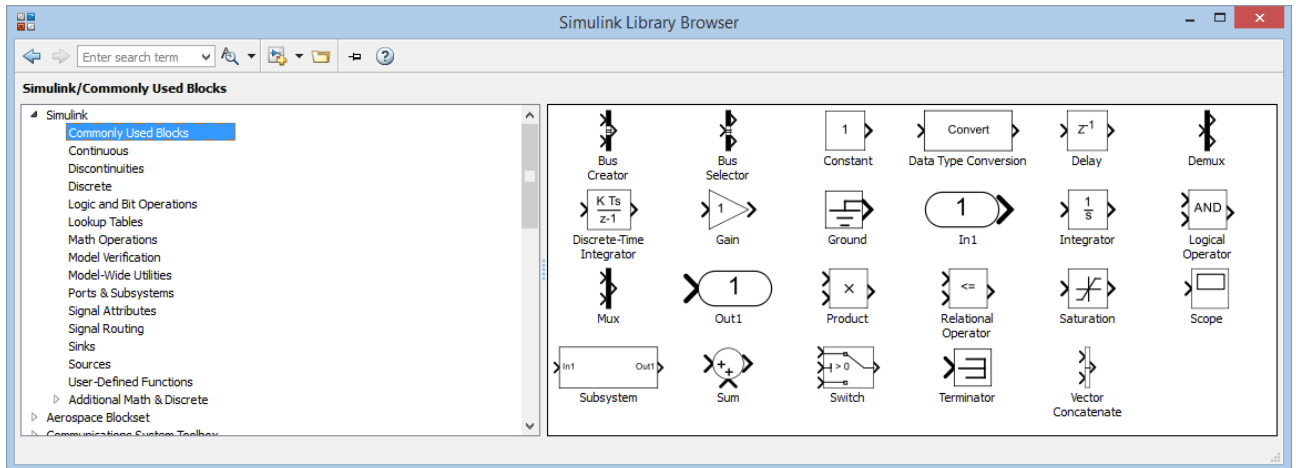


Рисунок А – блоки раздела Commonly Used Blocks (часто используемые блоки)

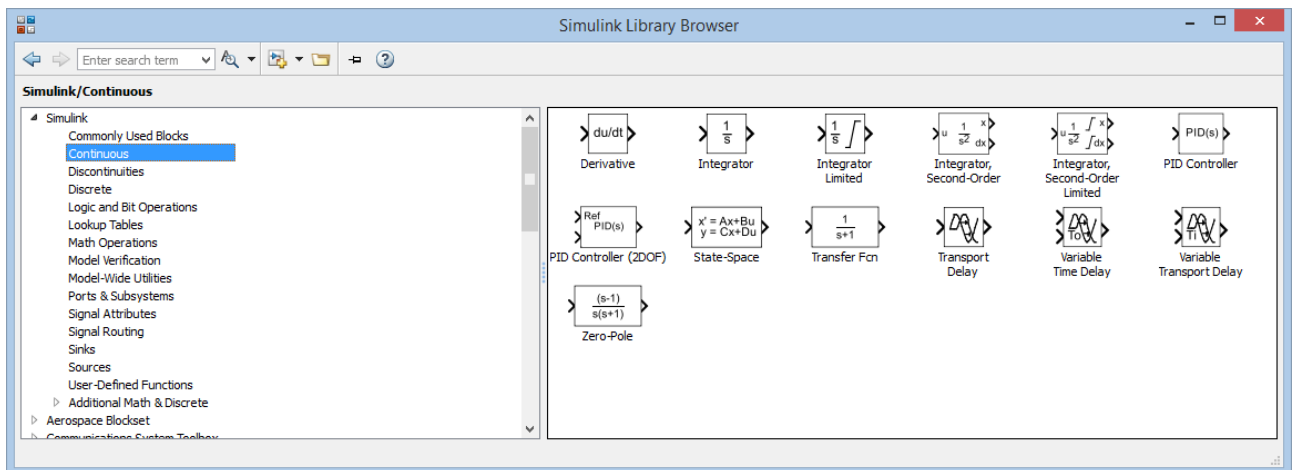


Рисунок Б – блоки раздела Continuous (аналоговые блоки)

