

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГИДРО- И ПНЕВМОПРИВОДАХ В ПП SIMULINK**

Электронные методические указания к лабораторной работе

Самара

2010

УДК 62 – 50(075)

Авторы-составители: **Быстров Николай Дмитриевич,**  
**Гимадиев Асгат Гатьятович**

Рецензент: д.т.н. профессор кафедры эксплуатации  
авиационной техники Санчугов В. И.

В методических указаниях даны сведения по программному комплексу MATLAB-Simulink, ориентированному на моделирование динамических процессов в пневмогидравлических и других системах. Приведены математические модели гидро- и пневмоприводов, а также порядок исследования их динамических характеристик в ПП Simulink. Изложены вопросы по проверке полученных знаний.

Методические указания предназначены для магистрантов дневного отделения СГАУ, обучающихся в рамках магистерской программы «Мехатронные пневмогидравлические агрегаты и системы» по направлению 160700.68 «Двигатели летательных аппаратов».

Подготовлены на кафедре автоматических систем энергетических установок.

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2010

# СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	4
1 Цель и задачи проведения лабораторной работы	4
2 РАБОТА С ПАКЕТОМ SIMULINK	4
2.1 Общие сведения	4
2.2 Запуск Simulink	5
2.3 Обзор разделов библиотеки Simulink	6
2.4 Создание модели	8
2.5 Окно модели	10
2.6 Основные приемы подготовки и редактирования модели	12
2.7 Выполнение расчета	22
2.8. Завершение работы	23
3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГИДРО- И ПНЕВМОПРИВОДАХ	23
3.1 Исследование динамических характеристик исполнительных элементов гидропривода	23
3.2 Моделирование динамических процессов в силовой части гидропривода с дроссельным регулированием	25
3.3 Моделирование динамических процессов в силовой части пневмопривода	27
4 Содержание отчета по лабораторной работе	28
5 Вопросы для проверки степени усвоения материала	28
Список использованных источников	29

## Предисловие

Развитие теории и практики автоматического управления в последние годы опирается на широкое применение программных продуктов, позволяющих специалистам решать сложные задачи, связанные с созданием новой техники. Среди таких средств следует отметить программную среду Matlab-Simulink, позволяющую осуществлять моделирование динамических процессов автоматических систем и их элементов, причем моделирование может быть осуществлено как для линейных, так и для нелинейных систем. Для студентов и магистрантов, изучающих дисциплину «Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем», ознакомление с возможностями моделирования динамических свойств элементов гидро- и пневмопривода в среде Matlab-Simulink представляется весьма полезным.

### 1 Цель и задачи проведения лабораторной работы

*Цель работы:* приобретение навыков моделирования динамических процессов автоматических систем и их элементов с использованием программного комплекса Matlab-Simulink.

*Задачи лабораторной работы:* магистранты и студенты должны изучить назначение, функциональный состав, правила применения программного комплекса Matlab-Simulink, а также осуществить моделирование динамических процессов, протекающих в элементах гидро- и пневмопривода, в силовой части гидропривода с дроссельным регулированием и пневмоприводе в среде Matlab-Simulink.

Перед проведением лабораторной работы студентам необходимо ознакомиться с теоретическими основами работы гидро- и пневмопривода.

## 2. РАБОТА С ПАКЕТОМ SIMULINK

### 2.1 Общие сведения

Программа Simulink является приложением к пакету Matlab. При моделировании с использованием Simulink реализуется принцип визуального

программирования, в соответствии с которым пользователь на экране из библиотеки стандартных блоков создает модель устройства и осуществляет расчеты. При этом, в отличие от классических способов моделирования, пользователю не нужно изучать язык программирования и численные методы математики, а достаточно общих знаний, требующихся при работе на компьютере и, естественно, знаний той предметной области, в которой он работает.

Simulink является достаточно самостоятельным инструментом Matlab и при работе с ним совсем не требуется знать сам Matlab и остальные его приложения. С другой стороны, доступ к функциям Matlab и другим его инструментам остается открытым и их можно использовать в Simulink. Часть входящих в состав пакетов имеет инструменты, встраиваемые в Simulink, например, LTI-Viewer приложения Control System Toolbox – пакета для разработки систем управления. Имеются также дополнительные библиотеки блоков для разных областей применения (например, Power System Blockset – моделирование электротехнических устройств, Digital Signal Processing Blockset – набор блоков для разработки цифровых устройств и т.д).

При работе с Simulink пользователь имеет возможность модернизировать библиотечные блоки, создавать свои собственные, а также составлять новые библиотеки блоков.

При моделировании пользователь может выбирать метод решения дифференциальных уравнений, а также способ изменения модельного времени (с фиксированным или переменным шагом). В ходе моделирования имеется возможность следить за процессами, происходящими в системе. Для этого используются специальные устройства наблюдения, входящие в состав библиотеки Simulink. Результаты моделирования могут быть представлены в виде графиков или таблиц.

Преимущество Simulink заключается также в том, что он позволяет пополнять библиотеки блоков с помощью подпрограмм, написанных как на языке Matlab, так и на языках C ++, Fortran и Ada.

## 2.2 Запуск Simulink

Для запуска программы необходимо предварительно запустить пакет Matlab. Основное окно пакета Matlab показано на рис.2.1 Там же показана подсказка, появляющаяся в окне при наведении указателя мыши на ярлык Simulink в панели инструментов.

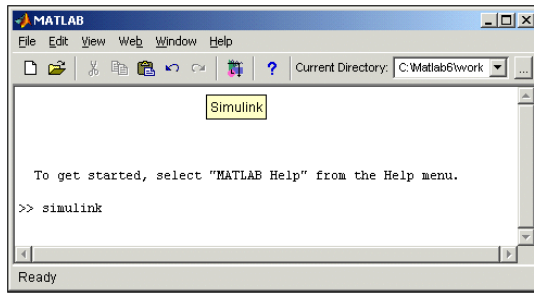


Рис. 2.1. Основное окно программы Matlab

После открытия основного окна программы Matlab нужно запустить программу Simulink. Это можно сделать одним из трех способов:

1. Нажать кнопку “Simulink” на панели инструментов командного окна Matlab.
2. В командной строке главного окна Matlab напечатать Simulink и нажать клавишу Enter на клавиатуре.
3. Выполнить команду Open... в меню File и открыть файл модели (mdl - файл).

Последний вариант удобно использовать для запуска уже готовой и отлаженной модели, когда требуется лишь провести расчеты и не нужно добавлять новые блоки в модель. Использование первого и второго способов приводит к открытию окна обозревателя разделов библиотеки Simulink (рис. 2.2).

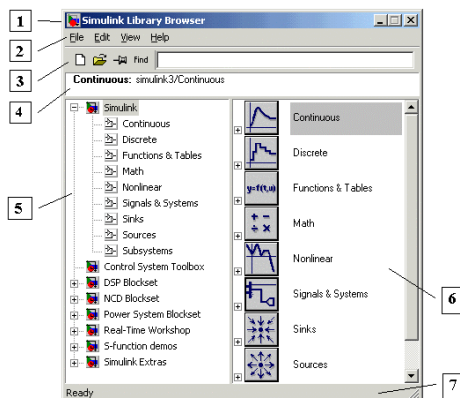


Рис. 2.2. Окно обозревателя разделов библиотеки Simulink

### 2.3 Обзорщик разделов библиотеки Simulink

Окно обозревателя библиотеки блоков содержит следующие элементы (см. рис. 2.2):

- заголовок, с названием окна – Simulink Library Browser.
- меню, с командами File, Edit, View, Help.

