

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Филиал Федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
в г. Нижневартовске

Кафедра «Гуманитарные, естественно-научные и технические дисциплины»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

И.о.зав.кафедрой «ГЕНТД»

к.филос.н., доцент

/И.Г.Рябова/

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

## Моделирование динамики управляемой электромеханической системы

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ-12.03.01.2019.111.ПЗ ВКР

Консультанты

Экономическая часть

к.э.н., доцент

/А.В. Прокопьев/

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Безопасность жизнедеятельности

к.т.н., доцент

/В.В. Столяров/

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Руководитель работы

к.ф.-м.н., доцент

/Р.Г. Мухарлямов/

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Автор работы

обучающийся группы НвФл-431

/К.А. Дубровин/

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Нормоконтролер

старший преподаватель

/Л.Н. Буйлушкина/

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Нижневартовск 2019

## АННОТАЦИЯ

Дубровин К.А. Моделирование динамики управляемой электромеханической системы. – Нижневартовск: филиал ЮУрГУ, НвФл-431, 73 с., 43 ил., 14 табл., библиогр. список – 22 наим., 1 прил.,

Данная выпускная квалификационная работа посвящена анализу динамических свойств грузоподъемных электромеханических систем с учетом массы длинных упругих канатов и без ее учета. Результаты, полученные в процессе исследования, могут быть использованы в отраслях промышленности, где необходимо применение грузоподъемных систем, использующих длинные канаты. Получена передаточная матрица двухмерного линейного звена, описывающего канат с учетом его массы. Проведен анализ переходных процессов в упругих канатах. Для подтверждения результатов анализа выполнено компьютерное моделирование ЭМС. Выполнен расчет технико-экономической эффективности от проведения научно-исследовательского проекта. Предоставлены рекомендации и требования по обеспечению безопасности жизнедеятельности. Проведен литературный обзор.

					<b>ЮУрГУ-12.03.01.2019.111.ПЗ ВКР</b>									
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<b>Моделирование динамики управляемой электромеханической</b>									
<i>Разработал</i>	<i>Дубровин</i>									<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>		
<i>Проверил</i>	<i>Мухарлямов</i>									В	К	Р	6	73
<i>Н.контр.</i>	<i>Буйлушкина</i>									Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Нижневартовске Кафедра «ГЕНТД»				
<i>Утвердил</i>	<i>Рябова И.Г.</i>													

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	11
1.1 Понятие и сущность электромеханических систем .....	11
1.2 Основные положения математического моделирования электромеханических преобразователей энергии .....	18
1.3 Математическое описание и представление элементов электромеханической системы.....	23
2 РАСЧЕТ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛИННОГО УПРУГОГО КАНАТА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ГРУЗОПОЪДЕМНОГО ЛИФТА .....	29
2.1 Учет распределенности массы длинного упругого каната.....	29
2.2 Структурная схема тяжелого упругого каната с учетом его распределенной массы.....	31
2.3 Переходные процессы в упругих тяжелых канатах .....	33
3 РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ , УВЕЛИЧИВАЮЩЕЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (ГРУЗОВОЙ ЛИФТ).....	38
3.1 Математическая модель грузоподъемной электромеханической системы без учета массы тяжелого упругого каната .....	38
3.2 Модель грузоподъемной электромеханической системы с учетом массы тяжелого упругого каната.....	40
3.3 Влияние длины каната на динамические свойства системы.....	41
4 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ .....	52
4.1 Бюджет научно-технического исследования .....	52
4.2 Организация и планирование работ .....	56
4.3 Анализ экономической эффективности исследования .....	59
5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	62
5.1 Анализ вредных и опасных факторов.....	62

5.2	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	65
5.3	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	67
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	69
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	70
ПРИЛОЖЕНИЯ		
	ПРИЛОЖЕНИЕ А. КОМПАКТ-ДИСК .....	73

## ВВЕДЕНИЕ

Современные технические системы представляют собой динамические системы, в которых их характеристики подвержены изменениям в связи с временем и местом. В связи с этим возникает затруднение в расчете необходимых управляющих сигналов. Помимо этого динамические сигналы могут иметь большое количество входов и выходов, что затрудняет осуществлять точное измерение характеристик, получать полную информацию об их функционирование и приобрести полный объем знаний о таких системах.

Одним из направлений автоматизации производственных процессов в промышленности является применение грузоподъемных электромеханических систем (далее – ЭМС), использующих длинные канаты. К таким системам относятся, например, шахтные подъемники, лифтовые подъемники, подъемные краны, подвесные канатные дороги, буксирные тросовые механизмы, антенные установки и другие устройства. Указанные системы состоят из самой подъемной машины с электроприводом, каната, наматываемого на барабан, и груза на конце каната [6].

В настоящее время возможности вычислительной техники совместно с методом математического моделирования, как метода научного познания, позволяют осуществлять исследования, разработку, проектирование и определять требования по эксплуатации и управлению любой технической системы. Для поддержки метода математического моделирования специалистами были разработаны системы компьютерной математики такие как, Maple, Mathematica, MathCAD, MATLAB, VisSim и др.

Цель выпускной квалификационной работы – моделирование динамики управляемой электромеханической системы с учетом массы длинного упругого каната.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Рассмотреть теоретические основы моделирования электромеханических систем.

2. Сделать расчет математической модели длинного упругого каната для увеличения грузоподъемности грузоподъемного лифта.

3. Разработать модель, увеличивающую грузоподъемность электромеханической модели – грузового лифта.

4. Охарактеризовать экономическую целесообразность проведения работ.

5. Определить меры безопасности жизнедеятельности при проведении работ.

Объект исследования – грузоподъемная электромеханическая система.

Предмет исследования – математическое моделирование электромеханических систем.

Результаты, полученные в процессе исследования, могут быть использованы в отраслях промышленности, где необходимо применение грузоподъемных систем, использующих длинные канаты. Получена передаточная матрица двухмерного линейного звена, описывающего канат с учетом его массы. Проведен анализ переходных процессов в упругих канатах. Для подтверждения результатов анализа выполнено компьютерное моделирование ЭМС.

# 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

## 1.1 Понятие и сущность электромеханических систем

Электромеханическая система представляет собой совокупность взаимодействующих, взаимосвязанных и взаимообусловленных элементов, назначение которых состоит в электромеханическом преобразовании энергии при заданном качестве преобразования.

Многообразие электромеханических систем можно разделить на следующие основные типы:

- системы преобразования механической энергии в электрическую энергию (такие системы еще можно назвать энергетическими системами);
- системы преобразования электрической энергии в механическую энергию (такие системы можно назвать технологическими системами либо системами электрического привода);
- двигатель-генераторные установки, которые преобразуют механическую энергию в электрическую, а также наоборот, преобразуют электрическую энергию в механическую, одновременно и поочередно.

К классу информационных систем мы можем отнести такую систему, в которой основными функциями являются прием, сохранение в памяти информации и дальнейшее ее преобразование.

Электромеханический преобразователь (далее – ЭМП) служит основным элементом ЭМС. ЭМП представляет собой обратимую электрическую машину. ЭМП в соответствии с основными законами, которые положены в основу принцип его работы, может работать в двигательном и генераторном режиме. Если подводимой к ЭМП является механическая энергия, то электромеханическая система и ЭМП работают в генераторном режиме, а в том случае, когда подведена электрическая энергия – двигательный режим. В последнем случае предусмотрен источник электрической энергии (далее – ИЭЭ). В генераторном режиме для ЭМП

требуется механическая энергия. Ее можно получить от любого источника энергии. В зависимости от типа ЭМП, условий работы и требований, подводимая энергия (механическая или электрическая), как правило, не совпадает с требуемой (по качеству). Это учитывается введением двух преобразователей, таких как преобразователь электрической энергии (далее – ПЭЭ) и преобразователь движения, скорости и момента (далее – ПДСМ). В независимости от сложности ЭМС в ней всегда имеется система контроля, управления и защиты. Назначение последней состоит в том, чтобы собрать необходимую информацию о работе системы и параметрах, определяющих среду, на основе которой формируется сигнал управления, реализуется контроль и защита. Отдельные упомянутые элементы могут быть объединены [3].

Ограничиваясь рассмотрением современных электромеханических систем (современным автоматизированным электроприводом), их структуру можно представить как обобщенную структуру многоуровневой системы интерфейсов современного электропривода (Рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Структура многоуровневой системы интерфейсов электропривода

Итак, данная система состоит из пяти уровней. Рассмотрим ее подробнее.

#### 1) Интерфейс I уровня

На этом уровне происходит механико-энергетическое взаимодействие двигателя и исполнительного механизма. Интерфейс представляет собой обязательное и в то же время весьма простое устройство, которое обеспечивает согласование электрического привода. Здесь происходит механическая, гидравлическая, а также электромагнитная передача энергии, направленная от электрической машины к исполнительному механизму.

Основные функции интерфейса заключаются в следующем:

- согласование работы движения двигателя электрической машины и исполнительного механизма;
- достижение максимального коэффициента полезного действия во время устойчивой работы.

Максимальное значение коэффициента полезного действия при этом возможно при согласовании механических характеристик двигателя и механизма.

Это согласование выражено в формуле 1:

$$\frac{M_{дин}}{\Delta\omega} = \beta - \beta_C < 0, \quad (1)$$

где  $M_{дин}$  – динамический момент привода;

$\Delta\omega$  – приращение скорости;

$\beta$  и  $\beta_C$  – жесткости механических характеристик двигателя и механизма.

Данный интерфейс характеризуется как электроэнергетический. С целью получения необходимой доли электроэнергии с требуемыми параметрами амплитуды, частоты напряжения, а также для управления и регулирования параметров потока энергии используется статический преобразователь (далее – СП). Двигатель является непрерывным нелинейным элементом, в то время как статический преобразователь представляет собой нелинейный дискретный элемент. В этой связи и возникает необходимость в организации данного интерфейса.

## 2) Интерфейс III уровня

На данном уровне происходит локальное управление и регулирование параметров энергетического канала привода. В зависимости от того, как построен интерфейс, привод будет иметь определенные функциональные и сервисные возможности. Кроме этого его характеристиками будут точность и быстродействие.

### 3) Интерфейс IV уровня

Этот уровень представляет собой информационно-измерительную систему электропривода, где измерение происходит с помощью физических величин, таких как:

- электрические величины (ток, напряжение, электродвижущая сила (далее – ЭДС));
- механические величины (момент, скорость, перемещение);
- эксплуатационные величины (давление, температура).

### 4) Интерфейс V уровня

На этом уровне происходит обмен между приводами. Этот обмен реализует координацию работы локальных электрических приводов между собой и связь с электронно-вычислительной машиной автоматической системы управления (далее – АСУ) II уровня.

Таким образом, интерфейсный подход к оптимальному синтезу элементов автоматизированного электропривода позволяет с единых методологических концепций обеспечить энергетические, динамические, точностные и надежностные характеристики электромеханической системы в целом.

Интерфейсный подход дает нам возможность определить все необходимые для разработки математической модели требования. При чем, как всей системы, так и всех ее отдельных компонентов.

В настоящее время, в связи с чрезвычайным усложнением современных электроэнергетических и электромеханических систем, радиотехнической и электроизмерительной аппаратуры, систем автоматического контроля и управления, быстродействующих компьютеров, возникает необходимость в создании обобщающих методов анализа и синтеза таких систем и устройств, и проектировании их с помощью систем автоматического проектирования (далее – САПР).

Для разработки новых и успешного совершенствования имеющихся обобщающих методов анализа, синтеза и проектирования различного вида технических систем и электротехнических устройств необходимо представить общую основу физической теории их функционирования. Для этого любой процесс, протекающий в системе и электротехническом устройстве, можно охарактеризовать совокупностью физических величин, называемых обобщенными

координатами. Функционирование же системы и устройства определяется совокупностью предписанных действий, приводящих к правильному выполнению технического процесса в них. Поэтому технический процесс в целом – это управляемый процесс, связанный с управлением обобщенными координатами [3].

Изучение процессов, протекающих в системе (устройстве), и их математическое описание облегчается, если физические взаимосвязи между элементами отразить графически на бумаге. Так, например, представление о функционировании технических систем процессы, в которых связаны с преобразованием электрической энергии в механическую энергию и наоборот, можно получить с помощью функциональной структурной схемы, составленной из последовательно соединенных четырехполюсников (Рисунок 1.2).

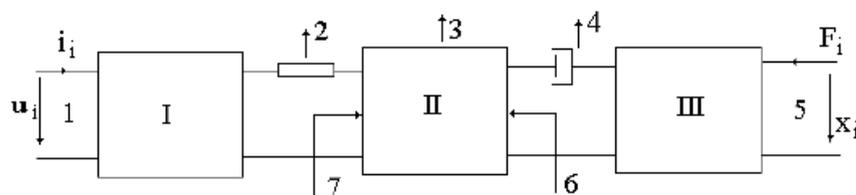


Рисунок 1.2 – Функциональная схема электромеханической системы

На рисунке 1.2 обозначены: I – электрическая часть системы, II – поле связи, III – механическая часть системы; 1 – электрический вход, 2 – электрические тепловые потери, 3 – тепловые потери поля, 4 – механические тепловые потери, 5 – механический вход, 6 – механический вход поля связи, 7 – электрический вход поля связи;  $u_i$ ,  $i_i$  – обобщенные координаты напряжения и ток на входе (выходе) системы;  $F_i$ ,  $x_i$  – обобщенные координаты силы и перемещение на выходе (входе) системы.

