

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»  
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

Факультет	<u>И</u> индекс факультета
Выпускающая кафедра	<u>И8</u> индекс кафедры
Группа	<u>И8М31</u> индекс группы

## ОТЧЕТ

о прохождении научно-исследовательской практики

наименование практики

Тарасовым Арсением Александровичем

Фамилия, имя, отчество обучающегося

обучающегося по

направлению/специальности

нужное подчеркнуть

15.04.06

код

Мехатроника и робототехника

полное наименование направления/специальности

Руководитель практики:

Фамилия ИО, ученая степень, ученое звание, должность

Срок прохождения практики: с \_\_\_\_\_ г. по \_\_\_\_\_ г.

Руководитель практики:

Подпись

Фамилия ИО

« \_\_\_\_ »

201\_г.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

201\_г.

## Введение

Гидроприводы играют огромную роль как в обычных задачах машиностроения, так и в мехатронике. Вместе с тем, любой гидропривод – сложная и многокомпонентная система, состоящая из элементов и подсистем различной физической природы и различного принципа действия.

Любое исследование гидропривода, в частности, разработка по тематике магистерской диссертации (стабилизированный гидроприводы) неизменно нуждается в проверке математических результатов и логических умозаключений на практике. Однако проведение экспериментов с силовыми гидроприводами для проверки тех или иных гипотез даже для крупных и хорошо оснащённых коллективов и учреждений является крайне ресурсозатратным явлением. Системы автоматизированного проектирования в целом и, в частности, системы моделирования процессов значительно расширили возможности разработчиков в этой области.

Предметом данной работы является исследование возможностей системы графического моделирования вычислительного пакета Matlab Simulink по моделированию гидравлических систем. В качестве примера рассмотрена упрощённая схема гидравлического крана, используемая в ходе работы над магистерской диссертацией. Данная работа не ставит своей целью описать все элементы пакета Simulink Hydraulics. Цель работы – общий обзор организации данной библиотеки и подробное рассмотрение нескольких базовых элементов гидравлической подсистемы гидропривода:

- гидроцилиндра;
- гидронасоса;
- гидрораспределителя;
- предохранительного клапана;
- модели свойств жидкости.

## 1. Общая структура подпакета моделирования гидравлических систем в Simscape

Simscape – пакет моделирования систем различной физической природы в рамках системы моделирования Matlab Simulink. Подпакет моделирования гидравлических схем содержится именно в Simscape. На рисунке 1 представлена иерархическая структура подпакета моделирования гидравлических систем.

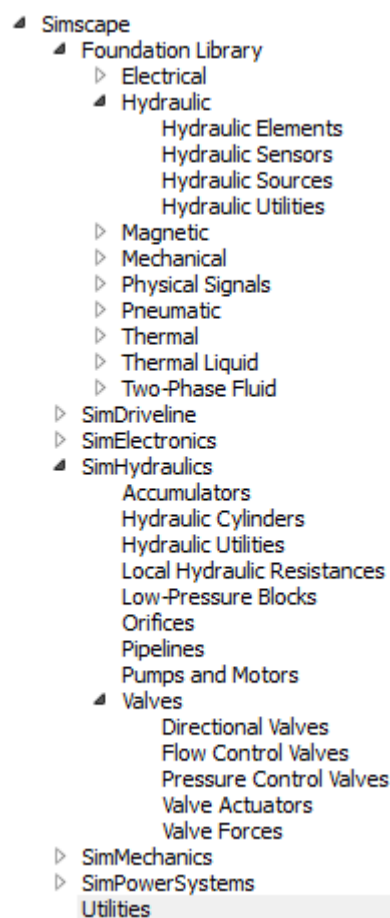


Рисунок 1 – Иерархическая структура гидравлических элементов в Simscape

Гидравлические элементы сгруппированы в две основных группы:

1. Foundation Library → Hydraulic. Базовая библиотека Simscape содержит основные элементы, на базе которых строятся более сложные, содержащиеся в специализированных библиотеках, в данном случае – гидравлической. Базовая гидравлическая библиотека Matlab Simulink представлена следующими разделами:

- Hydraulic Elements – содержит базовые элементы, такие, как преобразователи гидравлической энергии в поступательное и вращательное движения, дроссели, местные сопротивления, связи с атмосферой, а также модели свойств жидкости – сжимаемости, инерции и др.