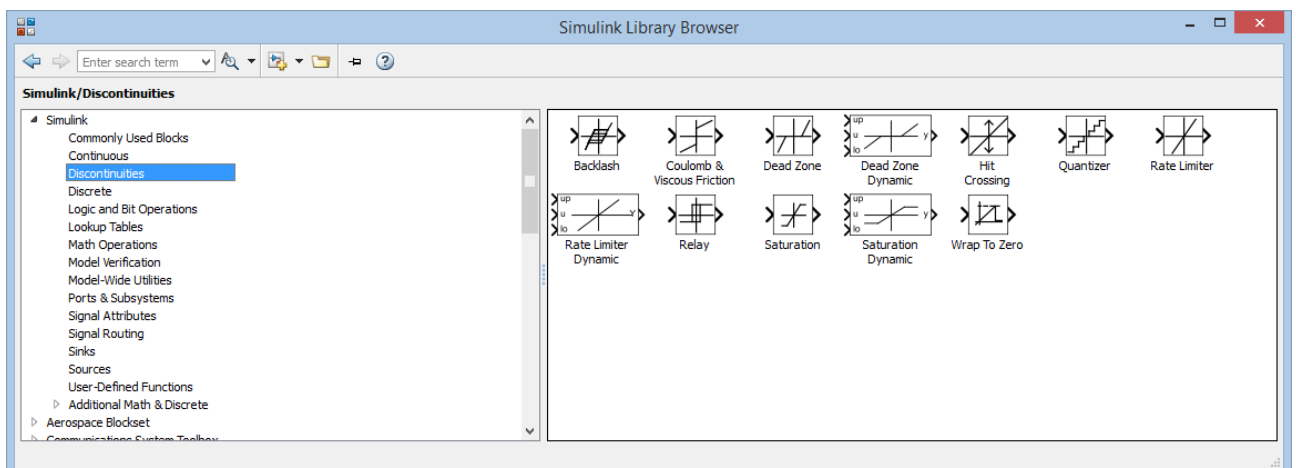


Рисунок В – блоки раздела Discontinuities (нелинейные блоки)

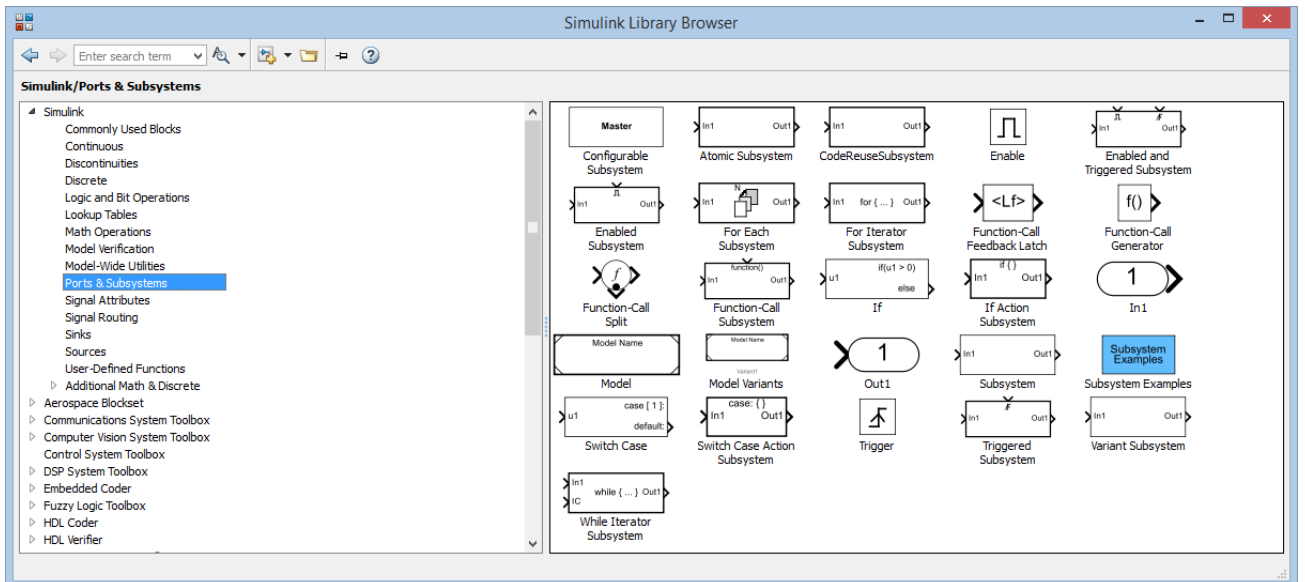


Рисунок Г – блоки раздела Ports & Subsystems (порты и подсистемы)