- панель инструментов, с ярлыками наиболее часто используемых команд.
- окно комментария для вывода поясняющего сообщения о выбранном блоке.
- список разделов библиотеки, реализованный в виде дерева.
- окно содержимого раздела библиотеки (список вложенных разделов библиотеки или блоков)
- строка состояния, содержащая подсказку по выполняемому действию.

На рис. 2.2 выделена основная библиотека Simulink (в левой части окна) и показаны ее разделы (в правой части окна). Библиотека Simulink содержит следующие основные разделы:

- Continuous – линейные блоки;
- Discrete – дискретные блоки;
- Functions & Tables – функции и таблицы;
- Math – блоки математических операций;
- Nonlinear – нелинейные блоки;
- Signals & Systems – сигналы и системы;
- Sinks - регистрирующие устройства;
- Sources — источники сигналов и воздействий;
- Subsystems – блоки подсистем.

Список разделов библиотеки Simulink представлен в виде дерева, и правила работы с ним являются общими для списков такого вида.

1. Пиктограмма свернутого узла дерева содержит символ "+", а пиктограмма развернутого содержит символ "-".
2. Для того чтобы развернуть или свернуть узел дерева, достаточно щелкнуть на его пиктограмме левой клавишей мыши (ЛКМ).
3. При выборе соответствующего раздела библиотеки в правой части окна отображается его содержимое.

Для работы с окном используются команды, собранные в меню. Меню обозревателя библиотек содержит следующие пункты:

- File (Файл) — Работа с файлами библиотек;
- Edit (Редактирование) — Добавление блоков и их поиск (по названию);
- View (Вид) — Управление показом элементов интерфейса;
- Help (Справка) — Вывод окна справки по обозревателю библиотек.

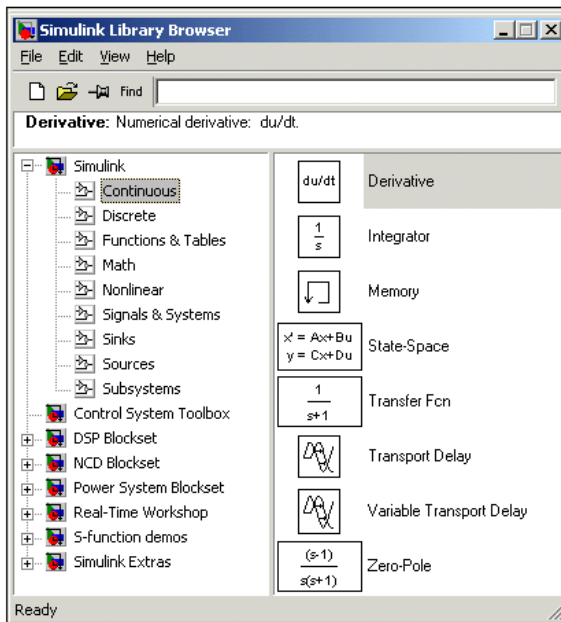


Рис. 2.3. Окно обозревателя с набором блоков раздела библиотеки

Для работы с обозревателем можно также использовать кнопки на панели инструментов (рис.2 .4).



Рис.2.4. Панель инструментов обозревателя разделов библиотек: 1 – создать новую S-модель, 2 – открыть одну из существующих S-моделей, 3 – изменить свойства окна обозревателя, 4 – поиск блока по названию

## 2.4 Создание модели

Для создания модели в среде Simulink необходимо последовательно выполнить ряд действий.

Во-первых, создать новый файл модели с помощью команды File/New/Model, или используя кнопку “New” на панели инструментов (здесь и далее, с помощью символа “/”, указаны пункты меню программы, которые необходимо последовательно выбрать для выполнения указанного действия). Вновь созданное окно модели показано на рис. 2.5.

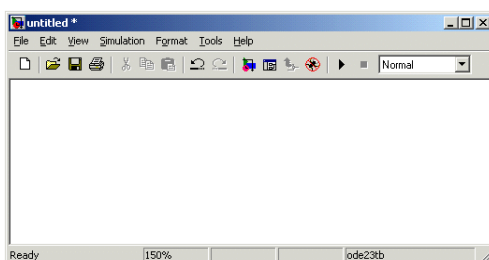


Рис. 2.5. Пустое окно модели



Во-вторых - расположить блоки в окне модели. Для этого необходимо открыть соответствующий раздел библиотеки (Например, Sources - Источники). Далее, указав курсором на требуемый блок и нажав на левую клавишу “мыши” - “перетащить” блок в созданное окно. Клавишу мыши нужно держать нажатой. На рис. 2.6 показано окно модели, содержащее блоки.

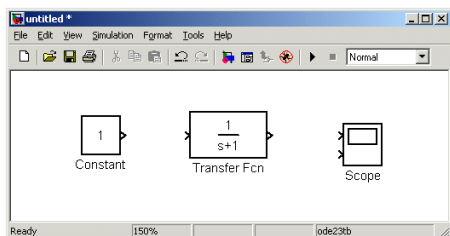


Рис. 2.6. Окно модели, содержащее блоки

Для удаления блока необходимо выбрать блок (указать курсором на его изображение и нажать левую клавишу “мыши”), а затем нажать клавишу Delete на клавиатуре. Для изменения размеров блока требуется выбрать блок, установить курсор в один из углов блока и, нажав левую клавишу “мыши”, изменить размер блока (курсор при этом превратится в двухстороннюю стрелку).

Далее, если это требуется, нужно изменить параметры блока, установленные программой “по умолчанию”. Для этого необходимо дважды щелкнуть левой клавишей “мыши”, указав курсором на изображение блока. Откроется окно редактирования параметров данного блока. При задании численных параметров следует иметь в виду, что в качестве десятичного разделителя должна использоваться точка, а не запятая. После внесения изменений нужно закрыть окно кнопкой ОК. На рис. 2.7 в качестве примера показаны блок, моделирующий передаточную функцию и окно редактирования параметров данного блока.

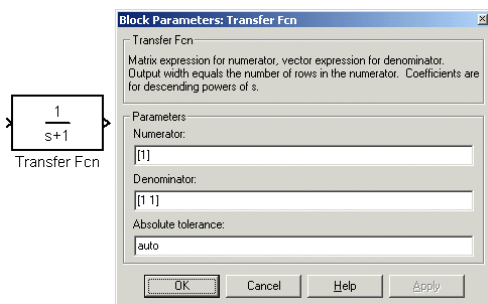


Рис. 2.7. Блок, моделирующий передаточную функцию и окно редактирования параметров блока

После установки на схеме всех блоков из требуемых библиотек нужно выполнить соединение элементов схемы. Для соединения блоков необходимо

указать курсором на “выход” блока, а затем нажать и, не отпуская левую клавишу “мыши”, провести линию к входу другого блока, после чего отпустить клавишу. В случае правильного соединения изображение стрелки на входе блока изменяет цвет. Для создания точки разветвления в соединительной линии нужно подвести курсор к предполагаемому узлу и, нажав правую клавишу “мыши”, протянуть линию. Для удаления линии требуется выбрать линию (так же, как это выполняется для блока), а затем нажать клавишу Delete на клавиатуре. Схема модели, в которой выполнены соединения между блоками, показана на рис. 2.8.

