

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

ДОПУСКАЕТСЯ К ЗАЩИТЕ:

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

Заведующий кафедрой	<u>И8</u> индекс кафедры
<u>Стажков С. М.</u> Фамилия ИО	<u>                    </u> подпись
« <u>04</u> » <u>09</u>	<u>2018</u> г.

## ОТЧЕТ

**о прохождении                      научно-производственной                      практики**  
наименование практики  
**Тарасова Арсения Александровича**  
Фамилия, имя, отчество обучающегося

<b>обучающегося по направлению/специальности</b> нужное подчеркнуть	<u>15.04.06</u> код	<u>Мехатроника и робототехника</u> полное наименование направления/специальности
--	------------------------	---

**Руководитель практики:** Цветков В. А., к. т. н., доцент, с. н. с.  
Фамилия ИО, ученая степень, ученое звание, должность

**Срок прохождения практики:** с 02. 07. 2018 г. по 22. 07. 2018 г.

**Должность обучающегося на практике:** \_\_\_\_\_

**Руководитель практики:**

<u>                    </u> Подпись	<u>                    </u> Фамилия ИО
«07» <u>09</u>	<u>2018</u> г.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2018\_ г.

## Введение

Компьютерное моделирование гидросистем – крайне важная и практически необходимая часть их проектирования. Ценность моделирования состоит в имитации условий работы проектируемой системы без их фактической реализации. Естественно, что чем точнее модель отражает действительность, тем более удовлетворительной и отвечающей требованиям разработчика она может считаться.

Моделирование применяется при разработке конкретных инженерных объектов. Параметры всех элементов модели, равно как и заданные характеристики окружающей среды, также имеют вполне определённые значения, постоянные или переменные, или по крайней мере, известен их недетерминированный характер. Абстрактное моделирование не несёт никакого практического смысла. Вместе с тем модель конкретной системы требует большого числа точных расчётов всех параметров и целесообразна на завершающем этапе проектирования. Однако гидравлическая схема должна быть максимально полной на всех этапах моделирования.

Предметом данной работы является практическое исследование возможности учёта факторов, действующих на реальный силовой гидропривод и построения модели, максимально точно отражающей особенности работы такого привода. Объектом работы является гидропривод подъёма стрелы крана с известными значениями переменной нагрузки и всеми применяемыми элементами гидроаппаратуры. Цель работы – выработать рекомендации по настройке параметров блоков, включаемых в модель гидропривода для имитации реальных гидравлических процессов, а также корректной работы самого привода:

- Потери по длине трубопровода.
- Местные сопротивления.
- Свойства жидкости, в том числе, количество растворённого воздуха.
- Реальные гидравлические устройства, применяемые в силовых приводах – гидрозамок и тормозной клапан.

Моделирование производится при помощи вычислительного пакета Matlab Simulink, блока SimHydraulics.

## 1. Базовая модель гидропривода

В данной работе рассматривается силовой гидропривод подъема стрелы крана. Графическая компьютерная модель привода, построенная при помощи вычислительного пакета Matlab Simulink, представлена на рисунке 1.