- Hydraulic Sensors – содержит измерительные элементы гидросистемы: расходомер и датчик давления.

- Hydraulic Sources – содержит модели постоянных и регулируемых источников давления.

- Hydraulic Utilities – содержит настраиваемую модель свойств жидкостей.

2. SymHydraulics. Библиотека элементов гидравлических схем содержит следующие основные разделы:

- Accumulators – гидроаккумуляторы;

- Hydraulic Cylinders – гидроцилиндры;

- Hydraulic Utilities – модель свойств жидкости и гидробака;

- Local Hydraulic Resistances – местные сопротивления;

- Low-Pressure Blocks – модели трубопроводов;

- Orifices – дроссели;

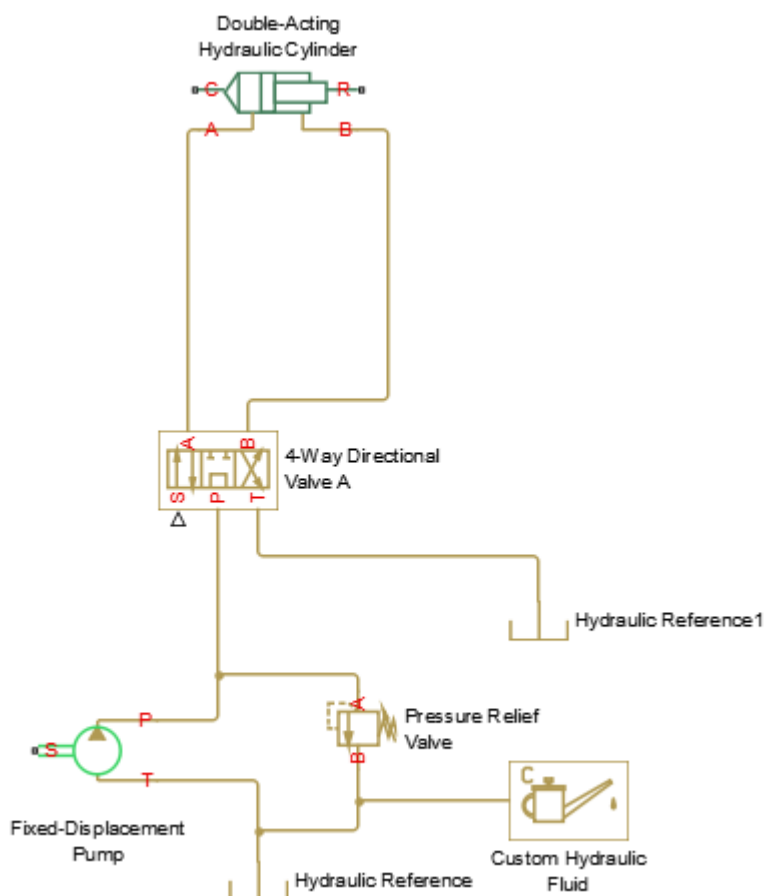
- Pipelines – модели типа трубопровода;

- Pumps and Motors – насосы и гидромоторы;

- Valves – клапаны, включающие гидрораспределители, клапаны давления, клапаны расхода и актуаторы гидрораспределителей.

## 2. Упрощённая гидравлическая схема крана

Для рассмотрения основных гидравлических блоков используем упрощённую схему гидравлического крана, рассматриваемого в ходе работы над магистерской диссертацией. Она представлена на рисунке 2. Для удобства восприятия на рисунке 2а представлена выделенная чисто гидравлическая подсистема гидравлического крана с основными рассматриваемыми элементами, а на рисунке 2б представлена полная схема крана с включением нагрузки (механическая подсистема), входных сигналов (информационная подсистема), управляющих воздействий, а также измерительных приборов и средств отображения информации.



a)