В зависимости от выполняемых функций все системы, связанные с процессами преобразования и получения того или иного вида энергии природы в электрическую энергию и наоборот, подразделяют на энергетические, технологические и информационные системы. Первый тип систем предназначен для получения электрической и тепловой энергии. Второй тип систем

обеспечивает получение такого вида энергии, который необходим для реализации определенного технологического процесса. Третий тип систем в процессе преобразования энергии обеспечивает получение и передачу информации. Для каждого типа систем электрическая и механическая части, поле связи представляют собой тот или иной тип устройства, принцип функционирования которого влияет на работу системы в целом.

Так, например, электрическая часть современных технических систем представляет собой сложную электронную цепь, составленную из большого числа электронных компонентов или функциональных узлов с обратными связями. Эти электронные цепи могут содержать статические полупроводниковые преобразователи, усилители, модуляторы, демодуляторы, которые в энергетических и технологических системах обеспечивают преобразование электрической энергии переменного тока в энергию постоянного тока и наоборот, управление потоками этих видов энергии и их накопление. В информационных системах усилительные каскады и полупроводниковые преобразователи обеспечивают преобразование аналогового сигнала в цифру-код и наоборот. Электрическая часть технической системы, в свою очередь, состоит из силовой части и системы управления.

Структурными элементами силовой части и систем управления являются полупроводниковые диоды, транзисторы, тиристоры и микросхемы. Принцип действия их связан с движением заряженных частиц в твердой, газообразной и жидкой средах. Поэтому основами теории электронных цепей является теория электрических цепей [12].

Математическое моделирование цифровых и аналого-цифровых устройств электронных цепей осуществляют по двум направлениям: моделирование на электрическом и логическом уровнях. В первом случае составляются топологические модели электронных цепей, в основе которых лежат схемы замещения (макро- и микромодели) компонентов электронных цепей. Во втором случае пользуются ключевыми моделями компонентов электронных цепей.

В качестве поля связи в системах используют электромагнитное поле и электрическую и магнитную составляющую этого поля, а именно электрическое и магнитное поле. Использование поля связи осуществляется с помощью различного типа электромеханических, электрических и электростатических, индукционных и индуктивных преобразователей. Электромагнитные явления в таких преобразователях и их принцип действия связывают с взаимодействием находящихся в покое или движущихся в определенном пространстве зарядов с электрическим или магнитным полем. Основы теории таких преобразователей отражены в уравнениях Максвелла.

При математическом моделировании таких преобразователей существует также два подхода. В первом случае записываются уравнения равновесия и взаимосвязи для электрических контуров и уравнения движения подвижной части преобразователя (так называемые уравнения Парка – Горева). Во втором случае преобразователь представляют как элемент системы, для которого выводят передаточную (системную) функцию.

Механическая часть современных технических систем состоит из звеньев, обеспечивающих передачи движения и силы в энергетических и технологических системах, а также механизмов для выполнения математических операций и механизмов приборов для информационных систем. Звенья представляют собой плоские и пространственные стержневые механизмы, винтовые и зубчатые механизмы (редукторы), кулачковые механизмы. К их числу можно отнести фрикционные передачи, вариаторы, тормоза и муфты, механизмы для преобразования вращательного движения в поступательное или колебательное движение. Для выполнения математических операций требуются определенные механизмы, в качестве которых могут выступать механизмы, выполняющие суммирующие либо множительные функции. Также это могут быть механизмы, выполняющие элементарные тригонометрические функции, к примеру, планиметры, интеграторы [2].

Теория механизмов, входящих в состав механической части (механических систем), опирается на уравнения кинематики и динамики, отражающих

кинематические и динамические зависимости и взаимосвязи между пространственно-сосредоточенными элементами механизмов. Для кинематики – это уравнения равновесия моментов и сил (так называемое правило узлов) и уравнения скоростей (так называемое правило контуров). Эти уравнения в совокупности отражают принцип Даламбера. Динамика механических систем в полной мере отражена в уравнениях Лагранжа.

Таким образом, электромеханическая система представляет собой совокупность взаимодействующих, взаимосвязанных и взаимообусловленных элементов, назначение которых состоит в электромеханическом преобразовании энергии при заданном качестве преобразования. Среди электромеханических систем выделяются их основные типы, такие как, во-первых, системы преобразования механической энергии в электрическую энергию, во-вторых, системы преобразования электрической энергии в механическую энергию и, в-третьих, двигатель-генераторные установки [5].

## 1.2 Основные положения математического моделирования электромеханических преобразователей энергии

Любую электрическую машину можно представить в виде совокупности  $m$ -фазных обмоток, расположенных на ее неподвижной и вращающейся частях (Рисунок 1.3).

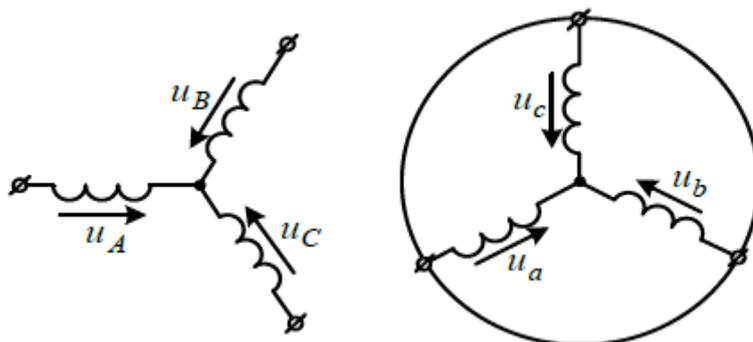


Рисунок 1.3 – Обобщенная схема обмоток электрической машины

В состав данной схемы входит трехфазная обмотка не неподвижной части машины, а также трехфазная обмотка на подвижной ее части. Эти трехфазные обмотки подключены к симметричным трехфазным источникам напряжения [6].

Данный тип машины имеет собственное математическое описание, которое базируется на математических законах. Рассмотрим эти законы ниже.

### 1) Второй закон Кирхгофа

Во втором законе Кирхгофа, устанавливающем отношение между током и напряжением в разветвленных электрических цепях, основывается уравнение равновесия напряжений и ЭДС на обмотках неподвижной и подвижной части. Рассмотрим, как будет выглядеть математическое описание для обеих частей рассматриваемой нами схемы.

Для неподвижной части (формула 2):

$$\left. \begin{aligned} u_A &= R_A i_A + \frac{d\Psi_A}{dt} \\ u_B &= R_B i_B + \frac{d\Psi_B}{dt} \\ u_C &= R_C i_C + \frac{d\Psi_C}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Для подвижной части (формула 3):

$$\left. \begin{aligned} u_a &= R_a i_a + \frac{d\Psi_a}{dt} \\ u_b &= R_b i_b + \frac{d\Psi_b}{dt} \\ u_c &= R_c i_c + \frac{d\Psi_c}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Мы видим, что в данных уравнениях присутствуют мгновенные напряжения, токи и потокосцепления, а также активные сопротивления обмоток. Обычно обмотки располагают симметрично, и поэтому  $R_A = R_B = R_C = R_s$  – активное сопротивление статорной обмотки,  $R_a = R_b = R_c = R_r$  – активное сопротивление роторной обмотки.

## 2) Закон Ампера

Данный закон связывает потокосцепления обмоток с токами, протекающими по обмоткам:

для неподвижной части (формула 4):

$$\left. \begin{aligned} \Psi_A &= L_{AA}i_A + L_{AB}i_B + L_{AC}i_C + L_{Aa}i_a + L_{Ab}i_b + L_{Ac}i_c \\ \Psi_B &= L_{BA}i_A + L_{BB}i_B + L_{BC}i_C + L_{Ba}i_a + L_{Bb}i_b + L_{Bc}i_c \\ \Psi_C &= L_{CA}i_A + L_{CB}i_B + L_{CC}i_C + L_{Ca}i_a + L_{Cb}i_b + L_{Cc}i_c \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

для подвижной части (формула 5):

$$\left. \begin{aligned} \Psi_a &= L_{aA}i_A + L_{aB}i_B + L_{aC}i_C + L_{aa}i_a + L_{ab}i_b + L_{ac}i_c \\ \Psi_b &= L_{bA}i_A + L_{bB}i_B + L_{bC}i_C + L_{ba}i_a + L_{bb}i_b + L_{bc}i_c \\ \Psi_c &= L_{cA}i_A + L_{cB}i_B + L_{cC}i_C + L_{ca}i_a + L_{cb}i_b + L_{cc}i_c \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Симметричные уравнения для определения потокосцеплений показывают, что потокосцепления каждой обмотки зависит от токов во всех обмотках; эти зависимости проявляются через взаимную индукцию. В формулах 4 и 5  $L_{AA}$ ,  $L_{BB}$ ,  $L_{CC}$ ,  $L_{aa}$ ,  $L_{bb}$ ,  $L_{cc}$  являются собственными индуктивностями соответствующих обмоток, все остальные взаимными индуктивностями между соответствующими обмотками.

## 3) Второй закон Ньютона

Закон Ньютона – закон равновесия моментов на валу машины (формула 6):

$$J \frac{\vec{\omega}_m}{dt} = \vec{M} - \vec{M}_n, \quad (6)$$

где  $J$  – момент инерции на валу машины, учитывающий инерционность, как самой машины, так и приведенной к валу инерционности рабочего механизма и редуктора;

$\vec{\omega}_m$  – угловая скорость вала машины;

$\vec{M}_H$  – момент рабочего механизма, приведенный к валу, в общем случае он может быть функцией скорости и угла поворота, Нм.

#### 4) Закон Ленца

Этот закон связывает векторные величины момента, потокосцепления и тока (формула 7):

$$\vec{M} = k\vec{\Psi} \times \vec{i} \quad (7)$$

Необходимо указать на то, что в процессе исследования машин возникают определенные трудности. Даже, несмотря на их подробное описание в соответствии со строгими и полными требованиями. Рассмотрим данные трудности [6].

Во-первых, в формулах 6 и 7 встречаются векторные величины, в то время как в формулах 2 и 3 – скалярные.

Во-вторых, если рассматривать количество взаимосвязанных уравнений, то в сумме они будут равняться 16. Однако количество коэффициентов равно 44.

В-третьих, коэффициенты взаимной индукции между обмотками в формулах 4 и 5 представляют собой функцию угла поворота вращающейся части машины относительно ее неподвижной части. Можно сказать, что эти два уравнения представляют собой уравнения с переменными коэффициентами.

В-четвертых, формула 7 представляет собой нелинейное уравнение. В нем происходит перемножение переменных.

Для того, чтобы упростить вид математического описания электрических машин переменного тока, возможно применение подходящего для этого метода пространственного вектора. Данный метод дает возможность очень сильно сократить описанную нами в данном параграфе систему уравнений. Данный метод кроме того дает возможность создать взаимосвязь формул 2 и 7 и создать единую систему с векторными переменными состояниями. Опишем суть данного метода. Мы можем мгновенные значения симметричных трехфазных переменных состояний преобразовать в математическую модель так, что впоследствии они будут одним

пространственным вектором. Это математическое преобразование имеет следующий вид (формула 8):

$$\vec{i} = \frac{2}{3} \Psi_A + \vec{a}i_B + \vec{a}^2i_C, \quad (8)$$

где  $\vec{a} = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ ,  $\vec{a}^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}}$  – единичные вектора, учитывающие пространственное смещение обмоток;

$i_A = I_m \cos \omega t$ ,  $i_B = I_m \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3})$ ,  $i_C = I_m \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3})$  – симметричная трехфазная система токов статора.

Если мы подставим в формулу 8 значение мгновенных токов, то сможем найти математическое описание пространственного вектора статорного тока (формула 9):

$$\vec{i}_s = \frac{2}{3} I_m (\cos \omega t + e^{j\frac{2\pi}{3}} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + e^{j\frac{4\pi}{3}} \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3})) = I_m e^{j\omega t} \quad (9)$$

Геометрическая интерпретация пространственного вектора тока изображена на рисунке 1.4. Здесь мы видим изображение вектора на комплексной плоскости с модулем (длиной)  $I_m$ . Вектор вращается с угловой скоростью в положительном направлении [11].

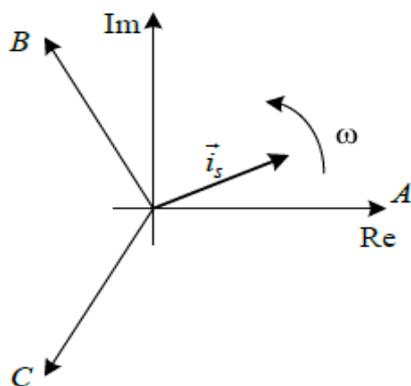


Рисунок 1.4 – Пространственный вектор тока

Мгновенные токи в фазах мы можем определить по проекции вектора  $i_s$  на фазные оси А, В и С.

Таким образом, уравнения равновесия напряжений и ЭДС на обмотках неподвижной и подвижной части базируется на математических законах, таких как второй закон Кирхгофа, закон Ампера, второй закон Ньютона и закон Ленца.