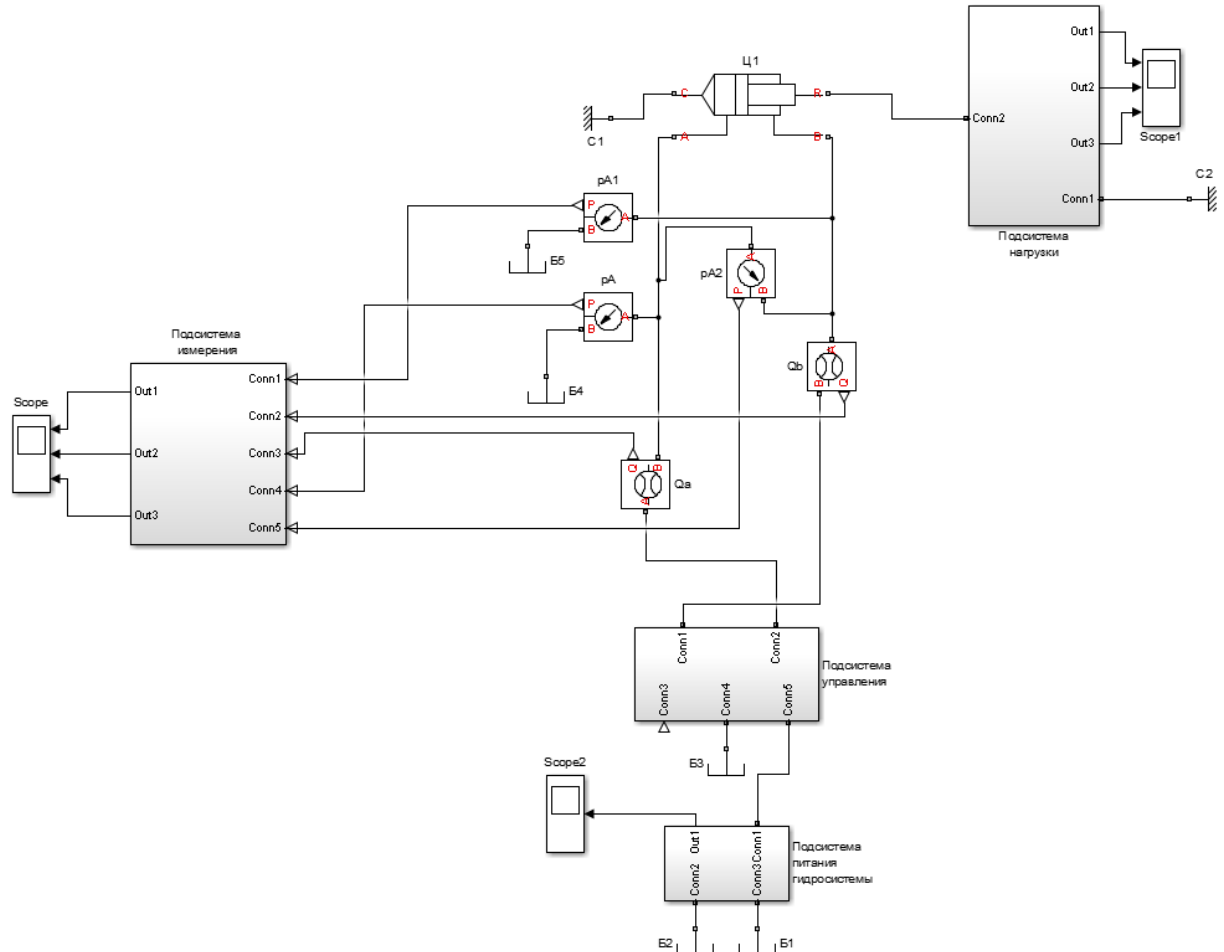


Рисунок 1 – Компьютерная модель гидропривода

В данной модели для удобства визуального восприятия отдельные подсистемы гидропривода объединены в блоки с соответствующими наименованиями. На данном этапе моделирования гидравлического привода приняты следующие допущения:

- не моделируются потери напора по длине трубопроводов и местные гидравлические сопротивления;
- отсутствует трение в цилиндре, насосе и золотнике, силы инерции поршня и штока цилиндра;
- отсутствуют утечки и перетечки в гидросистеме.

Гидравлический привод подъёма стрелы крана, представленный на рисунке 1, состоит из следующих базовых подсистем:

- подсистема питания гидросистемы: нерегулируемый гидронасос ГН1 с моделью приводного двигателя ЭД, предохранительного клапана КН1, бака Б1 и свойств рабочей жидкости СЖ1;
- подсистема управления: золотниковый гидрораспределитель 4/3 Р1 с электромагнитным управлением КР1;
- гидроцилиндр Ц1;
- подсистема модели нагрузки;
- вспомогательные и измерительные системы моделирования Matlab Simulink (в рамках всех подсистем).

Нерегулируемый гидравлический насос ГН1 под действием электродвигателя ЭД, представленного моделью идеального источника угловой скорости, осуществляет подачу жидкости из Б1 в систему. Свойства рабочей жидкости представлены моделью задания свойств СЖ1. При превышении давлением в системе установленной при помощи модели предохранительного клапана КН1 величины начинается расход через клапан. Величина расхода измеряется расходомером Qb1 и направляется в модель осциллографа Scope2. Рабочая жидкость, подаваемая в систему насосом, поступает на четырёхлинейный трёхпозиционный гидрораспределитель Р1, обеспечивающий в нейтральном положении слив рабочей жидкости обратно в гидробак. При падении управляющего электрического сигнала на актуатор распределителя КР1 золотник смещается, схема распределителя принимает левое положение, начинается подача рабочей жидкости в поршневую полость гидроцилиндра Ц1. Из штоковой полости осуществляется слив рабочей жидкости в бак. Гидроцилиндр нагружен переменной силой, зависящей от хода штока. В линиях А и В, сообщающихся с поршневой и штоковой полостями гидроцилиндра соответственно, осуществляется измерение расхода и давления относительно бака. Также осуществляется измерение хода штока, его скорости и силы на штоке.