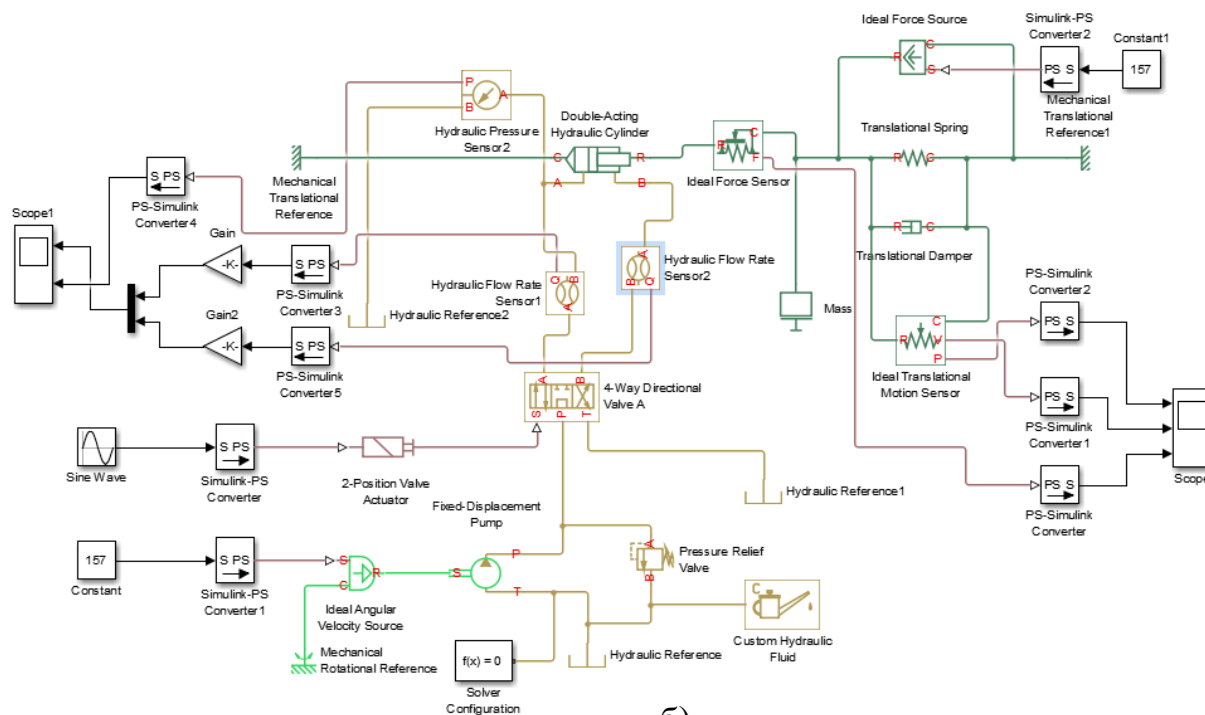


Рисунок 2 – Упрощённая модель гидравлического крана

Конкретные параметры гидравлических устройств, используемых при моделировании, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры гидравлических устройств

Наименование параметра	Единица измерения	Величина
Диаметр поршня	мм	200
Диаметр штока	мм	125
Площадь поршня	м <sup>2</sup>	0.0314
Разница площадей поршня и штока	м <sup>2</sup>	0.019
Объём поршневой полости начальный	м <sup>3</sup>	0.0471
Объём штоковой полости начальный	м <sup>3</sup>	0.0285
Угловая скорость приводного двигателя	рад/с	157
Номинальная подача насоса	л/мин	40
Рабочий объём насоса	см <sup>3</sup> /рад	4.25
Амплитуда синусоидального сигнала на распределителе	мм	5
Частота синусоидального сигнала на распределителе	рад/с	0.067
Настройка предохранительного клапана	МПа	25
Нагрузка на штоке цилиндр	кН	628

### 3. Гидроцилиндр и гидрораспределитель

Гидроцилиндр является выходным звеном и исполнительным элементом гидравлического крана, именно его характеристики определяют работы системы в целом. В пакете SimHydraulics гидроцилиндры представлены множеством различных типов: односторонние, двусторонние, неполноповоротные гидромоторы (также отнесены к классу гидроцилиндров).