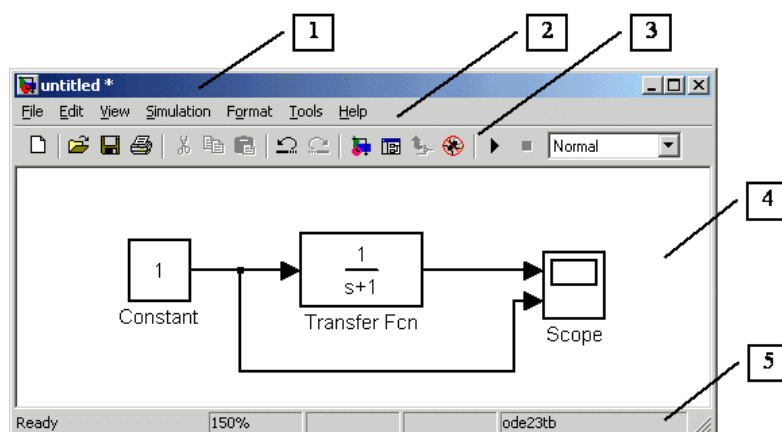


Рис. 2.8. Схема модели

После составления расчетной схемы необходимо сохранить ее в виде файла на диске, выбрав пункт меню File/Save As... в окне схемы и указав папку и имя файла. Следует иметь в виду, что имя файла не должно превышать 32 символов, должно начинаться с буквы и не может содержать символы кириллицы и спецсимволы. Это же требование относится и к пути файла (к тем папкам, в которых сохраняется файл). При последующем редактировании схемы можно пользоваться пунктом меню File/Save. При повторных запусках программы Simulink загрузка схемы осуществляется с помощью меню File/Open... в окне обозревателя библиотеки или из основного окна Matlab.

## 2.5 Окно модели

Окно модели содержит следующие элементы (см. рис. 2.8):

- Заголовок, с названием окна (1). Вновь созданному окну присваивается имя *Untitled* с соответствующим номером;
- Меню (2) с командами File, Edit, View и т.д.;
- Панель инструментов (3);
- Окно (4) для создания схемы модели;

- Строка состояния (5), содержащая информацию о текущем состоянии модели;

Меню окна содержит команды для редактирования модели, ее настройки и управления процессом расчета, работы файлами и т.п.:

- File (Файл) — Работа с файлами моделей;
- Edit (Редактирование) — Изменение модели и поиск блоков;
- View (Вид) — Управление показом элементов интерфейса;
- Simulation (Моделирование) — Задание настроек для моделирования и управление процессом расчета;
- Format (Форматирование) — Изменение внешнего вида блоков и модели в целом;
- Tools (Инструментальные средства) — Применение специальных средств для работы с моделью (отладчик, линейный анализ и т.п.);
- Help (Справка) — Вывод окон справочной системы.

Для работы с моделью можно также использовать кнопки на панели инструментов (рис. 2.9).

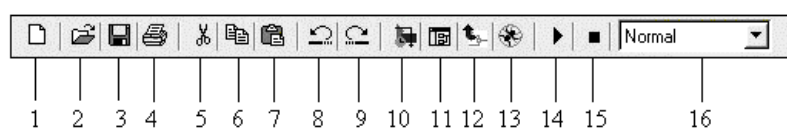


Рис. 2.9. Панель инструментов окна модели

Кнопки панели инструментов имеют следующие назначения:

- New Model (1) — Открыть новое (пустое) окно модели;
- Open Model (2) — Открыть существующий mdl-файл;
- Save Model (3) — Сохранить mdl-файл на диске;
- Print Model (4) — Вывод на печать блок-диаграммы модели.
- Cut (5) — Вырезать выделенную часть модели в буфер промежуточного хранения;
- Copy (6) — Скопировать выделенную часть модели в буфер промежуточного хранения;
- Paste (7) — Вставить в окно модели содержимое буфера промежуточного хранения;
- Undo (8) — Отменить предыдущую операцию редактирования;
- Redo (9) — Восстановить результат отмененной операции редактирования;

- Library Browser (10) — Открыть окно обозревателя библиотек;
- Toggle Model Browser (11) — Открыть окно обозревателя модели;
- Go to parent system (12) — Переход из подсистемы в систему высшего уровня иерархии (“родительскую систему”). Команда доступна только, если открыта подсистема;
- Debug (13) — Запуск отладчика модели;
- Start/Pause/Continue Simulation (14) — Запуск модели на исполнение (команда Start); после запуска модели на изображении кнопки выводится символ ■, и ей соответствует уже команда Pause (Приостановить моделирование); для возобновления моделирования следует щелкнуть по той же кнопке, поскольку в режиме паузы ей соответствует команда Continue (Продолжить);
- Stop (15) — Закончить моделирование. Кнопка становится доступной после начала моделирования, а также после выполнения команды Pause;
- Normal/Accelerator (16) — Обычный/Ускоренный режим расчета. Инструмент доступен, если установлено приложение Simulink Performance Tool.

В нижней части окна модели находится строка состояния, в которой отображаются краткие комментарии к кнопкам панели инструментов, а также к пунктам меню, когда указатель мыши находится над соответствующим элементом интерфейса. Это же текстовое поле используется и для индикации состояния Simulink: Ready (Готов) или Running (Выполнение). В строке состояния отображается также масштаб отображения блок-диаграммы (в процентах, исходное значение равно 100%), индикатор степени завершенности сеанса моделирования (появляется после запуска модели), текущее значения модельного времени (выводится также только после запуска модели), используемый алгоритм расчета состояний модели (метод решения).

## 2.6 Основные приемы подготовки и редактирования модели.

### *Добавление текстовых надписей*

Для повышения наглядности модели удобно использовать текстовые надписи. Для создания надписи нужно указать мышью место надписи и дважды щелкнуть левой клавишей мыши. После этого появится прямоугольная рамка с курсором ввода. Аналогичным образом можно изменить и подписи к блоками моделей.. На рис 2.10 показаны текстовая

надпись и изменение надписи в блоке передаточной функции. Следует иметь в виду, что рассматриваемая версия программы (Simulink 4) не адаптирована к использованию кириллических шрифтов, и применение их может иметь самые разные последствия: - отображение надписей в нечитаемом виде, обрезание надписей, сообщения об ошибках, а также невозможность открыть модель после ее сохранения. Поэтому применение надписей на русском языке для текущей версии Simulink крайне нежелательно.

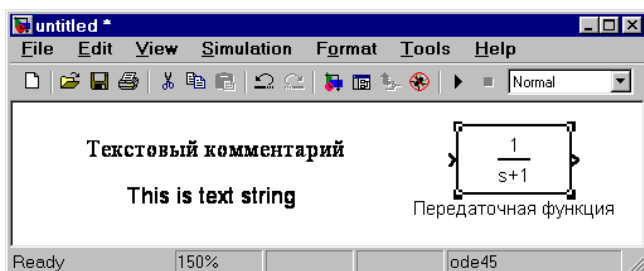



Рис. 2.10. Текстовая надпись и изменение надписи в Transfer Function

### *Выделение объектов*


Для выполнения какого-либо действия с элементом модели (блоком, соединительной линией, надписью) этот элемент необходимо сначала выделить.