### 1.3 Математическое описание и представление элементов электромеханической системы

В качестве исследуемого объекта для математического моделирования рассмотрим следящий электропривод постоянного тока, функциональная схема которого приведена на рисунке 1.5.

Система, представленная на рисунке 1.5, работает по принципу компенсации отклонения  $\delta$ . Сигнал отклонения  $\delta$ , определяемый разностью положений движков потенциометра – датчика П1 и потенциометра – приемника П2, появляется при изменении значения управляющего воздействия  $\beta$ . В этом случае при рассогласовании  $\delta = \beta - \alpha$  на выходе потенциометрического моста появится напряжение  $U_\delta = k_\delta \times \delta$ , которое усиливается усилительно-преобразовательным устройством (далее – УПУ). Напряжение  $U_y$  с выхода усилителя поступает на обмотку якоря исполнительного двигателя, который приходит во вращение и работает до тех пор, пока рассогласование (отклонение) в положениях движков потенциометров не станет равно нулю. На этапе подготовки задания для моделирования необходимо записать систему уравнений, описывающих поведение рассматриваемой системы [5].

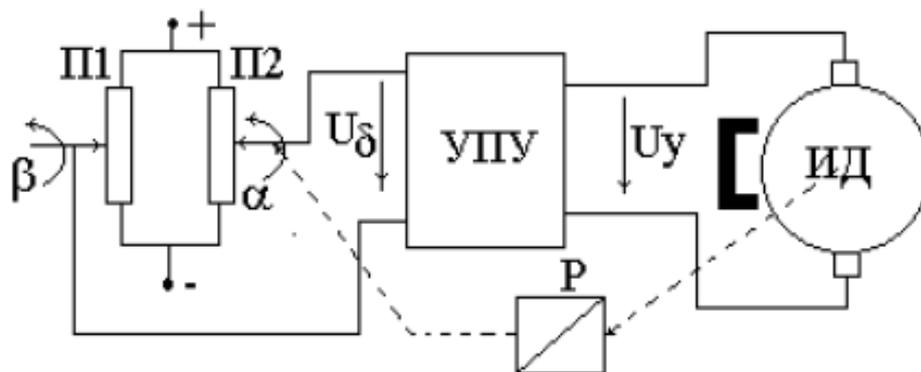


Рисунок 1.5 – Функциональная схема электромеханической системы постоянного тока

Система, приведенная на рисунке 1.5, имеет типичный набор элементов. К ним, в данном случае, можно отнести:

- ИР – измеритель рассогласований, представленный в виде потенциометрического моста П1-П2;
- УПУ – усилительно-преобразовательное устройство, исполнительное устройство, электродвигатель постоянного тока с магнитоэлектрическим возбуждением;
- передаточный механизм, редуктор.

Используя систему уравнений, представим математическое описание рассматриваемой системы.

1) Напряжение на выходе усилительного каскада, исходя из предположения, что это звено безынерционное, запишется в виде (формула 10):

$$U_y = kU_\delta \quad (10)$$

2) Уравнение электрического равновесия для обмотки якоря (формула 11):

$$U_y = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + c_e \Omega, \quad (11)$$

где  $L_a, R_a$ , – индуктивность и сопротивление обмотки якоря;

$U_y, i_a$  – напряжение и ток обмотки якоря;

$\Omega$  – угловая скорость якоря;

$c_e$  – коэффициент против ЭДС.

3) Уравнение механического равновесия (формула 12):

$$J' \frac{d\Omega}{dt} = M_{ep} - M'_n, \quad (12)$$

где  $J', M'_n$  – момент инерции и момент статической нагрузки, приведенные к валу двигателя;

$M_{ep}$  – электромагнитный момент (момент вращения), развиваемый двигателем.

4) Уравнение, связывающее угол поворота вала двигателя с угловой скоростью (формула 13):

$$\alpha_\partial = \int \Omega dt \quad (13)$$

Решая в операторной форме формулы 11 – 13, можно получить следующее уравнение (формула 14):

$$k_d U_y = (T_\partial T_M p^2 + T_M p + 1) \Omega - \frac{1}{Fi} (1 + T_\partial p) M_n, \quad (14)$$

где  $T_\partial = L_a / R_a$  – электромагнитная постоянная времени, характеризующая нарастание скорости момента в заторможенном двигателе;

$F = c_e c_M / R_a$  – коэффициент демпфирования, определяющий наклон (жесткость) механической характеристики;

$T_M$  – механическая постоянная времени, характеризующая нарастание скорости и определяемая механическими параметрами ИД (формула 15):

$$T_M = \frac{J'R_a}{c_e c_M} \quad (15)$$

Анализ формулы 13 позволяет, в зависимости от соотношений постоянных времени  $T_\Delta$  и  $T_M$ , представить двигатель различными типовыми звеньями, а именно [20]:

инерционным звеном второго порядка (формула 16):

$$T_M \times T_\Delta \frac{d^2 \Omega}{dt^2} + T_M \frac{d\Omega}{dt} + \Omega = k_D U_y, \quad (16)$$

передаточную функцию которого по управляющему воздействию при  $M_H = 0$  можно получить в виде (формула 17):

$$W(p) = \frac{\Omega}{U_y} = \frac{k_D}{(T_M T_\Delta p^2 + T_M p + 1)} \quad (17)$$

или с допустимой погрешностью можно записать в виде (формула 18):

$$W(p) = \frac{\Omega}{U_y} = \frac{k_D}{(T_M p + 1)(T_\Delta p + 1)} \quad (18)$$

Для большинства ИД влияние индуктивности якорной обмотки на динамические свойства не является определяющим, что дает возможность пренебречь электромагнитной постоянной, тогда двигатель представляют апериодическим звеном первого порядка (формула 19):

$$T_M \frac{d\Omega}{dt} + \Omega = k_D U_y \quad (19)$$

Передаточная функция в этом случае имеет вид (формула 20):

$$W(p) = \frac{\Omega}{U_y} = \frac{k_D}{(T_M p + 1)} \quad (20)$$

Если в качестве выходной величины рассматривать угол поворота вала ИД, то на основании формулы 13 двигатель можно представить последовательным соединением интегрирующего и апериодического звеньев (формула 21):

$$T_M \frac{d^2 \alpha_D}{dt^2} + \frac{d\alpha_D}{dt} = k_D U_y \quad (21)$$

Передаточную функцию в этом случае записывают в виде (формула 22):

$$W(p) = \frac{\alpha_D}{U_y} = \frac{k_D}{p(T_M p + 1)} \quad (22)$$

При незначительных нагрузках на валу двигателя падением напряжения можно пренебречь, и в этом случае ИД выполняет роль интегрирующего звена (формула 23):

$$\frac{d\alpha_D}{dt} = k_D U_y \quad (23)$$

Передаточная функция имеет вид (формула 24):

$$W(p) = \frac{\alpha_D}{U_y} = \frac{k_D}{p} \quad (24)$$

Передаточный механизм (редуктор) представляют в большинстве случаев при моделировании электромеханических систем в виде безынерционного звена с коэффициентом передачи  $k = 1/i$ , где  $i$  – передаточное число редуктора, тогда угловое положение координаты объекта регулирования (далее – ОР) можно записать в виде (формула 25):

$$\alpha = k \times \alpha_{\text{д}} \quad (25)$$

Таким образом, в зависимости от задачи исследований и принятых при этом допущениях, разрабатываются структурные схемы и математическая модель системы на базе представленных выше уравнений [20].

Выводы по разделу один:

Электрохимическая система представляет собой совокупность взаимодействующих, взаимосвязанных и взаимообусловленных элементов, назначение которых состоит в электрохимическом преобразовании энергии при заданном качестве преобразования. Среди электрохимических систем выделяются их основные типы, такие как, во-первых, системы преобразования механической энергии в электрическую энергию, во-вторых, системы преобразования электрической энергии в механическую энергию и, в-третьих, двигатель-генераторные установки.

Уравнения равновесия напряжений и ЭДС на обмотках неподвижной и подвижной части базируется на математических законах, таких как второй закон Кирхгофа, закон Ампера, второй закон Ньютона и закон Ленца.

В зависимости от задачи исследований и принятых при этом допущениях, разрабатываются структурные схемы и математическая модель системы на базе представленных выше уравнений.

## 2 РАСЧЕТ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛИННОГО УПРУГОГО КАНАТА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ГРУЗОПОЪДЕМНОГО ЛИФТА

### 2.1 Учет распределенности массы длинного упругого каната

Если верхний конец каната закрепить, то мы сможем заметить, что усиление натяжения каната будет регулироваться под воздействием силы, которая приложена к одному концу каната. В качестве примера рассмотрим однородный вертикально расположенный канат, изображенный на рисунке 2.1. Его длина  $l$ , вес  $Q$ , к верхнему концу каната  $\Delta F^B$  также как и его нижнему концу  $\Delta F^H$  приложены определенные растягивающие силы. Мы можем заметить, что в статическом состоянии каната сила, приложенная к его верхнему концу, будет равна той силе, которая приложена к его нижнему концу. То есть мы делаем вывод, что статические усилия натяжения верхнего и нижнего концов вертикально расположенного каната будут зависеть от расстояния от конца каната, а также от значения силы натяжения его нижнего конца [4].

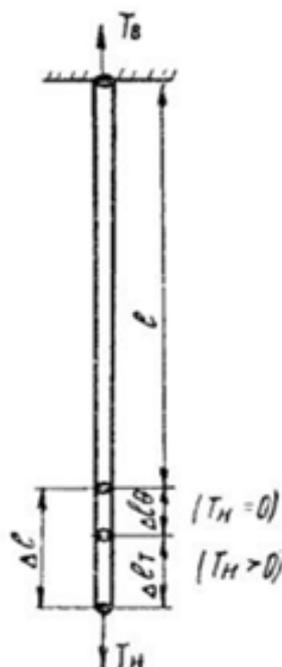


Рисунок 2.1 – Однородный вертикально расположенный канат

Мы будем использовать теорию колебательных систем с распределенными параметрами. На основе этой теории мы получим передаточные функции, которые описывают законы передачи приращения силы натяжения каната с одного его конца на другой.

Для начала, перед тем как проводить соответствующие расчеты, нам необходимо ввести определенные обозначения:

$F^B$  – приращение силы натяжения верхнего конца каната;

$F^H$  – приращение силы натяжения нижнего конца каната;

$\Delta l^H$  – удлинение нижнего конца каната;

$\Delta l^B$  – удлинение верхнего конца каната;

$m$  – масса каната.

Как известно, передаточная функция между удлинением каната на одном конце и приращением на нем силы натяжения имеет вид, представленный следующим образом (формула 26):

$$W_i(s) = \frac{\Delta F^B}{\Delta l^B} = \frac{\Delta F^H}{\Delta l^H} = \frac{c_{уд} \sqrt{b} \times ch(l\sqrt{b})}{sh(l\sqrt{b})}, \quad (26)$$

где  $b = \frac{s}{a^2}(s + 2h)$ ,  $2h = \frac{x_{уд}}{m}$ ,  $a^2 = \frac{c_{уд}}{m}$ ,  $c_{уд}$ ,  $x_{уд}$  – удельное значение жесткости и внутреннего демпфирования каната соответственно.

После того, как была увеличена сила натяжения одного конца каната, она начнет передаваться на другой конец, что можно записать в виде соответствующей передаточной функции (формула 27):

$$W^F(s) = \frac{\Delta F^B}{\Delta F^H} = \frac{\Delta F^H}{\Delta F^B} = \frac{1}{ch(\sqrt{lb})} \quad (27)$$

Если мы разложим гиперболические функции (формулы 26 и 27) на степенные ряды и будем рассматривать только первые два члена  $ch\sqrt{l^2b} = 1 + \frac{bl^2}{2}$  и

$sh(\sqrt{l^2 b}) = \sqrt{l^2 b} \left(1 + \frac{bl^2}{6}\right)$ , то в таком случае передаточная функция (формула 26)

примет следующий вид (формула 28):

$$W_i(s) = \frac{\Delta F^B}{\Delta l^B} = \frac{\Delta F^H}{\Delta l^H} = 3C_{yдr} \frac{l^2 ms^2 + x_{yд} l^2 s + 2c_{yд}}{l^3 ms^2 + x_{yд} l^3 s + 6c_{yд} l} \quad (28)$$

В данном случае передаточная функция (формула 27) примет также соответствующий вид, который мы запишем следующим образом (формула 29):

$$W_F(s) = \frac{\Delta F^B}{\Delta F^H} = \frac{\Delta F^H}{\Delta F^B} = \frac{2c_{yд}}{lms^2 + x_{yд} ls + 2c_{yд}} \quad (29)$$

Таким образом, нами была использована теория колебательных систем с распределенными параметрами. На основе этой теории были получены передаточные функции, которые описывают законы передачи приращения силы натяжения каната с одного его конца на другой [4].

## 2.2 Структурная схема тяжелого упругого каната с учетом его распределенной массы

На основе изложенных выше соображений математическая модель тяжелого каната может быть представлена как объект с двумя входами (удлинениями на концах каната) и двумя выходами (приращениями силы натяжения на концах каната).