Гидрораспределитель – гидроаппарат, предназначенный для изменения направления потока рабочей жидкости в двух или более гидролиниях в зависимости от внешнего управляющего воздействия. Классификация гидрораспределителей довольно обширна, в данной работе используется золотниковый четырёхлинейный трёхпозиционный гидрораспределитель со сливом жидкости в бак.

Блок гидроцилиндра основан на модели преобразователя поступательного движения из базовой библиотеки Simscape, работа которого описывается следующими основными формулами.

$$q = A(v_R - v_C) \cdot or,$$

$$F = A \cdot p \cdot or,$$

где  $q$  – расход;  $A$  – эффективная площадь поршня;  $v_R$  – скорость движения штока преобразователя;  $v_C$  – скорость движения корпуса преобразователя;  $F$  – сила, развиваемая преобразователем;  $p$  – манометрическое давление жидкости в полости преобразователя;  $or$  – переменная, принимающая значение «+1», если в порту  $A$  развивается усилие в положительном направлении и «-1» – в отрицательном [2, с. 24].

На рисунке 3 представлена библиотека гидроцилиндров и золотниковых распределителей SimHydraulics.

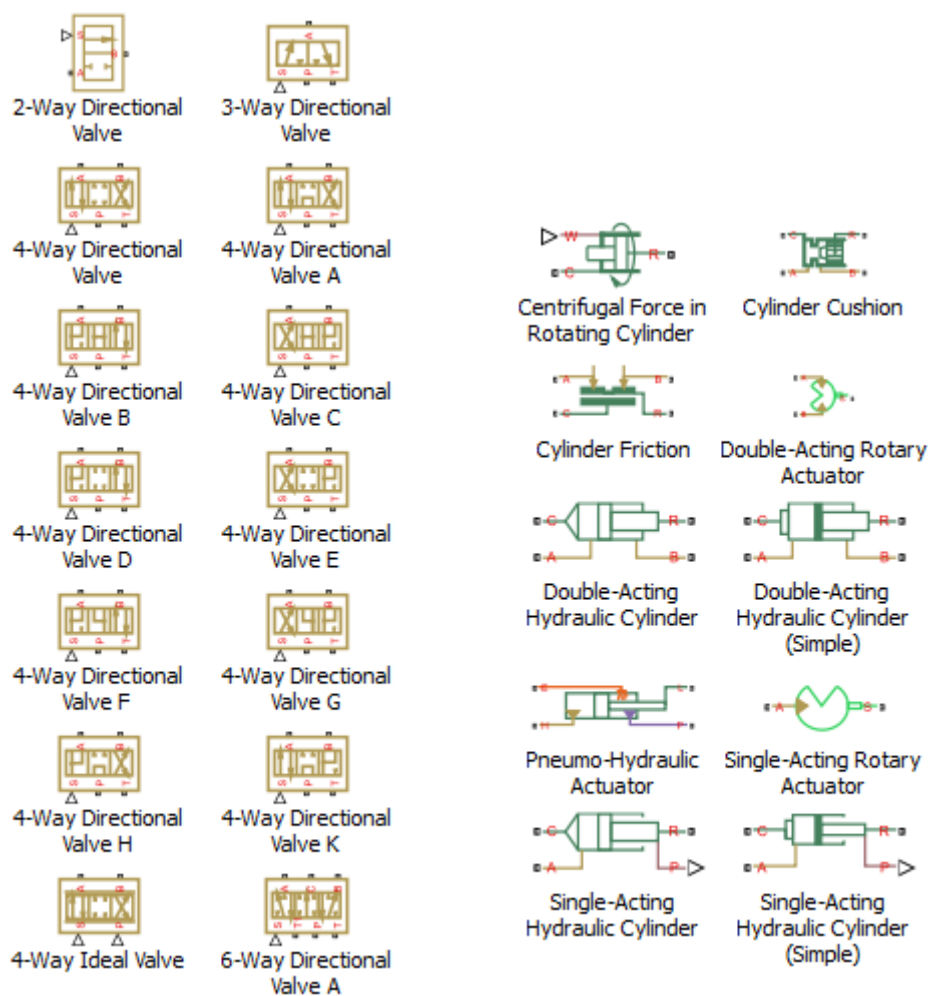


Рисунок 3 – Библиотека гидроцилиндров и гидрораспределителей

На рисунке 4 представлено окно настройки параметров гидроцилиндра. Необходимо отметить следующие основные задаваемые параметры.