Выделение объектов проще всего осуществляется мышью. Для этого необходимо установить курсор мыши на нужном объекте и щелкнуть левой клавишей мыши. Произойдет выделение объекта. Об этом будут свидетельствовать маркеры по углам объекта (см. рис. 2.10). Можно также выделить несколько объектов. Для этого надо установить курсор мыши вблизи группы объектов, нажать левую клавишу мыши и, не отпуская ее, начать перемещать мышь. Появится пунктирная рамка, размеры которой будут изменяться при перемещении мыши. Все охваченные рамкой объекты становятся выделенными. Выделить все объекты также можно, используя команду Edit/Select All. После выделения объекта его можно копировать или перемещать в буфер промежуточного хранения, извлекать из буфера, а также удалять, используя стандартные приемы работы в Windows-программах.

### *Копирование и перемещение объектов в буфер промежуточного хранения*


Для копирования объекта в буфер его необходимо предварительно выделить, а затем выполнить команду Edit/Copy или воспользоваться инструментом  на панели инструментов.

Для вырезания объекта в буфер его необходимо предварительно выделить, а затем выполнить команду Edit/Cut или воспользоваться

инструментом  на панели инструментов. При выполнении данных операций следует иметь в виду, что объекты помещаются в собственный буфер MATLAB и недоступны из других приложений. Использование команды Edit/Copy model to Clipboard позволяет поместить графическое изображение модели в буфер Windows и, соответственно, делает его доступным для остальных программ.

Копирование можно выполнить и таким образом: нажать правую клавишу мыши, и не отпуская ее, переместить объект. При этом будет создана копия объекта, которую можно переместить в необходимое место.

#### *Вставка объектов из буфера промежуточного хранения*

Для вставки объекта из буфера необходимо предварительно указать место вставки, щелкнув левой клавишей мыши в предполагаемом месте вставки, а затем выполнить команду Edit/Paste или воспользоваться инструментом  на панели инструментов.

#### *Удаление объектов*

Для удаления объекта его необходимо предварительно выделить, а затем выполнить команду Edit/Clear или воспользоваться клавишей Delete на клавиатуре. Следует учесть, что команда Clear удаляет блок без помещения его в буфер обмена. Однако эту операцию можно отменить командой меню File/Undo.

#### *Соединение блоков*

Для соединения блоков необходимо сначала установить курсор мыши на выходной порт одного из блоков. Курсор при этом превратится в большой крест из тонких линий (рис. 2.11). Держа нажатой левую кнопку мыши, нужно переместить курсор ко входному порту нужного блока. Курсор мыши примет вид креста из тонких сдвоенных линий (рис. 2.12). После создания линии необходимо отпустить левую клавишу мыши. Свидетельством того, что соединение создано, будет жирная стрелка у входного порта блока. Выделение линии производится точно так же, как и выделение блока – одинарным щелчком левой клавиши мыши. Черные маркеры, расположенные в узлах соединительной линии, будут говорить о том, что линия выделена.

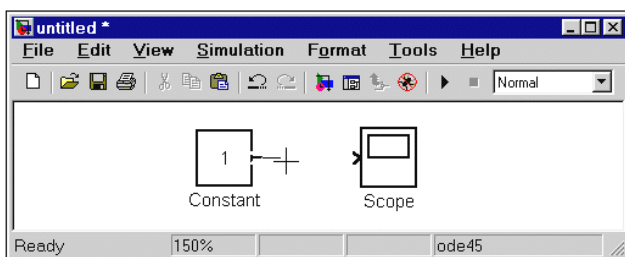


Рис. 2.11. Начало создания соединения

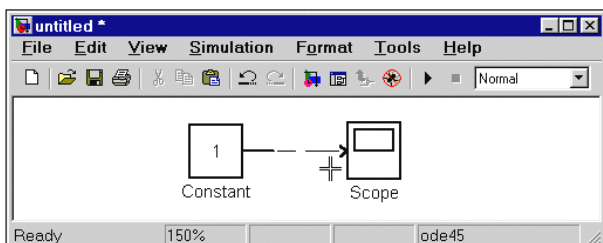


Рис. 2.12. Завершение создания соединения

Создание петли линии соединения выполняется так же, как перемещение блока. Линия соединения выделяется, и затем нужная часть линии перемещается (рис. 13.)

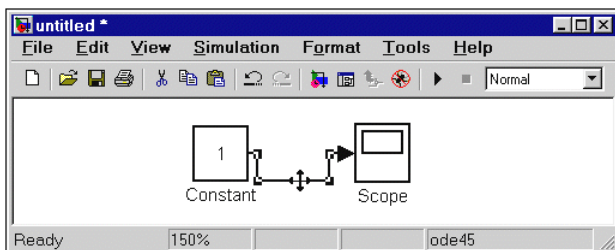


Рис. 2.13. Создание петли в соединительной линии.

Удаление соединений выполняется так же, как и любых других объектов.

### *Изменение размеров блоков*

Для изменения размера блока он выделяется, после чего курсор мыши надо установить на один из маркеров по углам блока. После превращения курсора в двустороннюю стрелку, необходимо нажать левую клавишу мыши и растянуть (или сжать) изображения блока. На рис. 2.14 показан этот процесс. Размеры надписей блока при этом не изменяются.

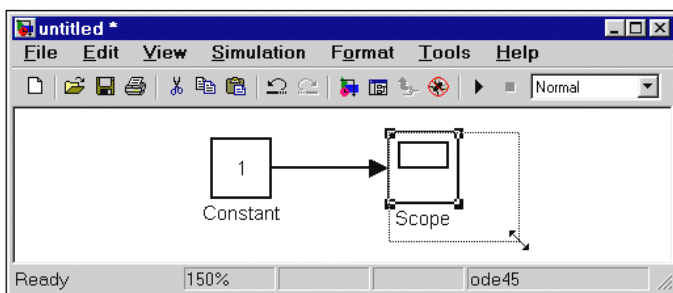




Рис. 2.14. Изменение размера блока

### *Перемещение блоков*

Любой блок модели можно переместить, выделив его и передвинув, держа нажатой левую клавишу мыши. Если ко входам и выходам блока подведены соединительные линии, то они не разрываются, а лишь сокращаются или увеличиваются в длине. В соединение можно также вставить блок, имеющий один вход и один выход. Для этого его нужно расположить в требуемом месте соединительной линии.

### *Использование команд Undo и Redo*

В процессе освоения программы пользователь может совершать действия кажущиеся ему необратимыми (например, случайное удаление части модели, копирование и т.д.). В этом случае следует воспользоваться командой Undo — отмена последней операции. Команду можно вызвать с помощью кнопки  в панели инструментов окна модели или из меню Edit. Для восстановления отмененной операции служит команда Redo (инструмент .