Входы и выходы каната в матричной форме будут иметь вид (формула 30):

$$\Delta F = \begin{bmatrix} \Delta F^B \\ \Delta F^H \end{bmatrix} \Delta l = \begin{bmatrix} \Delta l^B \\ \Delta l^H \end{bmatrix} \quad (30)$$

Для приращений натяжения на концах каната запишем (формула 31):

$$\begin{aligned}\Delta F^B &= \Delta F_1^B - \Delta F_2^B = \Delta l^B \times W_l - \Delta l^H \times W_l \times W_F \\ \Delta F^H &= \Delta F_1^H - \Delta F_2^H = \Delta l^H \times W_l - \Delta l^B \times W_l \times W_F\end{aligned}\quad (31)$$

Тогда в матричной форме (формула 32):

$$\Delta F = \begin{bmatrix} \Delta F^B \\ \Delta F^H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_l W_l W_F \\ W_l W_l W_F \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta l^H \\ \Delta l^B \end{bmatrix}, \quad (32)$$

где матрицу передаточных функций можно записать в виде (формула 33):

$$\begin{bmatrix} W_{\Delta l^H \Delta F^H} & W_{\Delta l^B \Delta F^B} \\ W_{\Delta l^H \Delta F^B} & W_{\Delta l^B \Delta F^H} \end{bmatrix} \quad (33)$$

На основании полученных передаточных функций (формулы 28 и 29) составлена структурная схема тяжелого каната, приведенная на рисунке 2.2.

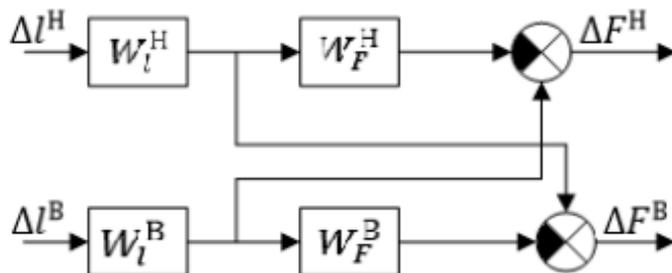


Рисунок 2.2 – Структурная схема тяжелого каната

Такой канат следует отнести к классу многосвязных элементов, поскольку удлинение любого его конца влияет не только на приращение натяжения на нем, но и на другом конце каната [19].

Таким образом, на основании полученных передаточных функций, описывающих законы передачи приращения силы натяжения каната с одного его конца на другой, нами была составлена структурная схема тяжелого каната.

## 2.3 Переходные процессы в упругих тяжелых канатах

Исследуем модель тяжелого каната в программе MatLab Simulink (Рисунок 2.3).

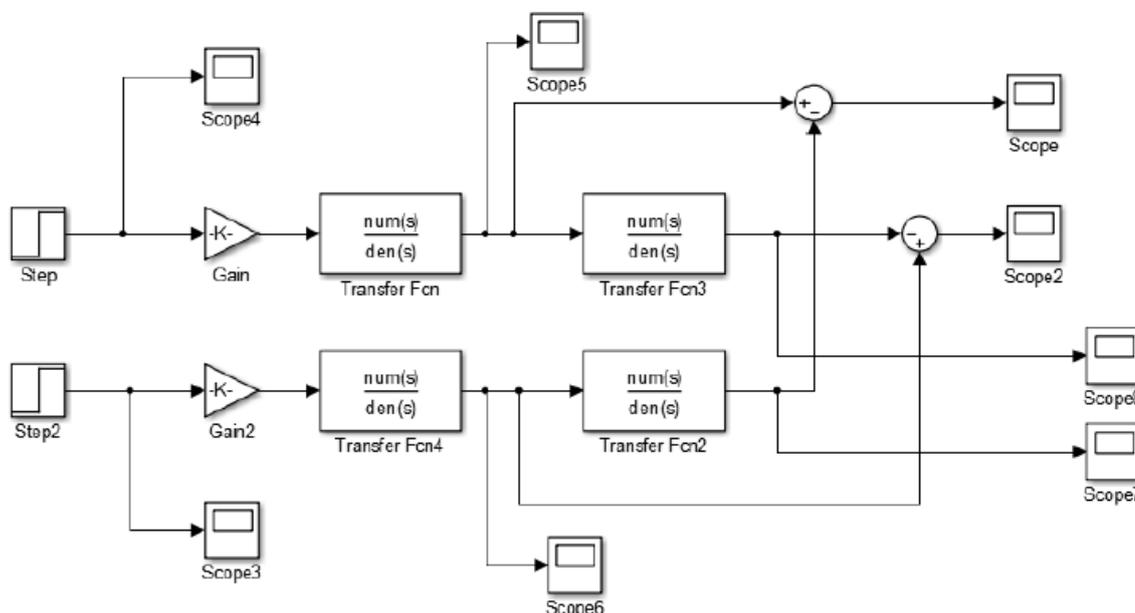


Рисунок 2.3 – Модель тяжелого каната в MatLab Simulink

Рассмотрим, как влияет на тяжелый канат растяжение каната сверху, снизу и одновременно с двух сторон при длине каната 100 метров и массе 100 килограмм.

При растяжении каната на 0,4 метра сверху получен графики изменения натяжения каната на верхнем конце (Рисунок 2.4).

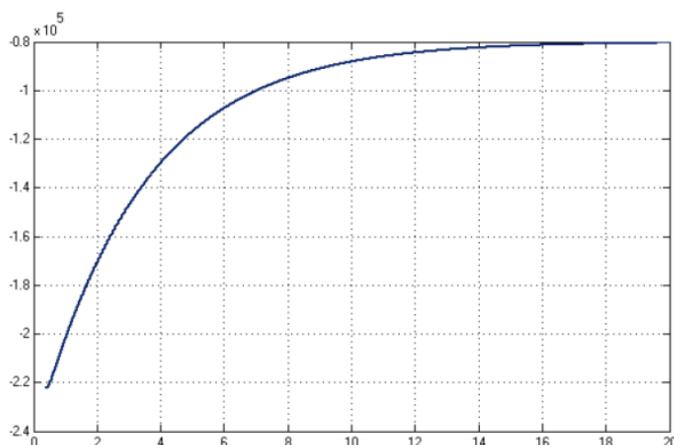


Рисунок 2.4 – Изменение силы натяжения каната на верхнем конце при растяжении верхнего конца на 0,4 м

При растяжении каната на 0,4 метра сверху получен графики изменения натяжения каната на нижнем конце (Рисунок 2.5).

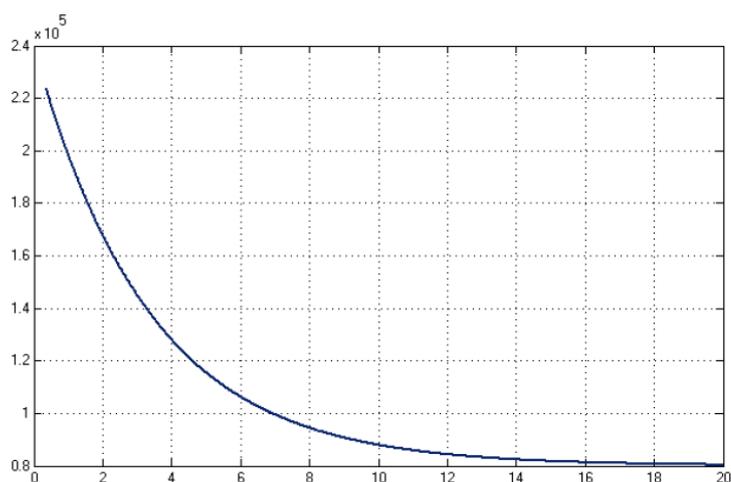


Рисунок 2.5 – Изменение силы натяжения каната на нижнем конце при растяжении верхнего конца на 0,4 м

На рисунке 2.6 представлены силы натяжения концов каната на верхнем конце при его растяжении на 0,4 метра снизу.

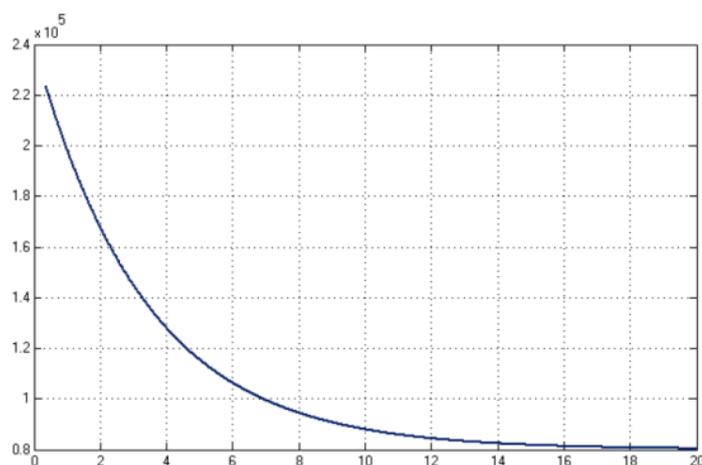


Рисунок 2.6 – Изменение силы натяжения каната на верхнем конце при растяжении нижнего конца на 0,4 м

На рисунке 2.7 представлены силы натяжения концов каната на нижнем конце при его растяжении на 0,4 метра снизу.

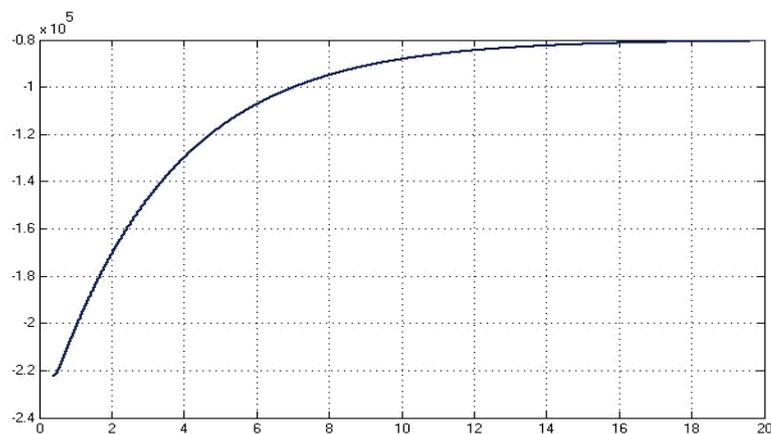


Рисунок 2.7 – Изменение силы натяжения каната на нижнем конце при растяжении нижнего конца на 0,4 м

При растяжении каната на 0,4 метра снизу и сверху получим график изменения силы натяжения каната на верхнем конце (Рисунок 2.8).

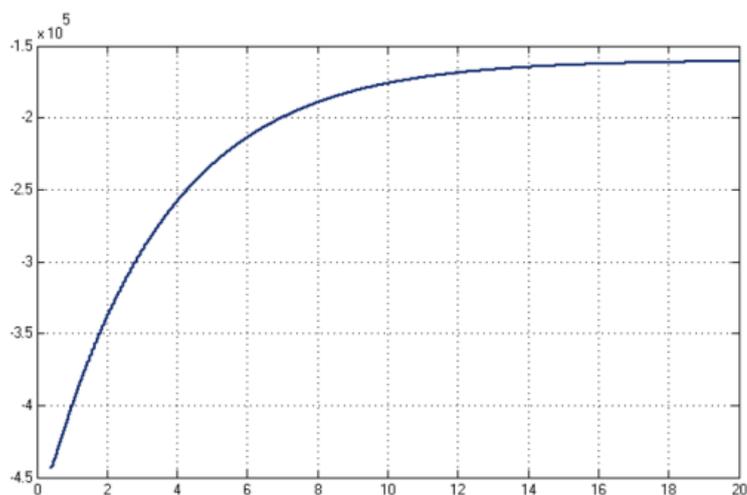


Рисунок 2.8 – Изменение силы натяжения каната на верхнем конце при растяжении верхнего и нижнего конца на 0,4 м

При растяжении каната на 0,4 метра снизу и сверху получим график изменения силы натяжения каната на нижнем конце (Рисунок 2.9).

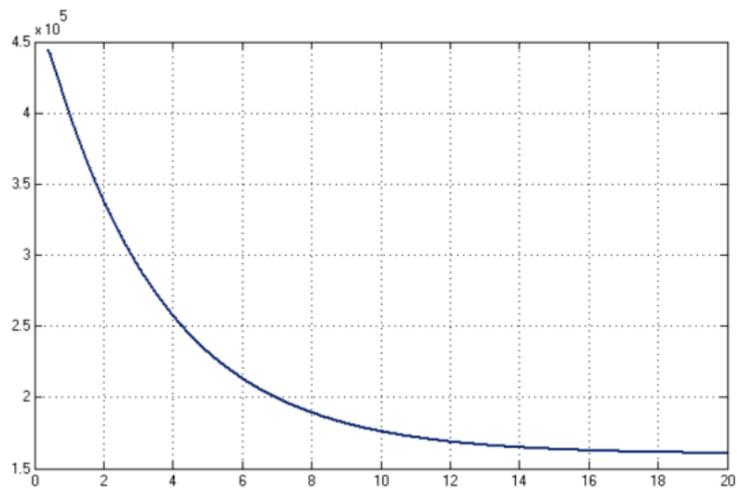


Рисунок 2.9 – Изменение силы натяжения каната на верхнем конце при растяжении верхнего и нижнего конца на 0,4 м

Для сравнения проанализируем, как изменяется сила натяжения, если растянуть на 0,4 метра невесомый канат (Рисунок 2.10) [19].