Piston area – эффективная площадь поршня.

Piston stroke – ход поршня.

Piston initial position – положение поршня в начальный момент времени.

Dead volume – объем жидкости при начальном положении поршня

Specific heat ratio – коэффициент теплопередачи для газа.

Cylinder orientation – ориентация цилиндра. Цилиндр может быть установлен двумя различными способами, в зависимости от того в положи-



тельном (Acts in positive direction) или отрицательном (Acts in negative direction) направлении происходит действие при подаче на его вход давления.

Chamber initial pressure – начальное предустановленное давление в штоковой или поршневой полостях до подачи жидкости от насоса и начала работы привода.

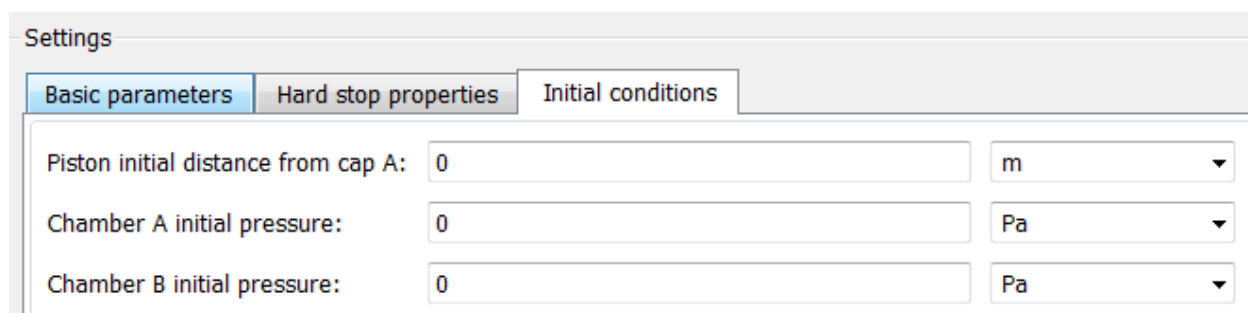
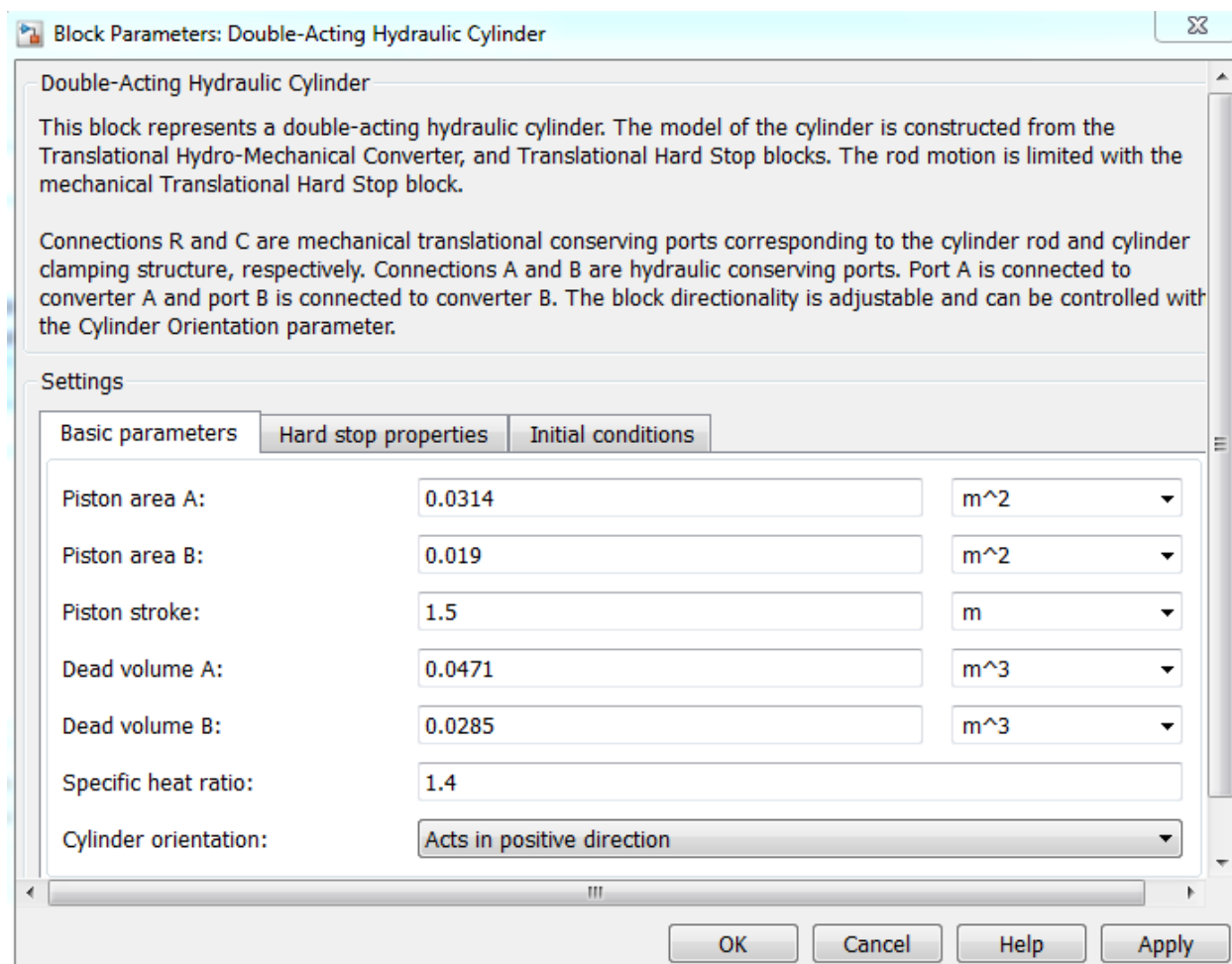