### *Форматирования объектов*

В меню Format (так же, как и в контекстном меню, вызываемом нажатием правой клавиши мыши на объекте) находится набор команд форматирования блоков. Команды форматирования разделяются на несколько групп:

#### 1. Изменение отображения надписей:

- Font — Форматирование шрифта надписей и текстовых блоков;
- Text alignment — Выравнивание текста в текстовых надписях;
- Flip name — Перемещение подписи блока;
- Show/Hide name — Отображение или скрытие подписи блока.

#### 2. Изменение цветов отображения блоков:

- Foreground color — Выбор цвета линий для выделенных блоков;
- Background color — Выбор цвета фона выделенных блоков;



- Screen color — Выбор цвета фона для всего окна модели.

### 3. Изменение положения блока и его вида:

- Flip block – Зеркальное отображение относительно вертикальной оси симметрии;
- Rotate block – Поворот блока на 90° по часовой стрелке;
- Show drop shadow — Показ тени от блока;
- Show port labels — Показ меток портов.

### 4. Прочие установки:

- Library link display — Показ связей с библиотеками;
- Sample time colors — Выбор цвета блока индикации времени;
- Wide nonscalar lines — Увеличение/уменьшение ширины не скалярных линий;
- Signal dimensions — Показ размерности сигналов;
- Port data types — Показ данных о типе портов;
- Storage class — Класс памяти. Параметр, устанавливаемый при работе Real-Time Workshop;
- Execution order — Вывод порядкового номера блока в последовательности исполнения.

### *Установка параметров расчета и его выполнение.*

Перед выполнением расчетов необходимо предварительно задать параметры расчета. Задание параметров расчета выполняется в панели управления меню Simulation/Parameters. Вид панели управления приведен на рис. 2.15.

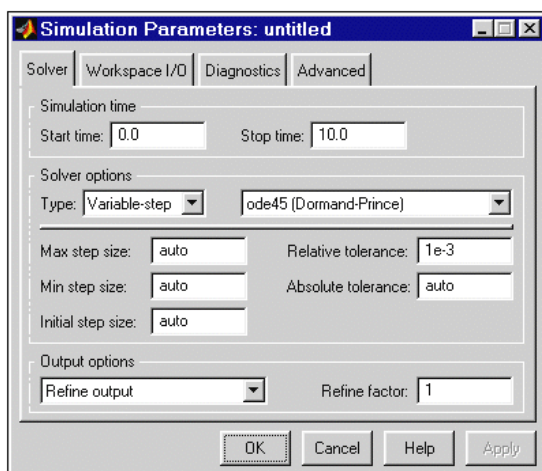


Рис. 2.15. Панель управления

Окно настройки параметров расчета имеет 4 вкладки:

- Solver (Расчет) — Установка параметров расчета модели;

- Workspace I/O (Ввод/вывод данных в рабочую область) — Установка параметров обмена данными с рабочей областью Matlab;
- Diagnostics (Диагностика) — Выбор параметров диагностического режима;
- Advanced (Дополнительно) — Установка дополнительных параметров.

Установка параметров расчета модели выполняется с помощью элементов управления, размещенных на вкладке Solver. Эти элементы разделены на три группы (рис. 2.15): Simulation time (Интервал моделирования или, иными словами, время расчета), Solver options (Параметры расчета), Output options (Параметры вывода).

#### *Установка параметров расчета модели*

Simulation time (Интервал моделирования или время расчета). Время расчета задается указанием начального (Start time) и конечного (Stop time) значений времени расчета. Начальное время, как правило, задается равным нулю. Величина конечного времени задается пользователем, исходя из условий решаемой задачи.

Solver options (Параметры расчета). При выборе параметров расчета необходимо указать способ моделирования (Type) и метод расчета нового состояния системы. Для параметра Type доступны два варианта - с фиксированным (Fixed-step) или с переменным (Variable-step) шагом. Как правило, Variable-step используется для моделирования непрерывных систем, а Fixed-step - для дискретных.

Список методов расчета нового состояния системы содержит несколько вариантов. Первый вариант (discrete) используется для расчета дискретных систем. Остальные методы используются для расчета непрерывных систем. Эти методы различны для переменного (Variable-step) и для фиксированного (Fixed-step) шага времени, но, по сути, представляют собой процедуры решения систем дифференциальных уравнений. Подробное описание каждого из методов расчета состояний системы приведено во встроенной справочной системе Matlab.

Ниже двух раскрывающихся списков Type находится область, содержимое которой меняется зависимости от выбранного способа изменения модельного времени. При выборе Fixed-step в данной области появляется текстовое поле Fixed-step size (величина фиксированного шага), позволяющее указывать величину шага моделирования (см. рис. 2.16). Величина шага моделирования по умолчанию устанавливается системой автоматически

(auto). Требуемая величина шага может быть введена вместо значения auto либо в форме числа, либо в виде вычисляемого выражения (то же самое относится и ко всем параметрам, устанавливаемым системой автоматически).

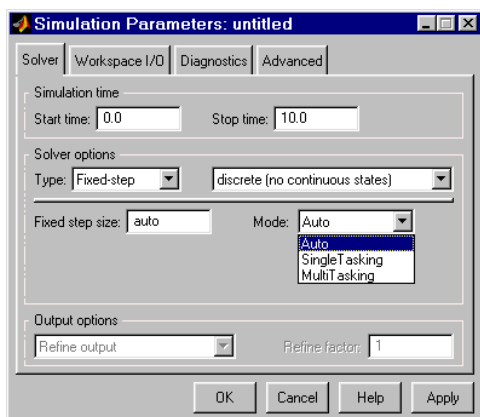


Рис. 2.16. Вкладка Solver при выборе фиксированного шага расчета

При выборе Fixed-step необходимо также задать режим расчета (Mode). Для параметра Mode доступны три варианта.

1. MultiTasking (Многозадачный) – необходимо использовать, если в модели присутствуют параллельно работающие подсистемы, и результат работы модели зависит от временных параметров этих подсистем. Режим позволяет выявить несоответствие скорости и дискретности сигналов, пересылаемых блоками друг другу.
2. SingleTasking (Однозадачный) - используется для тех моделей, в которых недостаточно строгая синхронизация работы отдельных составляющих не влияет на конечный результат моделирования.
3. Auto (Автоматический выбор режима) - позволяет Simulink автоматически устанавливать режим MultiTasking для тех моделей, в которых используются блоки с различными скоростями передачи сигналов и режим SingleTasking для моделей, в которых содержатся блоки, оперирующие одинаковыми скоростями.

При выборе Variable-step в области появляются поля для установки трех параметров:

- Max step size - максимальный шаг расчета. По умолчанию он устанавливается автоматически (auto) и его значение в этом случае равно  $(SforTime - StartTime)/50$ . Довольно часто это значение оказывается слишком большим, и наблюдаемые графики представляют собой ломаные (а не плавные) линии. В этом случае величину максимального шага расчета необходимо задавать явным образом;

- Min step size - минимальный шаг расчета;
- Initial step size - начальное значение шага моделирования.

При моделировании непрерывных систем с использованием переменного шага необходимо указать точность вычислений: относительную (Relative tolerance) и абсолютную (Absolute tolerance). По умолчанию они равны соответственно  $10^{-3}$  и auto.