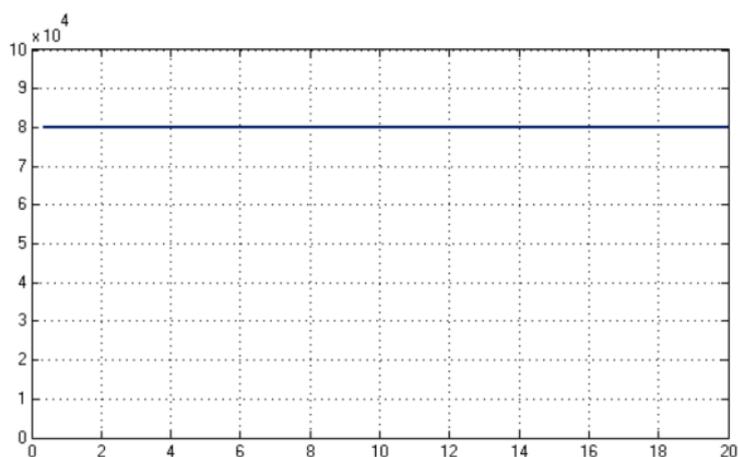


Рисунок 2.10 – Изменение силы натяжения невесомого каната при его растяжении на 0,4 метра

Таким образом, мы видим, что сила натяжения распространяется по невесомому канату мгновенно, в то время, как натяжение тяжелого каната изменяется примерно за 20 секунд. При растяжении каната с обеих сторон возникает сила натяжения в два раза большая по сравнению с растяжением каната с одной стороны.

Выводы по разделу два:

Нами была использована теория колебательных систем с распределенными параметрами. На основе этой теории были получены передаточные функции, которые описывают законы передачи приращения силы натяжения каната с одного его конца на другой.

Было рассмотрено, как влияет на тяжелый канат растяжение каната сверху, снизу и одновременно с двух сторон при длине каната 100 метров и массе 100 килограмм. Сила натяжения распространяется по невесомому канату мгновенно, в то время, как натяжение тяжелого каната изменяется примерно за 20 секунд.

### 3 РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ , УВЕЛИЧИВАЮЩЕЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (ГРУЗОВОЙ ЛИФТ)

#### 3.1 Математическая модель грузоподъемной электромеханической системы без учета массы тяжелого упругого каната

В результате математического описания системы получим систему уравнений в операторной форме (формула 34) [6]:

$$\begin{cases} m \frac{d\Delta V_r}{dt} = \Delta F_H; \\ \Delta F = \left( \frac{C + \lambda p}{p} \right) (\Delta V_{np} - \Delta V_r); \\ \Delta F_{ДВ} = \left( \frac{c_M}{r} \left( \frac{1/R_{я}}{T_{я} p + 1} \right) \right) \left( U_{ДВ} - \frac{C_E \Delta V}{r} \right); \\ \left( T_{\nu} \frac{dU_{ВЫХ}}{dt} + U_{ВЫХ} \right) = k_{\nu} U_{ВХ} \end{cases} \quad (34)$$

где  $k_{ДВ} = 10$  – (коэффициент усиления двигателя);

$C_E$  – противо ЭДС двигателя;

$k_{\nu} = 100$ – коэффициент передачи усилителя;

$m = [50.500]$  – масса груза, м;

$r = 0,5$  – радиус барабана, м.

Коэффициент жесткости каната определяется по формуле 35:

$$C = \frac{C_{уд}}{l} \quad (35)$$

где  $C_{уд} = 2 \cdot 10^8$  – коэффициент удельной жесткости каната, Н;

$l = [50,500]$ – длина каната, м.

Коэффициент демпфирования зависит от длины каната (формула 36):

$$\chi = \frac{\chi_{уд}}{l}, \quad (36)$$

где  $\chi_{уд} = 4 \times 10^5$  – удельный коэффициент удельной потери упругости каната (коэффициент демпфирования), Нс.

Используя полученные дифференциальные уравнения, составим структурную схему системы управления (Рисунок 3.1).

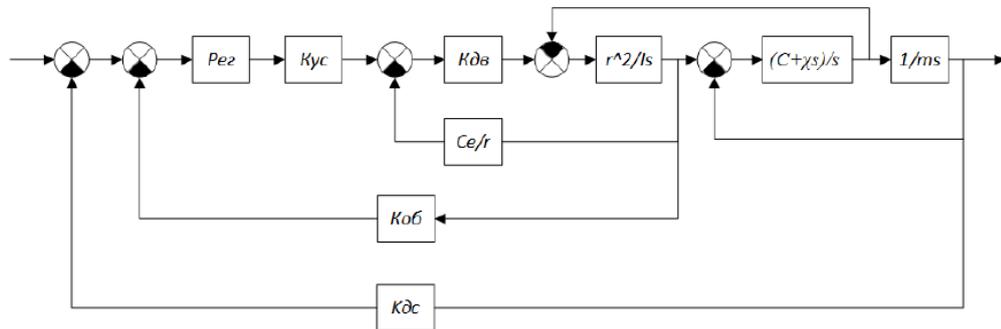


Рисунок 3.1 – Структурная схема системы без учета массы длинного упругого каната

В связи с высоким быстродействием электропривода можно пренебречь коэффициентом  $C_E$ . В результате структурная схема грузоподъемной ЭМС с регулятором, электрической и механической частями в среде MatLab примет вид, показанный на рисунке 3.2 [21].

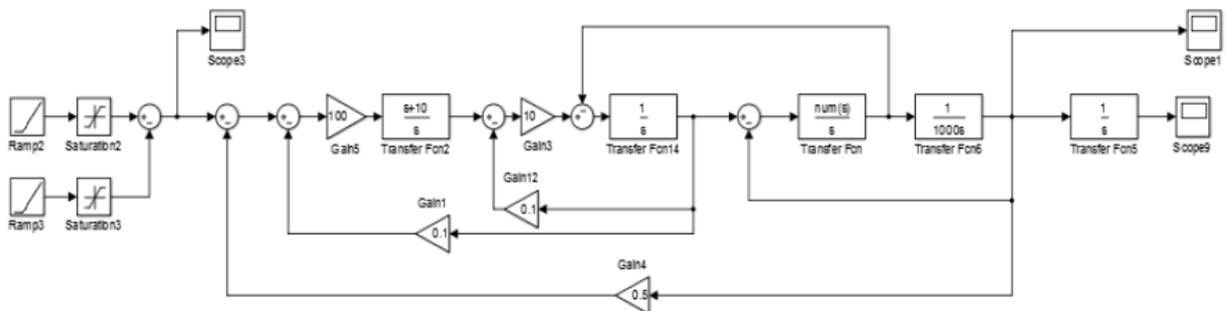


Рисунок 3.2 – Модель системы в среде MatLab без учета массы длинного упругого каната

Таким образом, на основе полученных дифференциальных уравнений была составлена структурная схема системы управления без учета массы длинного упругого каната.

### 3.2 Модель грузоподъемной электромеханической системы с учетом массы тяжелого упругого каната

Мы видим, что модель грузоподъемной электромеханической системы с учетом массы длинного каната отличается от модели системы без учета его массы лишь представлением в структурной схеме самого каната. В структурной схеме с учетом массы каната канат представлен в виде четырехполюсника с двумя входами и двумя выходами. Для этого в систему вводится еще два интегратора для преобразования скорости в перемещение, и тем самым увеличивается порядок системы.

В результате структурная схема грузоподъемной электромеханической системы с учетом массы длинного упругого каната в среде MatLab, примет вид, показанный на рисунке 3.3.

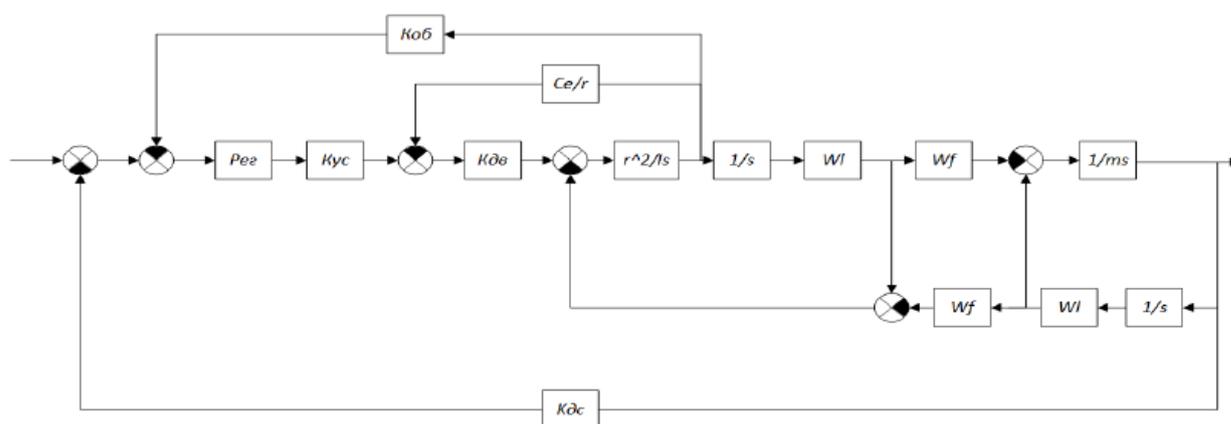


Рисунок 3.3 – Структурная схема системы с учетом массы длинного упругого каната

Структурная схема грузоподъемной ЭМС в среде MatLab примет вид, показанный на рисунке 3.4 [21].

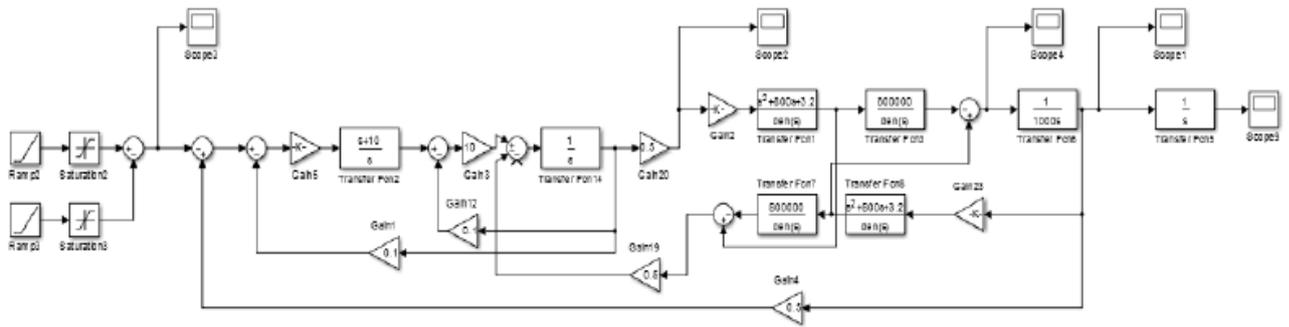


Рисунок 3.4 – Модель системы в среде MatLab с учетом массы длинного упругого каната

Таким образом, была составлена структурная схема и модель системы в среде MatLab системы с учетом массы длинного упругого каната.

### 3.3 Влияние длины каната на динамические свойства системы

Проанализируем поведение системы с учетом массы каната и без учета этой массы. В связи с тем, что длина каната изменяется, будем считать, что в интервале длиной 100 метров масса каната постоянна.

Для плавного разгона и торможения каната сигнал задатчика скорости  $U_{зс}$  следует формировать в виде, показанном на рисунке 3.5, где  $T$  – время спуска груза на необходимую глубину [1].

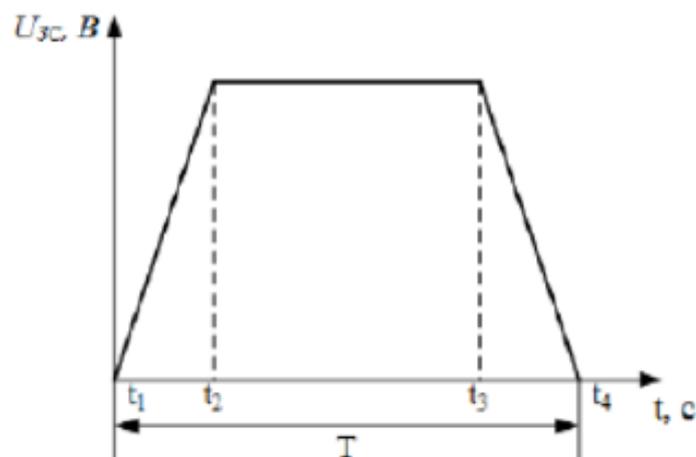


Рисунок 3.5 – График изменения сигнала задатчика скорости спуска груза

Из рисунка 3.5 можем сделать вывод, что груз разгоняется с постоянным ускорением в интервале  $[t_1; t_2]$ , работает с постоянной скоростью в интервале  $[t_2; t_3]$  и тормозит с постоянным замедлением в интервале  $[t_3; t_4]$ . С момента времени  $t_4$  груз переходит в режим стабилизации.

Рассмотрим невесомый канат массой 50 килограмм и длиной 50 метров.

Пусть сигнал задатчика скорости имеет вид, показанный на рисунке 3.6.