Рисунок 4 – Окно настройки параметров блока гидроцилиндра

Блок гидрораспределителя основан на нескольких регулируемых дросселях из базовой библиотеки гидравлических элементов. В зависимости

от исходных данных, указанных в справочной литературе, можно выбрать один из трех вариантов параметризации:

- по максимальной площади проходного сечения и положению запорно-регулирующего элемента;
- по зависимости площади проходного сечения от положения запорно-регулирующего элемента  $A = A(h)$ ;
- по характеристике давление-расход  $q = q(p, h)$ .

В данном случае параметризация осуществляется по максимальной площади проходного сечения и положению запорно-регулирующего элемента. На рисунке 5 представлено окно настройки параметров гидрораспределителя.

The image shows two overlapping screenshots of a software window titled 'Settings'. The top screenshot shows the 'Basic parameters' tab, and the bottom screenshot shows the 'Initial openings' tab.

**Basic parameters tab:**

- Model parameterization: By maximum area and opening
- Valve passage maximum area: 5e-5 m<sup>2</sup>
- Valve maximum opening: 0.005 m
- Flow discharge coefficient: 0.7
- Critical Reynolds number: 12
- Leakage area: 1e-9 m<sup>2</sup>

**Initial openings tab:**

- Orifice P-A initial opening: 0 m
- Orifice P-B initial opening: 0 m
- Orifice A-T initial opening: 0 m
- Orifice B-T initial opening: 0 m
- Orifice P-T1 initial opening: 0 m
- Orifice T1-T initial opening: 0 m

At the bottom of the window are buttons for OK, Cancel, Help, and Apply.

Рисунок 5 – Окно настройки параметров блока гидрораспределителя

Необходимо отметить следующие основные задаваемые параметры.

Valve passage maximum area – максимальная площадь проходного сечения полностью открытого отверстия гидрораспределителя.

Valve maximum opening – максимальное открытие гидрораспределителя. Задается максимальное смещение запорно-регулирующего элемента.