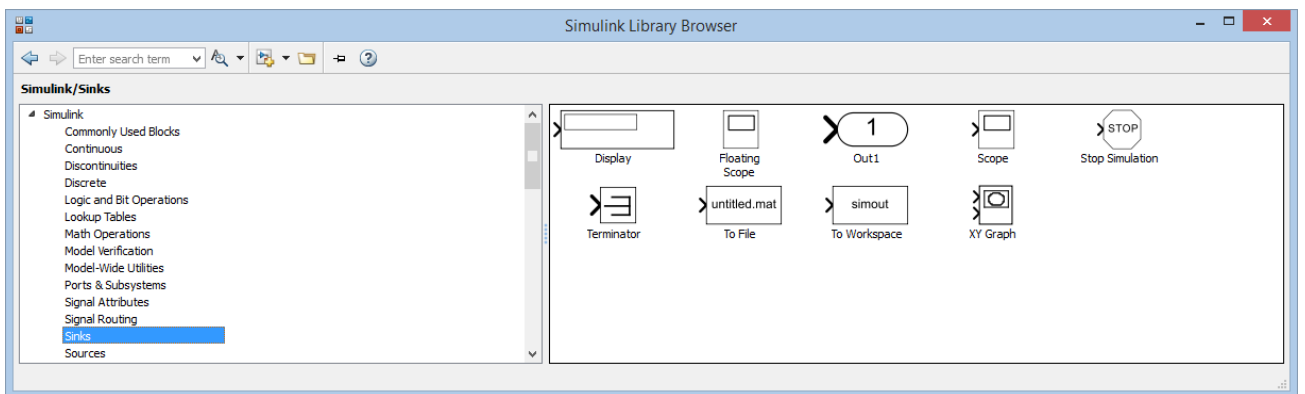


Рисунок Д – блоки раздела Sinks (приемники сигналов)

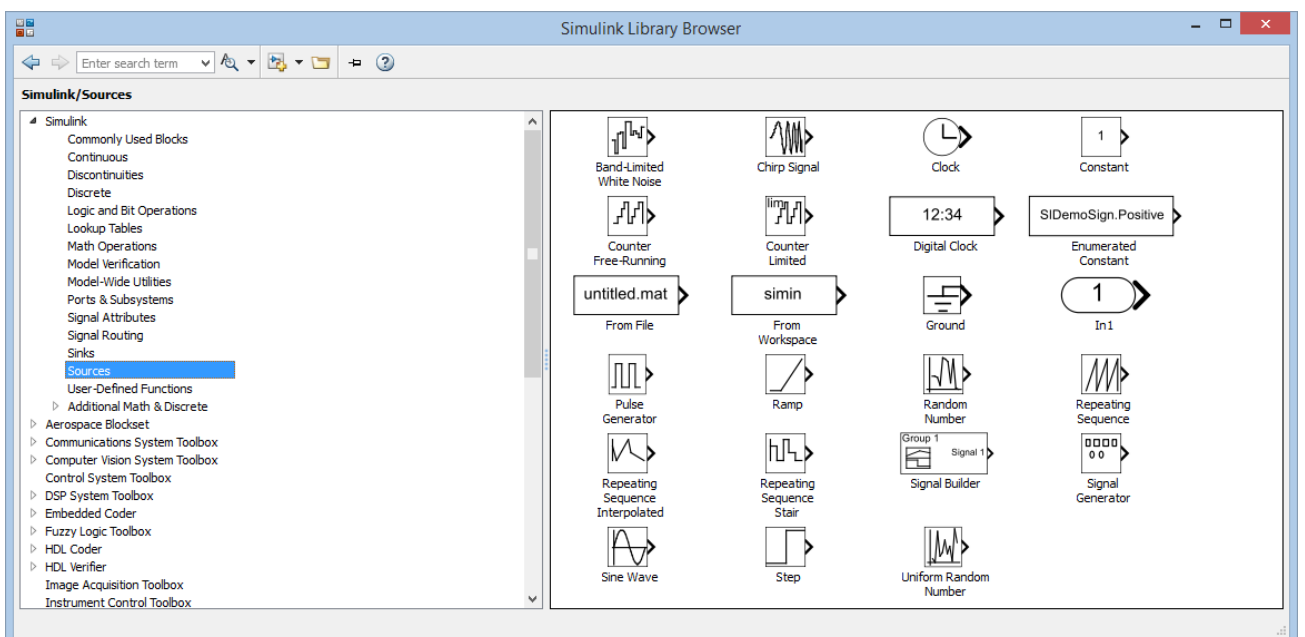


Рисунок Е – блоки раздела Sources (источники сигналов)

Список литературы

1. Дьяконов В.П. SIMULINK 4.: Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 528 с.
2. Дьяконов В.П. SIMULINK 5,6,7.: Самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 784 с.
3. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MatLab, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
4. Клиначев Н.В. Теория автоматического управления. Учебно-методический комплекс.
5. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – 3-е изд. – СПб.: Профессия, 2003. – 750 с.

Кузнецова Елена Михайловна

**Применение программного пакета MATLAB
при моделировании технических систем
Часть II**

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Введение в моделирование технических систем»
для студентов очной и заочной форм обучения направления
15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»,
27.03.04 «Управление в технических системах»

Авторская редакция

Подписано в печать 26.04.17	Формат 60x84 1/16	Бумага 65г/м ²
Печать цифровая	Усл. печ. л. 1,25	Уч. изд. л. 1,25
Заказ №90	Тираж 25	Не для продажи

БИЦ Курганского государственного университета.
640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.