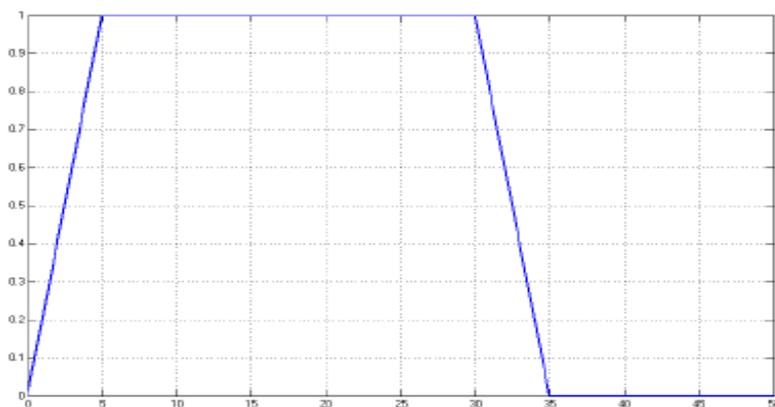


Рисунок 3.6 – Входное воздействие (1 В) для системы с невесомым канатом длиной 50 метров

Длительность воздействия зависит от того как быстро канат разматывается на необходимую длину (50 метров). Рассмотрим график зависимости перемещения каната во времени (Рисунок 3.7).

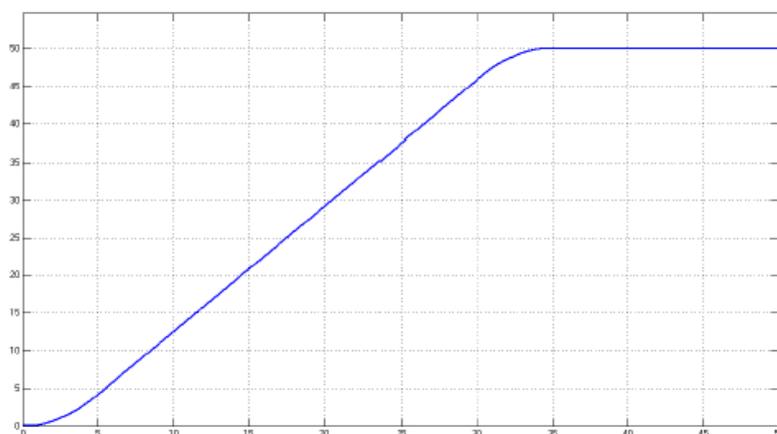


Рисунок 3.7 – Зависимость перемещения груза от времени при невесомом канате длиной 50 м

Рассмотрим скоростную характеристику (выход системы моделирования) для невесомого каната (Рисунок 3.8).

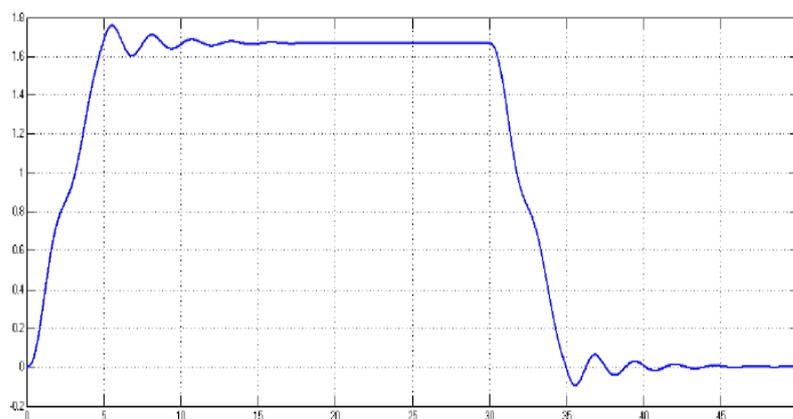


Рисунок 3.8 – Скоростная характеристика невесомого каната длиной 50 м

Сравним изменение динамических свойств грузоподъемной электромеханической системы без учета массы и с учетом массы длинного упругого каната длиной 100 метров.

В результате моделирования режима спуска груза без учета массы длинного упругого каната длиной 100 метров получен график изменения скорости груза для двух временных участков. На рисунке 3.9 показан график изменения скорости груза.

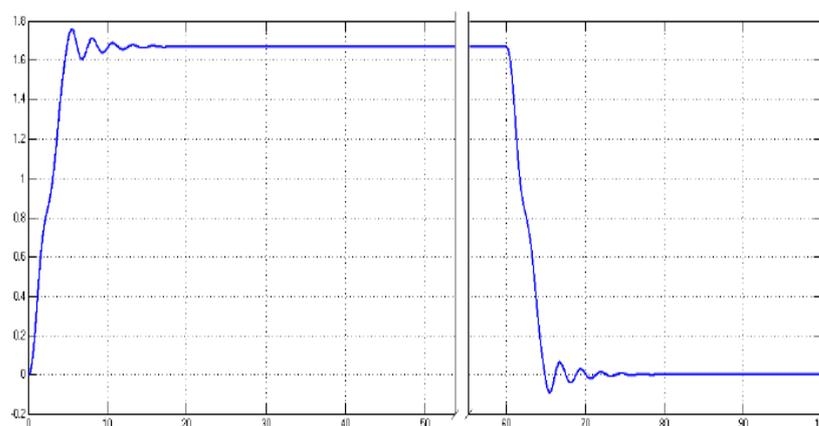


Рисунок 3.9 – График изменения скорости груза для невесомого каната длиной 100 метров

На рисунке 3.10 показан график изменения перемещения груза.

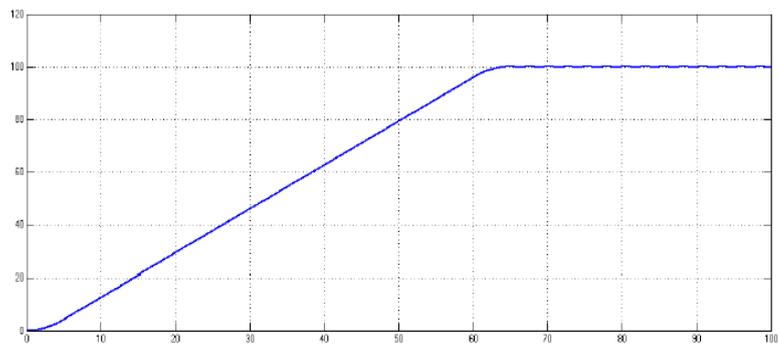


Рисунок 3.10 – График изменения перемещения груза для невесомого каната длиной 100 метров

Для системы с учетом массы длинного упругого каната длиной 100 метров получим график изменения скорости груза (Рисунок 3.11)

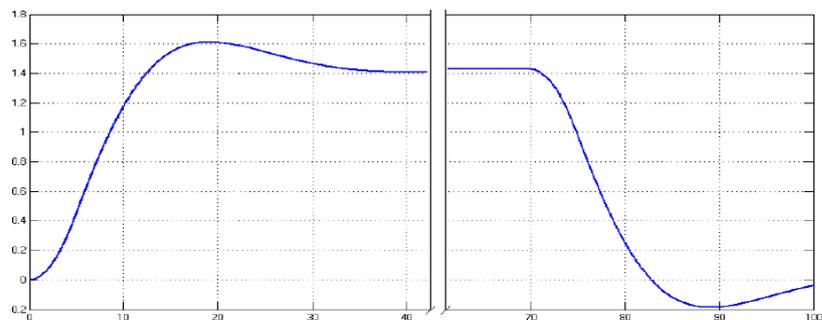


Рисунок 3.11 – Графики изменения скорости груза для тяжелого каната длиной 100 метров

Для тяжелого каната длиной 100 метров получим график изменения длины каната (Рисунок 3.12)

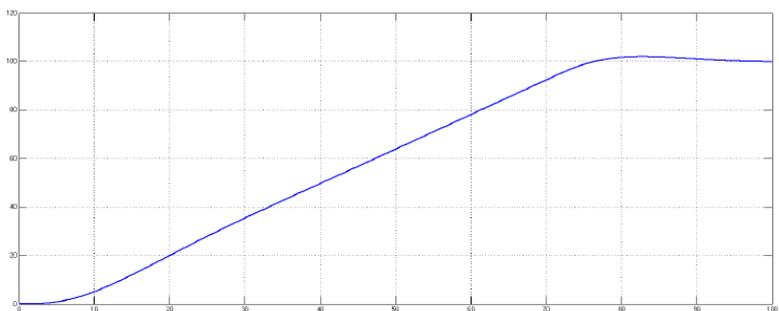


Рисунок 3.12 – Графики изменения длины каната для тяжелого каната длиной 100 метров

Проведем подобные исследования для канатов длиной 200, 300, 400 и 500 метров.

Для невесомого каната длиной 200 метров получим график изменения скорости груза, показанный на рисунке 3.13.

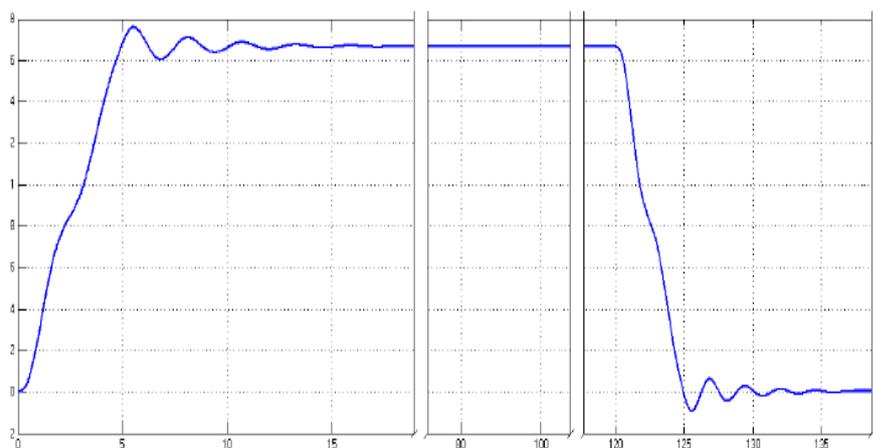


Рисунок 3.13 – Графики изменения скорости груза для невесомого каната длиной 200 метров

Для невесомого каната длиной 200 метров получим график изменения длины каната (Рисунок 3.14).

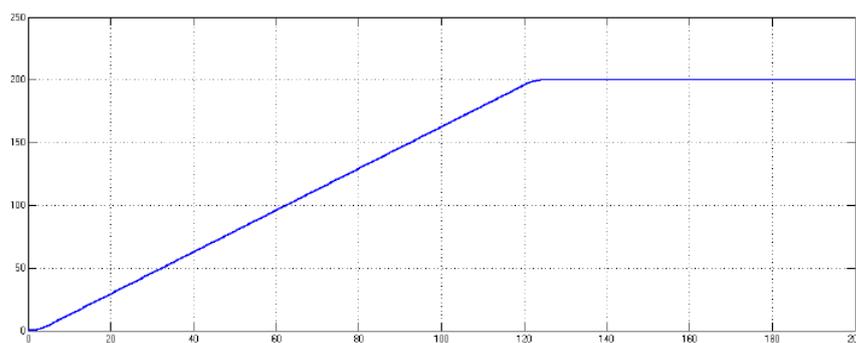


Рисунок 3.14 – Графики изменения длины каната для невесомого каната длиной 400 метров

При тяжелом канате длиной 200 метров изменение скорости груза примет вид, показанный на рисунке 3.15.

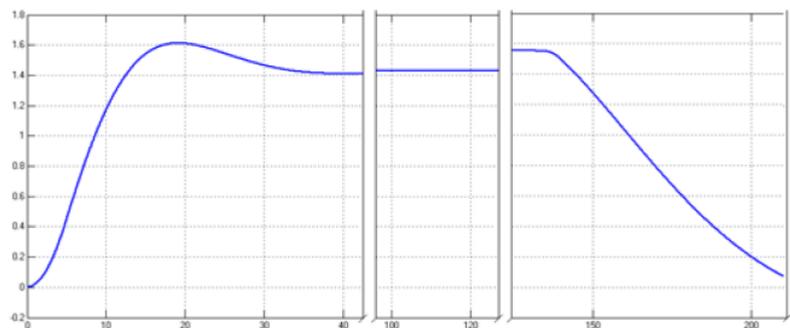


Рисунок 3.15 – Графики изменения скорости груза для тяжелого каната длиной 200 метров

Для тяжелого каната длиной 200 метров получим график изменения длины каната (Рисунок 3.16).

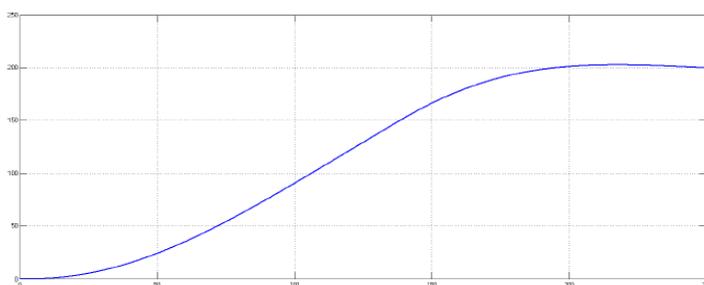


Рисунок 3.16 – Графики изменения длины каната для тяжелого каната длиной 200 метров

Для невесомого каната 300 метров, получим график изменения скорости груза, показанный на рисунке 3.17.