В таблице 1 представлены параметры гидравлических устройств, используемых при моделировании. Стоит отметить, что задача подбора и расчёта конкретных устройств не является предметом данной работы; в рамках работы они являются известными или заданными.

Таблица 1 – Параметры гидравлических устройств модели

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
Ход штока	мм	1000
Угловая скорость приводного двигателя	рад/с	314
Номинальная подача насоса	л/мин	200
Рабочий объём насоса	см <sup>3</sup> /рад	11
Настройка предохранительного клапана	МПа	25
Нагрузка на штоке цилиндр	кН	200 - 500

Нагрузка на штоке гидроцилиндра моделируется при помощи двух блоков:

- Блок статического усилия предназначен для имитации статической переменной нагрузки. При этом усилие, возникающее на штоке гидроцилиндра, описывается уравнением:

$$F = C - k * s \quad (1)$$

где  $C$  – заданная в начальный момент времени нагрузка,  $k$  – коэффициент пропорциональности,  $s$  – ход штока в метрах. Таким образом, реализуется зависимость нагружения цилиндра от хода штока.

- Блок массы предназначен для имитации динамической нагрузки. Данный тип нагрузки проявляется при разгоне и торможении штока цилиндра с присоединённой массой и обусловлен свойствами инерции.

На рисунке 2 представлена модель нагрузки гидропривода. В качестве коэффициентов пропорциональности для пружины Пр1 и демпфера Д1 задаются поначалу небольшие числа:

$$k_1 = 1 \text{ Н/м}, \quad k_2 = 100 \text{ Н/(м/с)}.$$

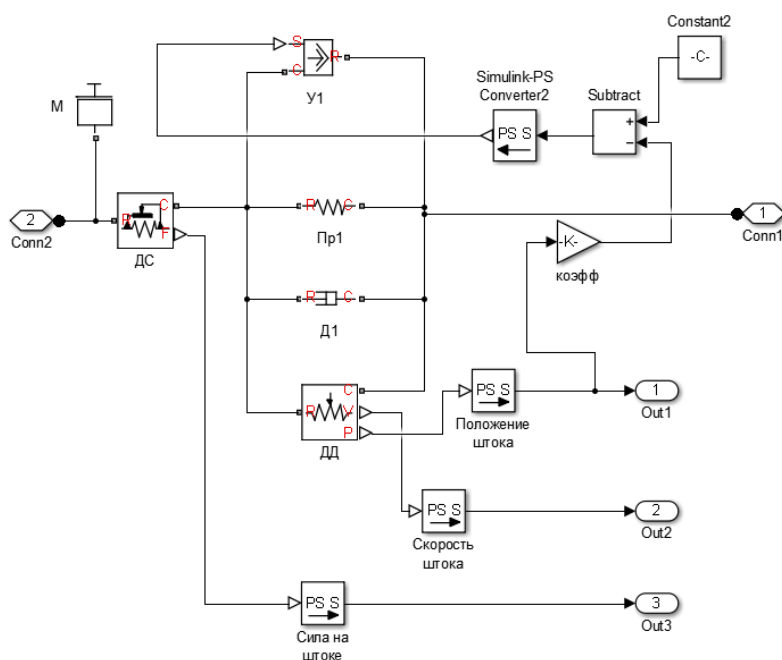


Рисунок 2 – Подсистема нагрузки гидроцилиндра

На основе полученной упрощённой гидравлической схемы и построенной базовой модели проведён базовый опыт, демонстрирующий работу идеализированного гидропривода. Управление приводом осуществляется при помощи актуатора золотникового распределителя. Модель системы управления представлена на рисунке 3.