Flow discharge coefficient – коэффициент расхода. Полуэмпирический параметр, являющийся характеристикой гидрораспределителя. Его значение зависит от геометрических параметров отверстия и обычно указывается в справочной литературе или данных изготовителя.

Critical Reynolds number – критическое число Рейнольдса, или максимальное число Рейнольдса, для ламинарного потока.

Leakage area – площадь внутренних перетечек жидкости при полном перекрытии отверстия. Основное значение этого параметра состоит в том, чтобы учесть неразрывность потока жидкости.

Orifice initial opening – начальное положение запорно-регулирующего элемента, установленного в соответствующей гидролинии. Параметр может быть положительным (положительное перекрытие), отрицательным (отрицательное перекрытие) или равным нулю (нулевое перекрытие).

На золотник распределителя подавался синусоидальный сигнал

$$U = A \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

с параметрами  $A$  и  $\omega$ , соответствующими таблице 1. На рисунке 6 показаны параметры движения штока гидроцилиндра – положение штока и его скорость.

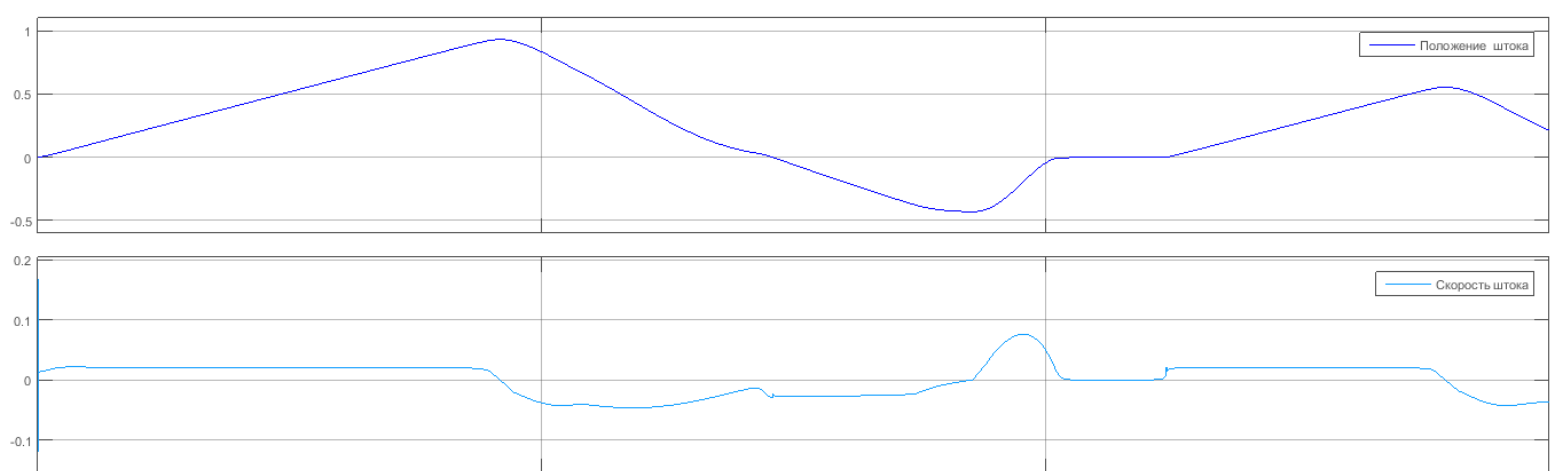


Рисунок 6 – Результат моделирования движения штока ГЦ под действием входного синусоидального сигнала на золотнике распределителя

#### 4. Гидронасос и ПК

Гидронасос –

Settings

Parameters

Pump displacement:

4.25

cm<sup>3</sup>/rad

Volumetric efficiency:

0.92

Total efficiency:

0.8

Nominal pressure:

30e6

Pa

Nominal angular velocity:

157

rad/s

Nominal kinematic viscosity:

18

cSt

Nominal fluid density:

900

kg/m<sup>3</sup>

OK

Cancel

Help

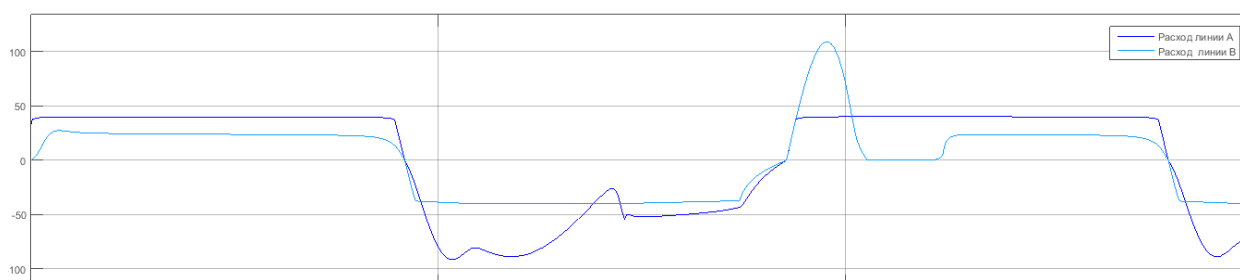
Apply

Settings

Parameters

Maximum passage area:	1e-4	m <sup>2</sup>
Valve pressure setting:	25e6	Pa
Valve regulation range:	30e6	Pa
Flow discharge coefficient:	0.7	
Critical Reynolds number:	12	
Leakage area:	1e-12	m <sup>2</sup>
Opening dynamics:	Do not include valve opening dynamics	

OK Cancel Help Apply



## 5. Модель жидкости

Settings

Parameters

Fluid density:	900	kg/m <sup>3</sup>
Kinematic viscosity:	18	cSt
Bulk modulus at atm. pressure and no gas:	0.8e9	Pa
Relative amount of trapped air:	0.005	
Pressure below absolute zero:	Error	

OK Cancel Help Apply

Заключение

В ходе работы были изучены возможности системы моделирования Simulink по моделированию гидросистем. Данный пакет включает в себя как блоки из базовой библиотеки пакета Simscape, так и блоки специализированной библиотеки гидравлических элементов SimHydraulics.

Изучение гидравлической подсистемы гидропривода произведено на примере упрощённой схемы гидравлического крана. В ходе работы были исследованы:

а) Гидроцилиндр. Рассмотрены параметры и начальные условия функционирования гидроцилиндра, изучены принципы функционирования одностороннего и двухстороннего гидроцилиндра. Из руководства программы Simulink получены сведения об устройстве модели гидроцилиндра на основе моделей дросселей и преобразователей движения.

б) Гидронасос. Рассмотрены параметры гидронасоса, установлены типы входных и выходных сигналов. Из руководства программы Simulink получены сведения об устройстве модели гидронасоса на основе блоков источника расхода.

в) Гидрораспределитель. Рассмотрены параметры гидрораспределителя, типы входных и выходных сигналов, типы самих распределителей одного класса.

г) Предохранительный клапан. Рассмотрена работа предохранительного клапана в рамках гидропривода.

д) Модель жидкости. Рассмотрено представление жидкости в модели гидропривода, параметры жидкости и возможность задания стандартных параметров для предустановленного класса жидкостей.

Кроме того, изучено взаимодействие вышеуказанных элементов и промоделирована работа гидропривода в целом.

Список использованных источников

1. Кологривов, В. А. Описание библиотек моделирующего SIMULINK Рабочий материал к лабораторному практикуму. – Томск: ТПУ, 2017. – 28 с.
2. Руппель, А. А., Сагандыков, А. А., Корытов, М. С. Моделирование гидравлических систем в Matlab: учебное пособие. – Омск: СибАДИ, 2009. – 172 с.
3. Черных, И.В. Simulink: среда создания инженерных приложений. / Под общ.ред. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003.- 496 с.
4. Шорников, Ю. В., Мяндин, С. А. Компьютерное моделирование гидравлических систем // Молодой ученый. — 2017. — №22. — С. 104-110. — URL: <https://moluch.ru/archive/156/43975/> (дата обращения: 16.01.2018).
5. Simscape Fluids. Официальный сайт Matlab в России. Система помощи. – URL: <https://matlab.ru/products/simhydraulics/> (дата обращения: 16.01.2018).