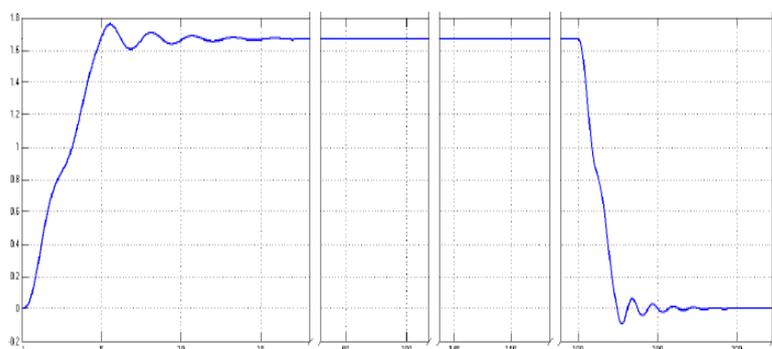


Рисунок 3.17 – Графики изменения скорости груза для невесомого каната длиной 300 метров

График изменения длины невесомого каната 300 м на рисунке 3.18.

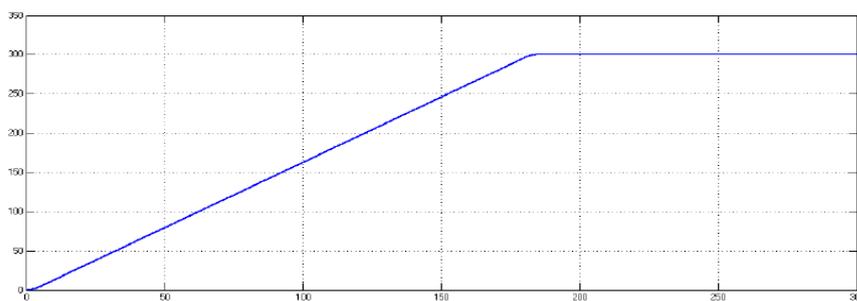


Рисунок 3.18 – Графики изменения длины каната для невесомого каната длиной 300 метров

Для системы с учетом массы длинного упругого каната длиной 300 метров получим график изменения скорости груза (Рисунок 3.19).

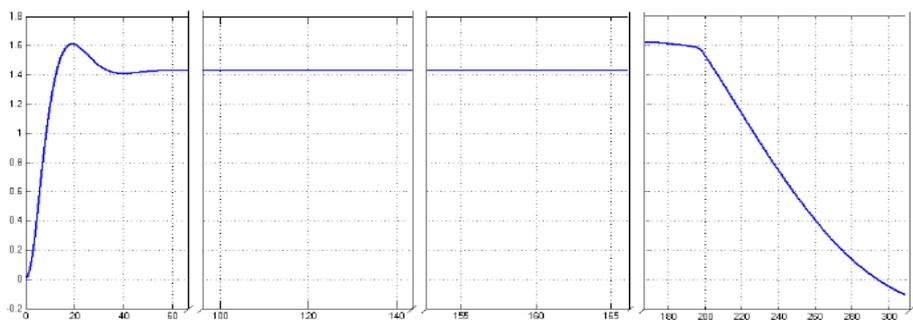


Рисунок 3.19 – Графики изменения скорости груза для тяжелого каната длиной 300 метров

График изменения длины тяжелого каната 300 м показан на рисунке 3.20.

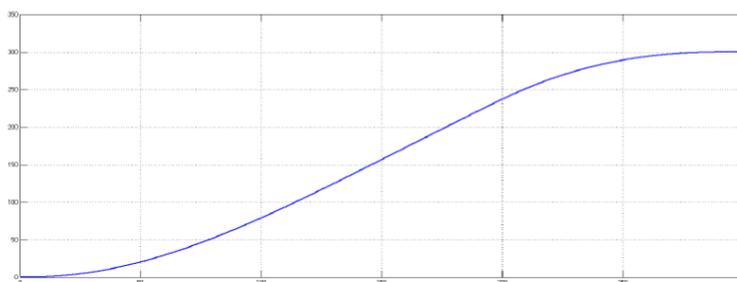


Рисунок 3.20 – Графики изменения длины каната для тяжелого каната длиной 300 метров

Для невесомого каната 400 метров график изменения груза показан на рисунке 3.21.

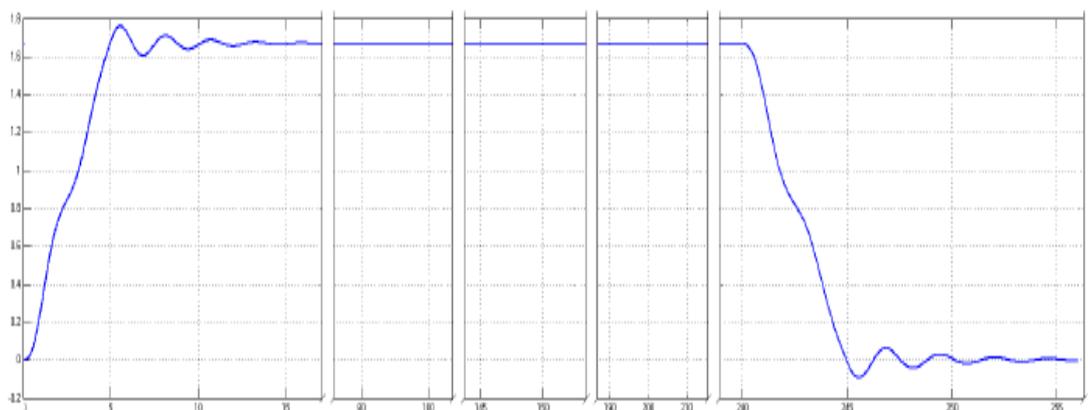


Рисунок 3.21 – Графики изменения скорости груза для невесомого каната длиной 400 метров

График изменения длины невесомого каната 400 м на рисунке 3.22.

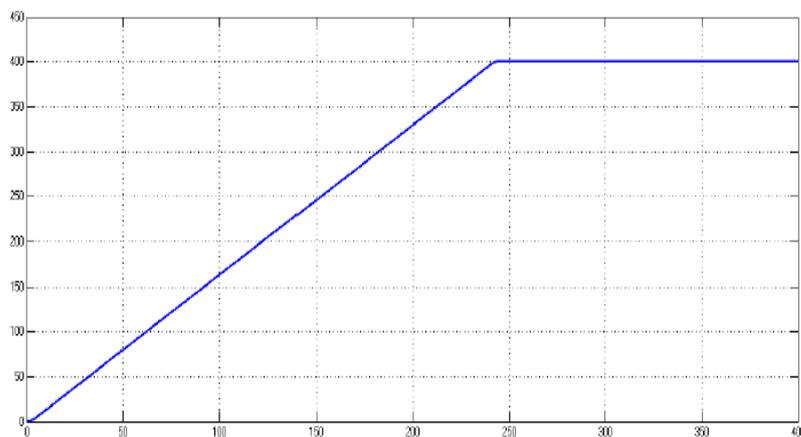


Рисунок 3.22 – Графики изменения длины каната для невесомого каната длиной 400 метров

При тяжелом канате длиной 400 метров изменение скорости груза примет вид, показанный на рисунке 3.23.

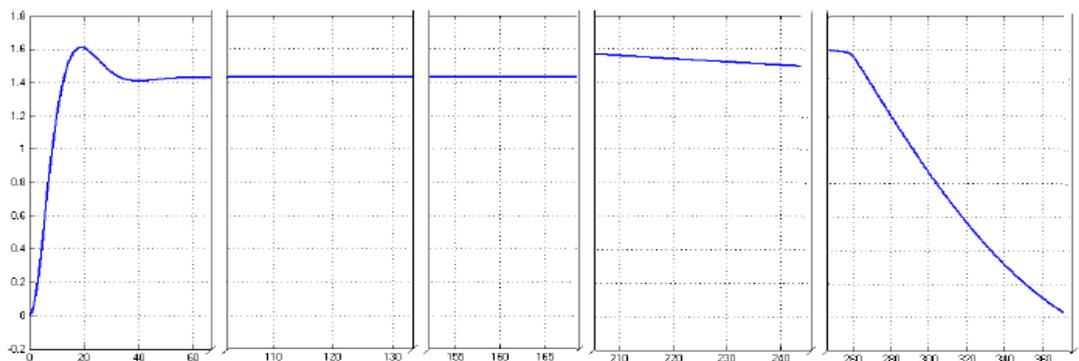


Рисунок 3.23 – Графики изменения скорости груза для тяжелого каната длиной 400 метров

График изменения длины тяжелого каната 400 м на рисунке 3.24.

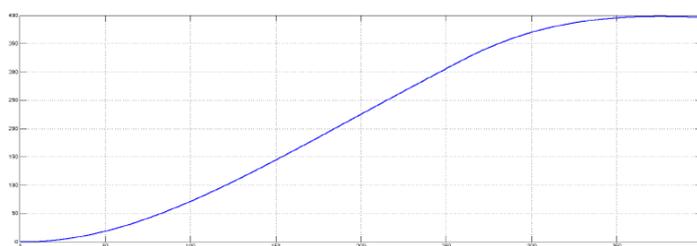


Рисунок 3.24 – Графики изменения длины каната для тяжелого каната длиной 400 метров

В результате моделирования режима спуска груза без учета массы длинного упругого каната длиной 500 метров получен график изменения скорости груза для каждого временного участка (Рисунок 3.25).

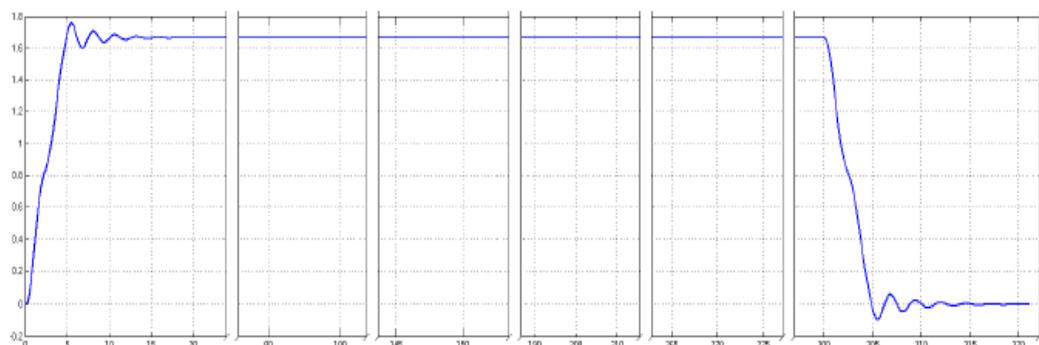


Рисунок 3.25 – Графики изменения скорости груза для невесомого каната длиной 500 метров

График изменения длины невесомого каната 500 м будет иметь вид, показанный на рисунке 3.26

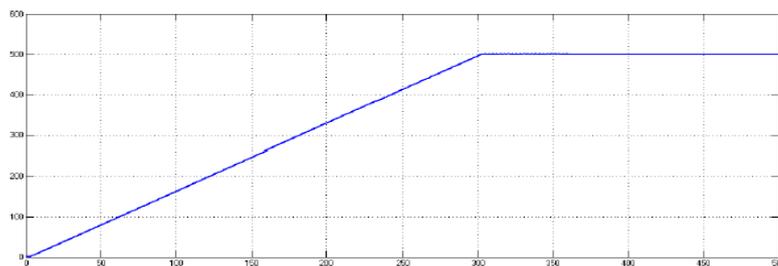


Рисунок 3.26 – Графики изменения длины каната для невесомого каната длиной 500 метров

Для тяжелого каната длиной 500 метров получим график на рисунке 3.27.

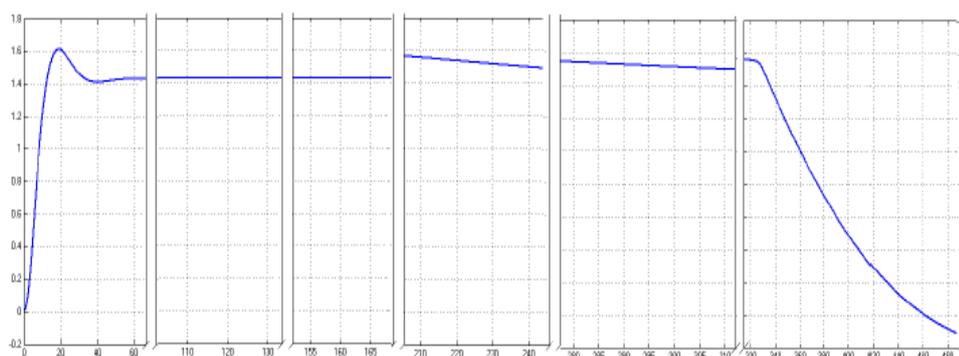


Рисунок 3.27 – Графики изменения скорости груза для невесомого каната длиной 500 метров

График изменения длины невесомого каната 500 м показан на рисунке 3.28.