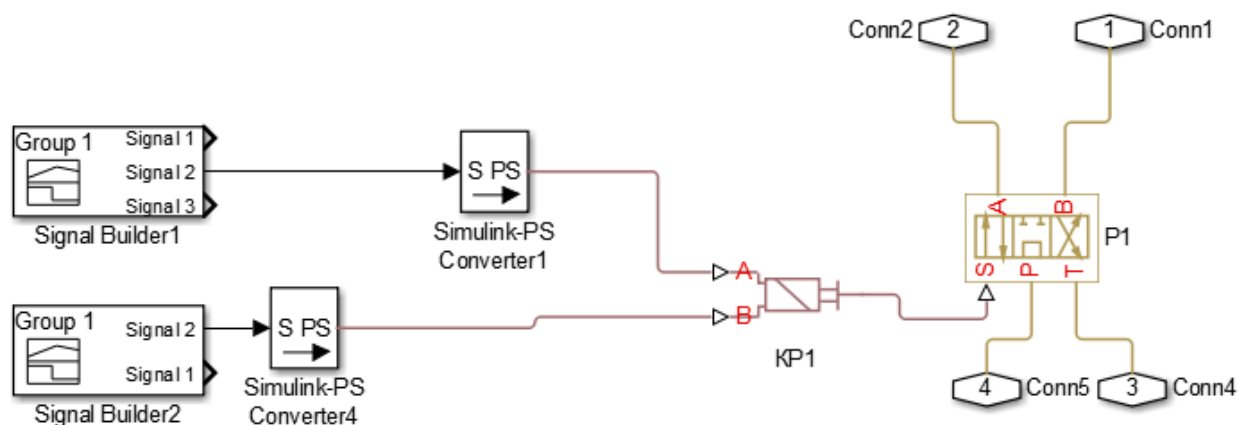


Рисунок 3 – Подсистема управления гидроприводом

В качестве управляющего элемента используется электромагнитный актуатор с двумя управляющими каналами: положительный сигнал на канале А приводит к смещению золотника вправо и открытию каналов Р-А и В-Т в распределителе, положительный сигнал на канале В приводит к смещению золотника влева и открытию каналов А-Т и Р-В.

На рисунке 4 (а, б) представлены задающие воздействия на электромагниты актуатора, соответствующие двум выбранным режимам тестирования модели – режиму полного выдвижения штока и режиму частичного выдвижения штока. С учётом данных таблицы 1, полное выдвижение штока осуществляется за 11,5 секунд.