Output options (Параметры вывода). В нижней части вкладки Solver задаются настройки параметров вывода выходных сигналов моделируемой системы (Output options). Для данного параметра возможен выбор одного из трех вариантов:

Refine output (Скорректированный вывод) – позволяет изменять дискретность регистрации модельного времени и тех сигналов, которые сохраняются в рабочей области MATLAB с помощью блока To Workspace. Установка величины дискретности выполняется в строке редактирования Refine factor, расположенной справа. По умолчанию значение Refine factor равно 1, это означает, что регистрация производится с шагом  $\Delta t = 1$  (то есть для каждого значения модельного времени:). Если задать Refine factor равным 2, это означает, что будет регистрироваться каждое второе значение сигналов, 3 - каждое третье т. д. Параметр Refine factor может принимать только целые положительные значения

Produce additional output (Дополнительный вывод) — обеспечивает дополнительную регистрацию параметров модели в заданные моменты времени; их значения вводятся в строке редактирования (в этом случае она называется Output times) в виде списка, заключенного в квадратные скобки. При использовании этого варианта базовый шаг регистрации ( $\Delta t$ ) равен 1. Значения времени в списке Output times могут быть дробными числами и иметь любую точность.

Produce specified output only (Формировать только заданный вывод) — устанавливает вывод параметров модели только в заданные моменты времени, которые указываются в поле Output times (Моменты времени вывода).

#### *Установка параметров обмена с рабочей областью*

Элементы, позволяющие управлять вводом и выводом в рабочую область MATLAB промежуточных данных и результатов моделирования, расположены на вкладке Workspace I/O (рис. 2.17).

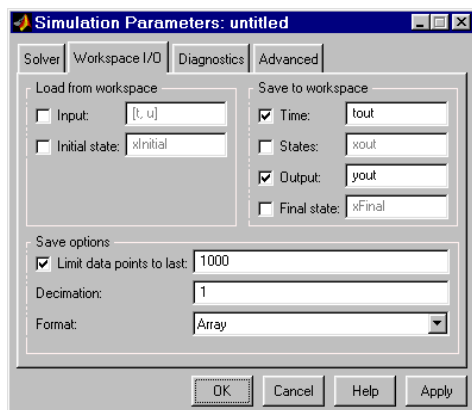


Рис. 2.17. Окно установки параметров обмена с рабочей областью

Вкладка **Workspace I/O** диалогового окна установки параметров моделирования

Элементы вкладки разделены на 3 поля, которые описаны далее.

- **Load from workspace** (Загрузить из рабочей области). Если флажок **Input** (Входные данные) установлен, то в расположенном справа текстовом поле можно ввести формат данных, которые будут считываться из рабочей области Matlab. Установка флажка **Initial State** (Начальное состояние) позволяет ввести в связанном с ним текстовом поле имя переменной, содержащей параметры начального состояния модели. Данные, указанные в полях **Input** и **Initial State**, передаются в исполняемую модель посредством одного или более блоков **In** (из раздела библиотеки **Sources**).
- **Save to workspace** (Записать в рабочую область) – Позволяет установить режим вывода значений сигналов в рабочую область Matlab и задать их имена.
- **Save options** (Параметры записи) – Задаёт количество строк при передаче переменных в рабочую область. Если флажок **Limit rows to last** установлен, то в поле ввода можно указать количество передаваемых строк (отсчет строк производится от момента завершения расчета). Если флажок не установлен, то передаются все данные. Параметр **Decimation** (Исключение) задает шаг записи переменных в рабочую область (аналогично параметру **Refine factor** вкладки **Solver**). Параметр **Format** (формат данных) задает формат передаваемых в рабочую область данных. Доступные форматы **Array** (Массив), **Structure** (Структура), **Structure With Time** (Структура с дополнительным полем – “время”).

## Установка параметров диагностирования модели

Вкладка Diagnostics (рис. 2.18) позволяет изменять перечень диагностических сообщений, выводимых Simulink в командном окне Matlab, а также устанавливать дополнительные параметры диагностики модели.

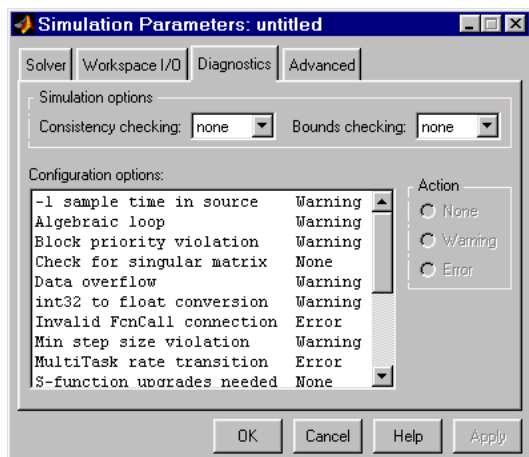




Рис. 2.18. Вкладка Diagnostics окна установки параметров моделирования

Сообщения об ошибках или проблемных ситуациях, обнаруженных Simulink в ходе моделирования и требующих вмешательства разработчика выводятся в командном окне Matlab. Исходный перечень таких ситуаций и вид реакции на них приведен в списке на вкладке Diagnostics. Разработчик может указать вид реакции на каждое из них, используя группу переключателей в поле Action (они становятся доступны, если в списке выбрано одно из событий):

- None — игнорировать;
- Warning — выдать предупреждение и продолжить моделирование;
- Error — выдать сообщение об ошибке и остановить сеанс моделирования.

Выбранный вид реакции отображается в списке рядом с наименованием события.

## 2.7. Выполнение расчета

Запуск расчета выполняется с помощью выбора пункта меню Simulation/Start. или инструмента  на панели инструментов. Процесс расчета можно завершить досрочно, выбрав пункт меню Simulation/Stop или инструмент . Расчет также можно остановить (Simulation/Pause) и затем продолжить (Simulation/Continue).

## 2.8. Завершение работы

Для завершения работы необходимо сохранить модель в файле, закрыть окно модели, окно обозревателя библиотек, а также основное окно пакета Matlab.

## 3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГИДРО- И ПНЕВМОПРИВОДАХ

### 3.1 Исследование динамических характеристик

Для исследования динамических характеристик предлагается силовой элемент гидропривода (рис. 3.1), описываемого уравнением интегрирующего типового звена

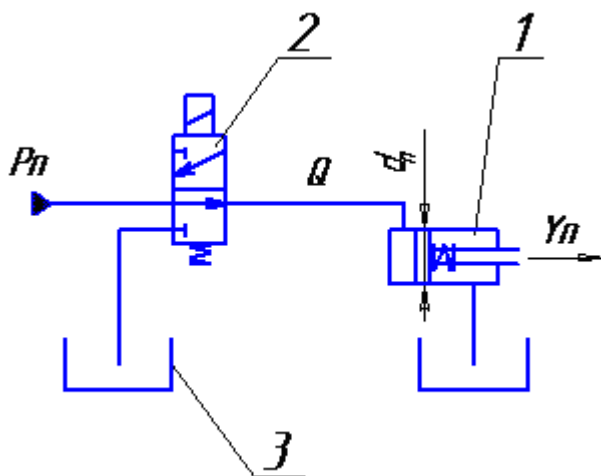


Рис. 3.1. Гидравлическая схема силового элемента гидропривода: 1 – цилиндр с поршнем; 2 – гидрораспределитель; 3 – сливная емкость

Уравнения, описывающие динамические процессы в элементе гидропривода таковы:

$$T \frac{dy_n}{dt} = x_{кл}, \quad \text{где} \quad T = \frac{S_n}{\mu_{кл} b_{кл} \sqrt{\frac{2(P_n - P_c)}{\rho}}} - \text{постоянная времени; } y_n -$$

перемещение штока;  $x_{кл}$  – перемещение клапана управления;  $\mu_{кл}$  – коэффициент расхода клапана;  $b_{кл}$  – ширина окон, открываемых при перемещении клапана;  $P_n$  – давление питания;  $P_c$  – давление в цилиндре;  $\rho$  – плотность рабочей жидкости.