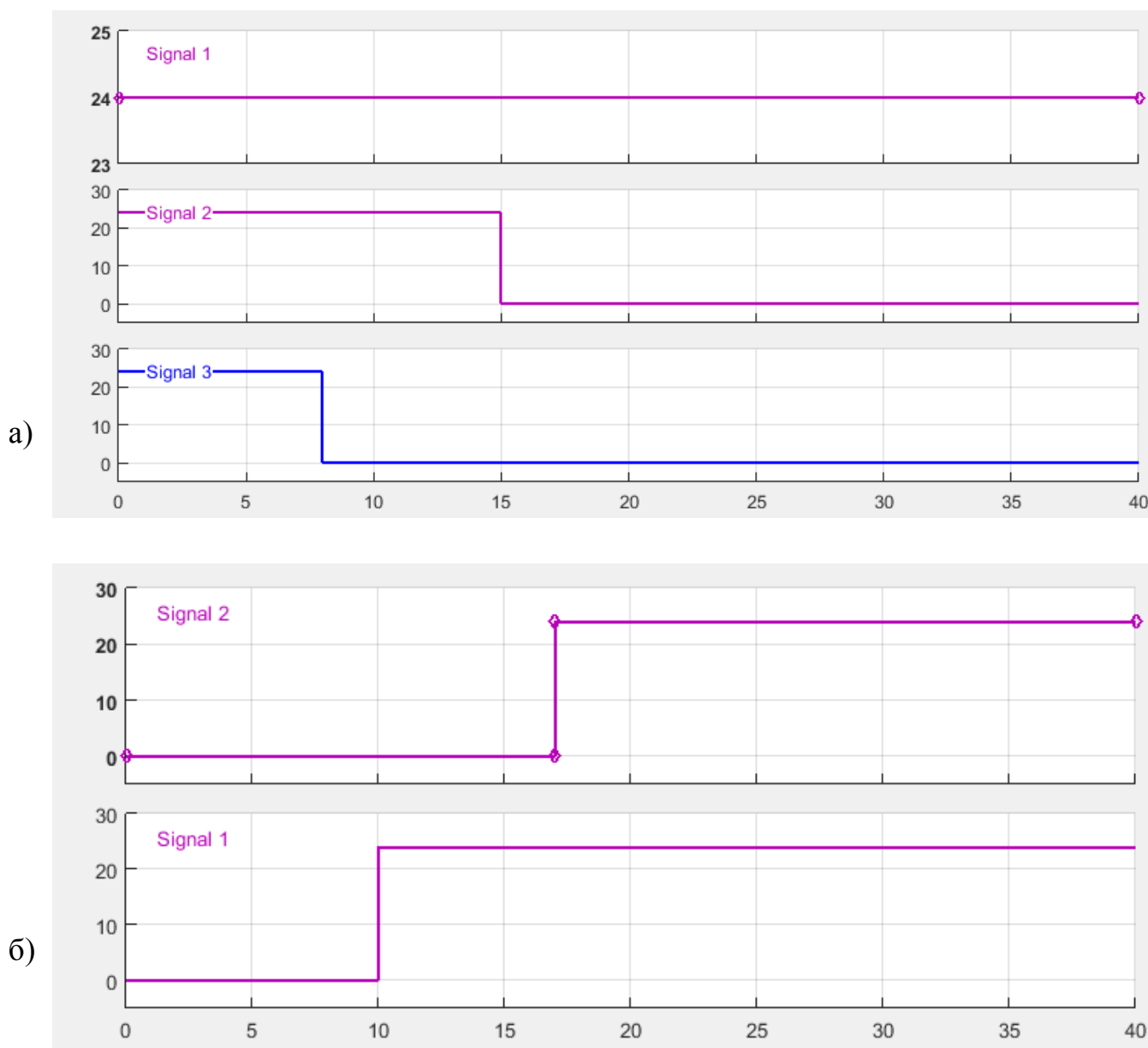


Рисунок 4 – Окно настройки задающих воздействий управляющего элемента