Моделирование переходного процесса в элементе гидропривода следует провести при следующих параметрах:

$$\mu_{кл} = 0,8; \quad b_{кл} = 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ м; } P_n = 100 \cdot 10^5 \text{ Па; } P_c = 80 \cdot 10^5 \text{ Па; } \rho = 850 \text{ кг/м}^3 ;$$

$S_n = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$  при управляющем воздействии в виде ступенчатого перемещения клапана управления  $x_{\text{кл}} = 1 \cdot 10^{-3} (t) \text{ м}$ .

Построив переходный процесс, нужно оценить насколько быстро нарастает перемещение штока гидроцилиндра.

Вторым примером является гидромеханическое устройство (рис. 3.2), описываемого уравнением аperiodического типового звена.

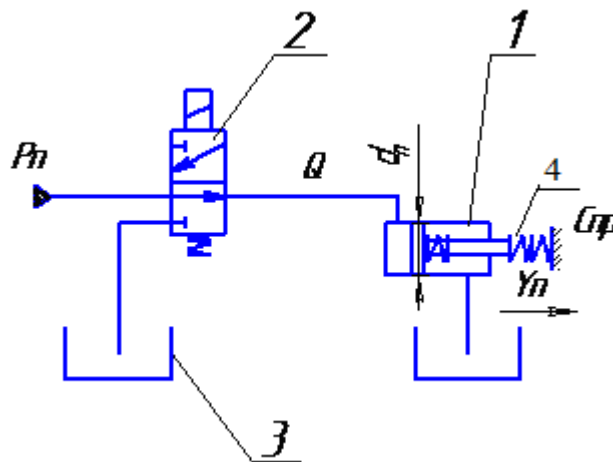


Рис. 3.2. Гидромеханическое устройство, нагруженное силовой пружиной: 1 – цилиндр с поршнем; 2 – гидрораспределитель; 3 – сливная емкость; 4 – пружина

Уравнение динамики гидромеханического устройства таковы:

$$T \frac{dy_n}{dt} + y_n = K_y x_{\text{кл}} P, \quad \text{где} \quad T = \frac{S_n^2}{K_{Qp} C_{np}} \quad - \quad \text{постоянная времени;}$$

$$K_y = S_n / (K_{Qp} C_{np}), \quad K_{Qp} = \mu_{\text{кл}} b_{\text{кл}} x_{\text{кл}} / \sqrt{2\rho |P_n - P_{y0}|} \quad - \quad \text{коэффициенты.}$$

Моделирование осуществить при параметрах, соответствующих первому примеру с дополнением:  $C_{np} = 100 \text{ Н/мм}$ .

В результате моделирования построить переходный процесс и определить время переходного процесса и на какой уровень выходит шток гидроцилиндра.

Третьим примером является гидромеханическое устройство, нагруженное инерционной и емкостной нагрузками (рис. 3.3), описываемое уравнением колебательного типового звена.



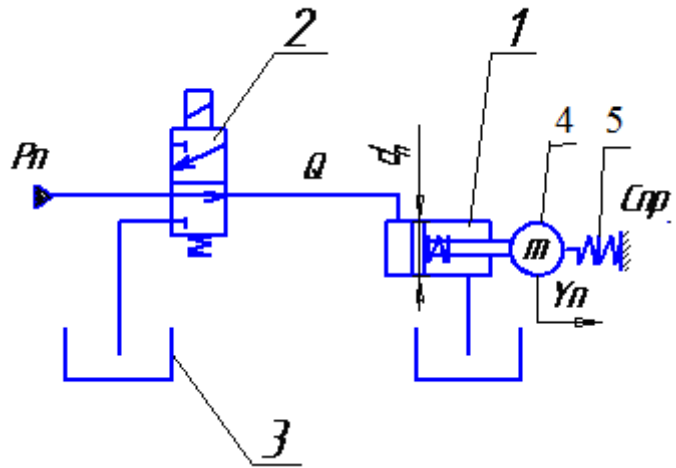


Рис. 3.3. Гидромеханическое устройство, нагруженное инерционной и емкостной нагрузкой: 1 – цилиндр с поршнем; 2 – гидрораспределитель; 3 – сливная емкость; 4 – масса; 5 - пружина

Уравнения динамики гидромеханического устройства, нагруженного инерционной и емкостной нагрузкой, таковы:

$$T^2 \frac{d^2 y_n}{dt^2} + 2\xi T \frac{dy_n}{dt} + y_n = K_y x_{кл} P, \text{ где } T = \sqrt{m / C_{np}} \text{ – постоянная времени}$$

устройства;  $\xi = (K_{mp} + \frac{S_n^2}{K_{qp}}) / (2\sqrt{mC_{np}})$  – коэффициент демпфирования;

$K_y = S_n / (C_{np} K_{qp})$  – коэффициент преобразования расхода среды в перемещение поршня.

Моделирование осуществить при параметрах, соответствующих второму примеру с дополнением:  $m = 100$  кг;  $K_{тр} = 0,2$  кг/с.

В результате моделирования построить переходный процесс и определить характерные параметры колебательного переходного процесса.

### 3.2 Моделирование динамических процессов в силовой части гидропривода с дроссельным регулированием

Из курса лекций «Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем» ясно как функционирует гидропривод с дроссельным регулированием. Поэтому в лабораторной работе лишь моделируется переходный процесс в ПП Simulink и определяются показатели качества регулирования или изменения во времени координаты выходного звена (рис. 3.4).