гидрораспределителя

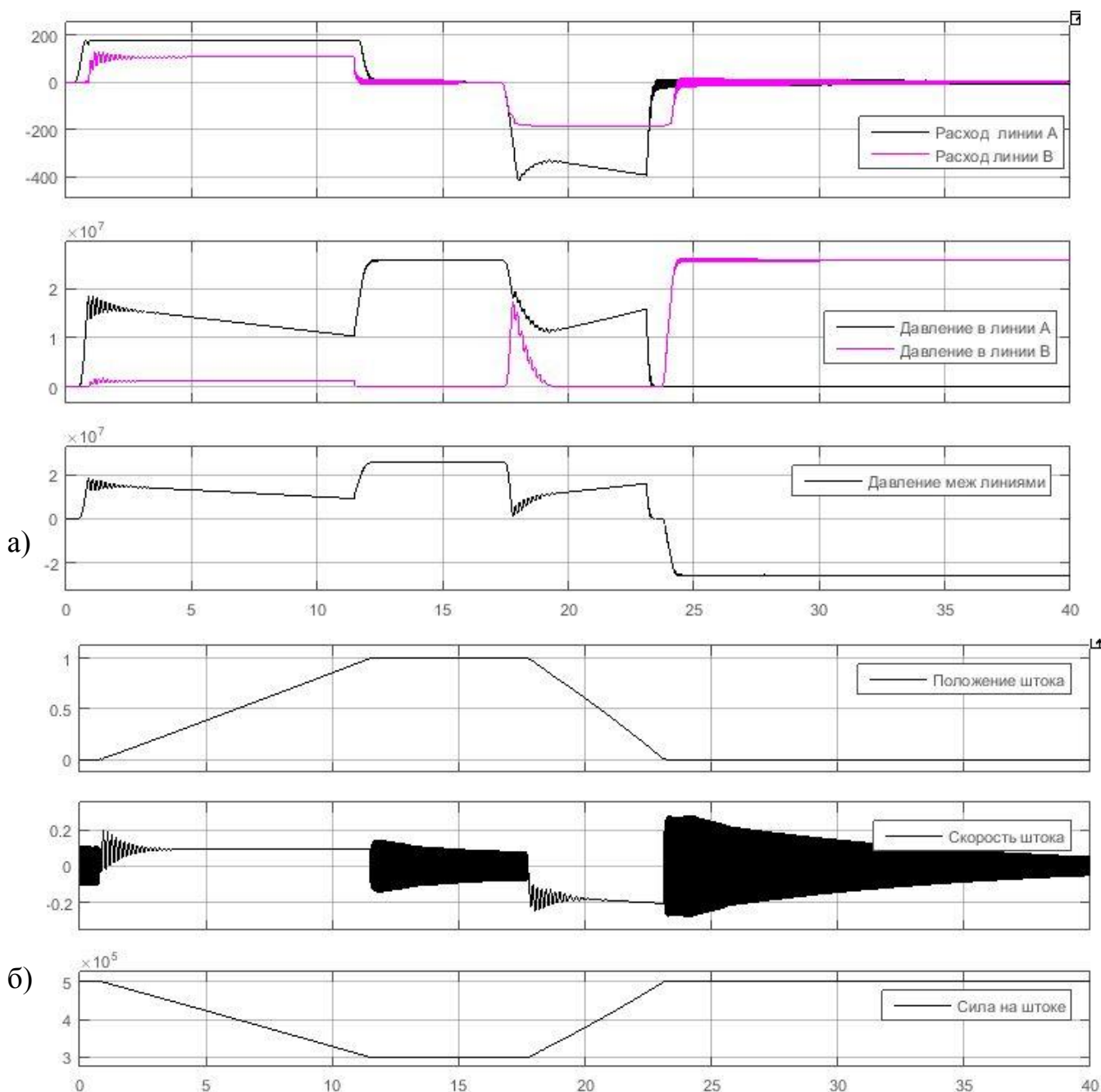
Условия базового опыта принимаются следующими:

- Коэффициенты жёсткости пружины и демпфера  $k_{пр} = 1$ ,  $k_d = 100$ .
- Начальное усилие на штоке  $C = 500$  кН, что соответствует массе 50 тонн.
- Коэффициент  $k = 200\,000$ , как следствие, к моменту полного выдвижения штока усилие составит 300 кН, что соответствует массе 30 тонн.

- В силу отсутствия возможности установить значения блока массы переменным, в базовом опыте масса устанавливается равной  $m = 30\,000$  кг.

- Начальное давление в поршневой полости гидроцилиндра принимается равным  $p_{шт0} = 0$  МПа.

На рисунке 5 представлены результаты базового опыта – графики изменения гидравлических и механических параметров в режимах полного (а, б) и неполного (в, г) выдвигания штока.





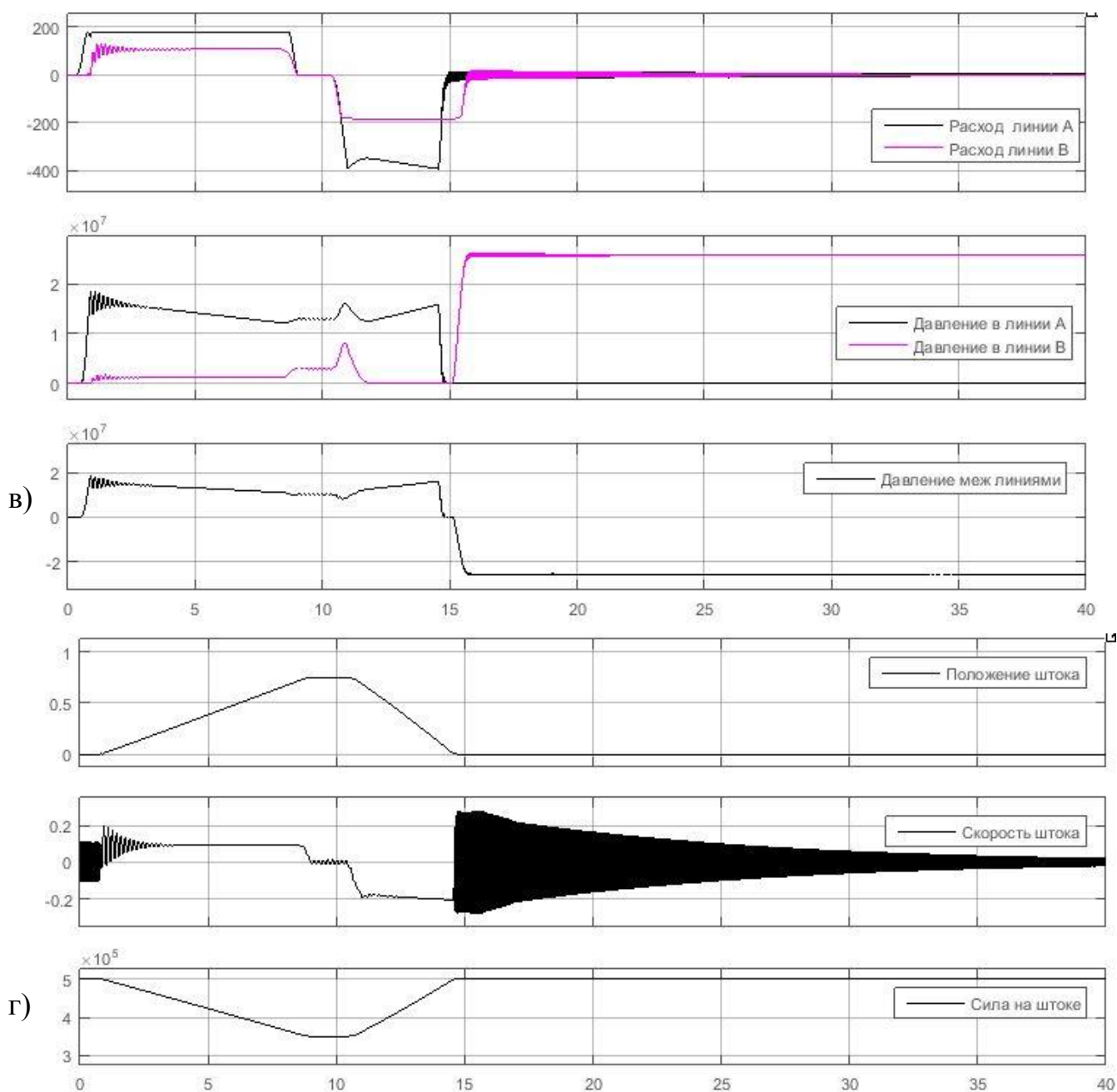


Рисунок 5 – Результаты базового опыта

По результатам опыта можно сделать выводы о соответствии графиков гидравлических и механических величин ожидаемым согласно теоретическим расчётам:

- Время задвигание штока заметно меньше времени задвигания, что соответствует поведению одноштокового гидроцилиндра при постоянном расходе.
- Усилие на штоке меняется в соответствии заданной статической нагрузкой, равно как и давление в линиях А и В.
- Из-за наличия динамической нагрузки переходные процессы приобретают колебательный характер, что хорошо заметно на графиках скорости штока и гидравлических параметров.

## 2. Моделирование гидравлического сопротивления

Дальнейшие опыты направлены на оценку влияния различных неучитываемых параметров на результат моделирования. Прежде всего рассмотрены модели гидравлического сопротивления:

- Потери по длине трубопровода;
- Местные сопротивления.

Каждый из этих типов представлен рядом моделей той или иной степени детализации и идеализации. Рассмотрим их более подробно.

### 2.1. Потери по длине трубопровода

Моделирование потерь по длине трубопровода осуществляется множеством различных блоков. Наиболее общим, базовым блоком является Resistive Tube. Блок Resistive Tube представляет собой гидравлический трубопровод круглого и некруглого сечения, в котором учитывается только сопротивление в устойчивых режимах движения жидкости, без учета сжимаемости, инерционности жидкости и гидроударов. Для получения более полной модели можно добавить сжимаемость, инерционность жидкости и другие эффекты с помощью других специальных блоков. Чтобы учесть местные сопротивления (изгибы, присоединения и т.д.), они преобразованы в эквивалентные длины, а затем полная длина всех сопротивлений добавлена к геометрической длине трубопровода. Потери давления за счет трения находятся по уравнениям Дарси, в которых потери пропорциональны коэффициенту трения потока и квадрату площади поперечного сечения трубопровода. [4, с. 21]

### 3. Моделирование свойств жидкости

### 4. Тормозной клапан и гидрозамок

### Заключение

### Список использованной литературы

1. Башта, Т. М., Руднев, С. С., Некрасов, Б. Б. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т. М. Башта и др. – М.: Альянс, 2010. – 423 с.
2. Васильченко, В. А. Гидравлическое оборудование мобильных машин: Справочник / В. А. Васильченко. – М.: Машиностроение, 1983. – 301 с.
3. Лепешкин, А. В., Михайлин, А. А., Фатеев, И. В. Расчет сложных трубопроводов с насосной подачей / под ред. Ю. А. Беленкова. – М.: МАМИ, 1999. – 48 с.
4. Руппель, А. А., Сагандыков, А. А., Кoryтов, М. С. Моделирование гидравлических систем в Matlab: учебное пособие / А. А. Руппель и др. – Омск: СиБАДИ, 2009. – 172 с.
5. 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: 27.08.2018).

Приложение А

Приложение Б

Приложение В