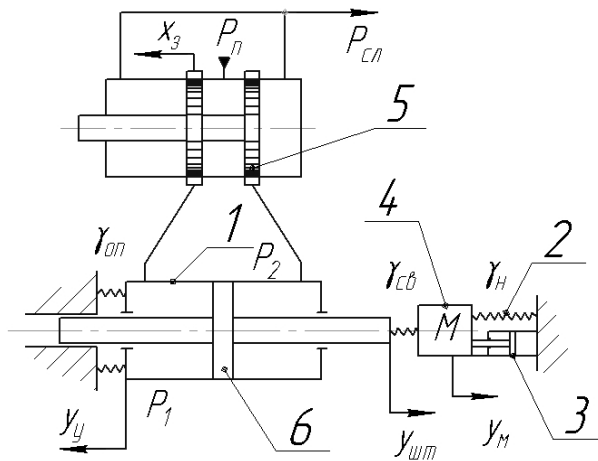


Рис. 3.4. Принципиальная схема силовой части гидропривода с дроссельным регулированием без внешней обратной связи

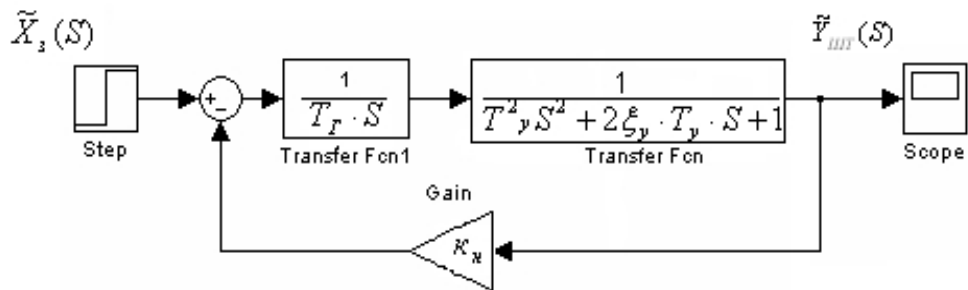


Рис. 3.5. Структурная схема силовой части гидропривода с дроссельным регулированием

Формулы для расчета коэффициентов передаточных функций, записанных в структурной схеме (рис. 3.5), таковы:

$$T_{\Gamma} = \frac{S_n}{k_{Qx}}; \quad T_y = \sqrt{\frac{m}{C_y}}; \quad C_y = 2S_n^2 \frac{E_y}{V_0}; \quad \xi_y = \frac{0,5k_{TP} + k_{Qp} \cdot m \cdot E_y / V_0}{\sqrt{m \cdot C_y}};$$

$$k_n = \frac{k_{Qp} \cdot C_H}{k_{Qx} \cdot S_n}; \quad k'_3 = \mu_3 \cdot \pi \cdot d_3 \cdot k_n \sqrt{2 / \rho}; \quad E_y = B_m / (1 + \frac{V_l}{V_0} + \frac{2S_n^2 B_m}{V_0 \cdot C_{on}});$$

$$k_{Qx} = k'_3 \sqrt{|P_n - P_{cl} - P_{но} \cdot \text{sign} X_{30}| / 2};$$

$$k_{Qp} = k'_3 X_{30} / (2 \sqrt{2 |P_n - P_{cl} - P_{но} \cdot \text{sign} X_{30}|}).$$

Основные данные для расчета коэффициентов передаточных функций:

$$\rho = 850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \quad d_3 = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad k_n = 0,5; \quad \mu_3 = 0,8; \quad P_n = 100 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$P_{cl} = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}; \quad X_{30} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad P_{но} = 0; \quad V_0 = 200 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$S_n = \frac{\pi d_n^2}{4}; \quad d_n = 30 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad B_m = 1,67 \cdot 10^9 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}; \quad C_{on} = 10^8 \frac{\text{Н}}{\text{мм}};$$

$$C_n = 100 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}; \quad m = 100 \text{ кг}; \quad k_{TP} = 0,2 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Набрать в ПП Simulink модель в окне программы моделирования линейных САУ.

Смоделировать переходный процесс при единичном воздействии по входу.

Определить показатели качества переходного процесса.

Составить отчет о проделанной работе.

### 3.3. Моделирование динамических процессов в силовой части пневмопривода

Силовая часть пневмопривода с дроссельным регулированием, без внешней обратной связи, соответствует схеме, представленной на рис. 3.6.

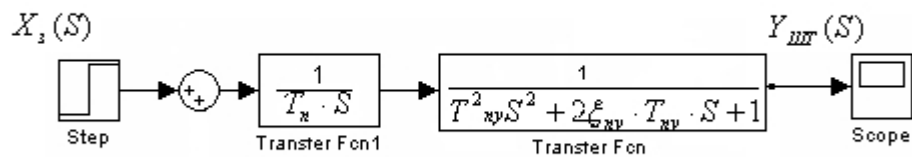


Рис. 3.6. Структурная схема силовой части пневмопривода с дроссельным регулированием

Коэффициенты передаточных функций, записанных в структурной

схеме, таковы:  $T_n = \frac{S_n}{K_{QX}}; \quad T_{n.y} = \sqrt{\frac{m}{C_{n.y}}}; \quad C_{n.y} = 2S_n^2 \cdot \frac{B_{ar}}{V_0};$

$$\xi_{n.y} = 0,5 \frac{K_{TP}}{\sqrt{m \cdot C_{n.y}}}; \quad k_{Qx} = k'_3 \sqrt{|P_n - P_{cl} - P_{но} \cdot \text{sign} X_{30}| / 2};$$

$$k'_3 = \mu_3 \cdot \pi \cdot d_3 \cdot k_n \sqrt{\frac{2}{\rho}}.$$

Числовые значения режимных и конструктивных параметров

пневмопривода таковы:  $P_n = 10^6 \text{ Па} (\approx 10 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}); \quad P_{cl} = 10^5 \text{ Па};$

$$d_3 = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad K_{II} = 0,5; \quad \mu_3 = 0,7; \quad \rho - \text{рассчитывается при } P_n \text{ и } T_n = 295 \text{ К};$$

$$X_{30} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad V_0 = 500 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 (0,5 \text{ л}); \quad B_{a.r} = kP_n; \quad k = 1,41;$$

$$S_n = \frac{\pi d_n^2}{4}; \quad d_n = 50 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad m = 150 \text{ кг}; \quad K_{TP} = 0,25 \frac{\text{кг}}{\text{с}}; \quad P_{но} = 2 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

Набрать в ПП Simulink модель в окне программы моделирования линейных САУ.

Смоделировать переходный процесс при единичном воздействии по входу.

Определить показатели качества переходного процесса.

Составить отчет о проделанной работе.

#### 4 Содержание отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- Пневмогидравлические схемы исследованных приводов.
- Численные значения параметров передаточных функций.
- Схемы набора моделей в среде Simulink.
- Графики переходных процессов.
- Выводы по работе.

#### 5 Вопросы для проверки степени усвоения материала

1. Назначение гидро- и пневмоприводов.
2. Уравнениями каких типовых звеньев описываются процессы в гидро- и пневмоприводах?
3. Перечислить возможности ПП Simulink по моделированию динамических процессов в гидро- и пневмоприводах.
4. Какими показателями в общем случае характеризуется переходный процесс в системах гидро- и пневмоприводов?
5. Каким образом можно снизить колебательность процессов в пневмоприводе?
6. Как снизить время регулирования в гидроприводе?
7. Как повысить скорость перемещения выходного штока гидроцилиндра?

## Список использованных источников

1. Попов, Д.Н. Механика гидро- и пневмоприводов: Учеб. для ВУЗов. 2-е издание, стереотипное / Д.Н. Попов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. - 320 с.
2. Дьяконов В.П. Matlab 6.0/6.1/6.5+SP1+Simulink 4/5 / В.П. Дьяконов. – М.: Солон-пресс, 2005. – 592 с.
3. Моделирование процессов управления в технических системах: учебн. пособ. / А.А. Иголкин, М.С. Гаспаров, А.А. Игонин, Н.Д. Быстров, А.Г. Гимадиев. – Самара: СГАУ, 2006. – 180 с.