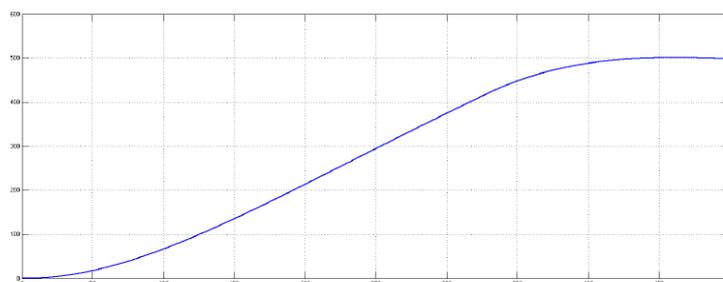


Рисунок 3.28 – Графики изменения длины каната для невесомого каната длиной 500 метров

Таким образом, при коротких канатах скорость подъема (опускания) груза практически не зависит от учета массы каната. Однако система с тяжелым (длинным) канатом обладает меньшим быстродействием по сравнению с системой, где канат той же длины считается невесомым. Можно заметить также, что быстродействие системы с тяжелым канатом уменьшается с увеличением его длины. При этом колебания в системе при учете массы каната имеют более низкую частоту.

Выводы по разделу три:

На основе полученных дифференциальных уравнений была составлена структурная схема системы управления с учетом и без учета массы длинного упругого каната. Модель грузоподъемной электромеханической системы с учетом массы длинного каната отличается от модели системы без учета его массы лишь представлением в структурной схеме самого каната.

Анализируя влияние длины каната на динамические свойства системы, мы можем сделать вывод, что при коротких канатах скорость подъема либо опускания груза не зависит от учета массы каната. Но система с тяжелым (длинным) канатом обладает меньшим быстродействием по сравнению с системой, где канат той же длины считается невесомым.

## 4 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

### 4.1 Бюджет научно-технического исследования

В состав затрат на создание проекта включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- основная заработная плата;
- отчисления в социальные фонды;
- расходы на электроэнергию;
- амортизационные отчисления;
- работы, выполняемые сторонними организациями;
- прочие расходы.

Проведем расчет затрат на материальное обеспечение. К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам и приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Затраты на материальное обеспечение

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество, шт.	Сумма, руб.
Компьютер	57 000	1	57 000
Итого 57 000			

Рассчитаем амортизационные отчисления для используемого оборудования. Амортизационные отчисления рассчитываются на время использования ЭВМ по формуле 37:

$$C_{AM} = \frac{H_A \times C_{OB}}{F_D} \times t_{pф} \times n \quad (37)$$

где  $H_A$  – годовая норма амортизации, составляет 25%;

$C_{OB}$  – цена оборудования;

$F_D$  – действительный годовой фонд рабочего времени, составляет 2384 часа;

$t_{pф}$  – фактическое время работы оборудования при создании программного продукта, составляет 317 часа;

$n$  – число задействованных ПЭВМ.

Итак, затраты на амортизационные отчисления составили:

$$C_{AM} = \frac{0,25 \times 57000}{2384} \times 317 \times 1 = 1895.$$

Проведем расчет основной заработной платы.

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата рассчитывается по формул 38:

$$CГ_i = \frac{MO}{24,83} \quad (38)$$

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 4.2. При расчете учитывалось, что в году 298 рабочих дней и, следовательно, в месяце 24,83 рабочих дня. Также был принят во внимание учитывающий коэффициент дополнительной заработной платы  $K_{ПР} = 1,1$ ;  $K_{доп.ЗП} = 1,188$ ;  $K_p = 1,3$ . Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент:  $K_{и} = 1,1 \times 1,188 \times 1,3 = 1,699$ .

Таблица 4.2 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Фонд з/платы, руб.
Научный руководитель	23 264,86	936,97	9	14 327
Инженер	14 584,32	607,68	61	37 068
Итого				51 395

Таким образом, затраты на основную заработную плату равны  $C_{осн} = 54395$  руб.

Проведем расчет дополнительной заработной платы исполнителей проекта.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле 39:

$$C_{дон} = k_{дон} \times C_{осн} \quad (39)$$

где  $k_{дон}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

В таблице 4.3 показаны затраты на дополнительную заработную плату сотрудникам.

Таблица 4.3 – Затраты на дополнительную заработную плату

Исполнитель	Отчисления на дополнительную заработную плату, руб.
Научный руководитель	2 149
Инженер	5 560

Проведем расчет отчислений во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и фонд социального страхования).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы 40:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \times (C_{осн} + C_{дон}) \quad (40)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Отчисления во внебюджетные фонды для исполнителей проекта приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	14 327	2 149
Инженер	37 068	5 560
Коэффициент отчислений во $k_{внеб}$ 27,1		
Итого: 16017		

Сумма отчислений во внебюджетные фонды составила 16017 рублей.

Произведем расчет прочих расходов. В статье «накладные расходы» отражены расходы на разработку проекта, которые не учтены в предыдущих статьях (Таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Накладные расходы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Блокнот	40	2 шт.	80
Бумага для принтера формата А4	150	2 уп.	300
Ручка шариковая	10	4 шт.	40
Карандаш	10	2 шт.	20
Стирательная резинка	5	2 шт.	10
Электроэнергия	5,8 руб кВт*ч	120 кВт*ч	696
Покупка лицензии Matlab (1 исполнение)	98 981	1 шт	98 981
Покупка лицензии VisSim (3 исполнение)	130 504	1 шт	130 504
Итого:		1 исполнение	100 127
		3 исполнение	131 200

Составим бюджет затрат научно-исследовательского проекта.

Бюджет затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Расчёт бюджета затрат научно-технического исследования (далее – НТИ)

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	57 000
Амортизация	-1895
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	51 395
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	7 709
Отчисления во внебюджетные фонды	16 017

#### Окончание таблицы 4.6

Наименование статьи	Сумма, руб.
Накладные расходы (1 исполнения)	100 127
Накладные расходы (3 исполнение)	131 200
Бюджет затрат НТИ (1 исполнение)	230 353
Бюджет затрат НТИ (2 исполнение)	31 073
Бюджет затрат НТИ (3 исполнение)	261 426

Таким образом, бюджет затрат НТИ по первому исполнению составит 230353 руб., по второму исполнению 31073 руб., по третьему исполнению 261426 руб.

#### 4.2 Организация и планирование работ

Расчет продолжительности этапов работ осуществляется двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

В данном случае используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Для определения ожидаемого значения продолжительности работ  $t_{ож}$  применяется вероятностный метод – метод двух оценок  $t_{min}$  и  $t_{max}$  (формула 41):

$$t_{ож} = \frac{3 \times t_{min} + 2 \times t_{max}}{5} \quad (41)$$

где  $t_{min}$  – минимальная трудоемкость работ, чел/дн.;

$t_{max}$  – максимальная трудоемкость работ, чел/дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 4.6 работ требуются специалисты:

- инженер (далее – И);
- научный руководитель (далее – НР).

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ведется по формуле 42:

$$T_{РД} = \frac{t_{ОЖ}}{K_{ВН}} \times K_{Д} \quad (42)$$

где  $t_{ОЖ}$  – трудоемкость работы, чел/дн.;

$K_{ВН}$  – коэффициент выполнения работ, равен 1;

$K_{Д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ, равен 1.2.

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле 43:

$$T_{КД} = T_{РД} \times T_{К} \quad (43)$$

где  $T_{РД}$  – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

$T_{КД}$  – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент рассчитывается по формуле 44:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (44)$$

где  $T_{КАЛ}$  – календарные дни, составляют 365;

$T_{ВД}$  – выходные дни;

$T_{ПД}$  – праздничные дни.

Рассчитаем календарный коэффициент:  $T_{К} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22$ .

Этапы работ НТИ и их длительность приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Этапы работ и их длительность

Этапы работ	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн			
					ТРД		ТКД	
		<i>t<sub>min</sub></i>	<i>t<sub>max</sub></i>	<i>t<sub>ож</sub></i>	НР	И	НР	И
Подготовительный этап								
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	1	2	1	2	-	2	-
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	4	6	4	3	6	3	7
Разработка календарного плана	НР, И	1	2	1	2	2	2	2
Изучение предметной области	И	7	10	8	-	10	-	12
Анализ динамических свойств грузоподъемных электромеханических систем с учетом массы длинных упругих канатов								
Расчет модели, приведение полученных результатов	НР, И	14	20	16	1	20	2	24
Оформление полученных методик	И	5	7	6	-	7	-	8
Экономическое обоснование								
Анализ перспективности разработки, оценка	И	3	5	4	-	5	-	5
Анализ опасных и вредных производственных факторов								
Анализ выявленных вредных и опасных факторов производственной среды, защита в чрезвычайных ситуациях, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	И	1	2	1	-	2	-	2
Документирование								
Составление и согласование расчетно-пояснительной записки	НР, И	3	5	4	-	5	-	5
Оформление графического материала	И	3	5	4	-	5	-	5
Подведение итогов	НР, И	1	2	1	2	2	2	2
Всего:				50	10	64	11	72

Продолжительность выполнения работ составляет 72 календарных дня.

#### 4.3 Анализ экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле 45:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (45)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в том числе аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле 46:

$$I_{pi} = \sum a_i \times b_i \quad (46)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчёт интегрального финансового показателя приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Расчёт интегрального финансового показателя конкурентных технических решений

Вариант схемы	$\Phi_{max}$ , руб.	$\Phi_{pi}$ , руб.	$I_{финисп.i}$ , о.е.
1е исполнение		230 353	0.88
2е исполнение	261 426	31 073	0.11
3е исполнение		261 426	1

Второй вариант имеет наименьший интегральный показатель среди трёх конкурентных технических решений, но в то же время имеет недостаточную функциональность.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы 4.9.

Таблица 4.9 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Уровень новизны	0,3	5	5	5
2. Теоретический уровень	0,3	5	3	3
3. Возможность реализации	0,4	5	3	3
Итого	1	5	3,6	3,6

Рассчитаем ресурсоэффективность для первого варианта исполнения проекта:  $Исп.1=5 \times 0,3 + 5 \times 0,3 + 5 \times 0,4 = 5$ .

Ресурсоэффективность для второго варианта исполнения составляет:  $Исп.2=5 \times 0,3 + 3 \times 0,3 + 3 \times 0,4 = 3,6$ .

Для третьего:  $Исп.3=5 \times 0,3 + 5 \times 0,3 + 5 \times 0,4 = 3,6$ .

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{исп1}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле 47:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}} \quad (47)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $Э_{ср}$ ) приведена в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	5	3,6	3,6
3	Интегральный показатель эффективности	5	3,6	3,6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,39	1	1

Таким образом, первое исполнение является наиболее функциональным и ресурсоэффективным по сравнению с другими исполнениями.

Выводы по разделу четыре:

Бюджет затрат НТИ по первому исполнению равен 230353 руб., по второму исполнению – 31073 руб., по третьему исполнению – 261426 руб. Продолжительность выполнения работ составляет 72 календарных дня.

Первое исполнение является наиболее функциональным и ресурсоэффективным по сравнению с другими.

## 5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### 5.1 Анализ вредных и опасных факторов

При разработке устройства могут возникнуть вредные и опасные факторы. В таблице 5.1 приведены вредные и опасные факторы согласно ГОСТ 12.0.003-74, источники факторов и нормативные документы, регламентирующие действие каждого фактора [8].

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы при разработке устройства [8]

Источник фактора	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Персональный компьютер	1. Показатели микроклимата 2. Шум 3. Освещенность 4. Электромагнитные излучения	1. Электрический ток	1. СанПиН 2.2.4.548–96 2. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 3. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 4. СНиП 23-05-95 [16] 5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 6. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 7. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 работа инженера-программиста относится к категории легких работ – А1. Категория А1 относится к работам с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч, производимых сидя и сопровождающихся незначительным физическим напряжением.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96, показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения [16].

Допустимые значения показателей микроклимата приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Допустимые значения показателей микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	23-25	22-26	60-40	0,1

ПДУ шума для объектов типа поста управления нормируются ГОСТ 12.1.003-83 и СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Значения ПДУ согласно этим документам представлены в таблице 5.3 (для постоянных шумов) [17].

Таблица 5.3 – Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами

Рабочие места	Уровни звукового давления (ДБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
ПУ	83	74	68	63	60	78	55	54	65

Экран персонального компьютера также как поверхность клавиатуры и компьютерной мыши, о которую происходит постоянное трение во время работы за компьютером, являются источником электростатического поля. Образуется электризация, в связи с чем его воздействие представляет собой протекание через человека слабого тока. Причем электрические заряды могут образовываться с различной долей интенсивности. На это влияет сила и скорость трения.

Обратим внимание на то, что существуют максимально допустимые уровни воздействия электростатического поля и электромагнитного излучения на человека. Данные показатели сведены в таблицу по параметрам воздействия, частоте излучения и допустимым значениям указанных значений (Таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Допустимые уровни напряженности электромагнитных полей [15].

Параметры воздействия, частота излучения	Максимально допустимые значения
Статическое поле	20 000 В/м
На расстоянии 50 см вокруг - диапазон частот 5Гц – 2кГц - диапазон частот 2 – 400 кГц	25 В/м 2,5 В/м

#### Окончание таблицы 5.4

Параметры воздействия, частота излучения	Максимально допустимые значения
Переменное поле на расстоянии 50 см вокруг	0,25 А/м
Магнитная индукция не более - диапазон частот 5 Гц – 2кГц - диапазон частот 2 – 400 кГц	250 нТл 25 нТл
Поверхностный электростатический потенциал не более	500

Мероприятия по устранению опасности поражения электрическим током сводятся к правильному размещению оборудования и применению технических средств защиты. К основным техническим средствам защиты от поражения электрическим током согласно ГОСТ ИЕС 61140-2012 относятся:

- изоляция токопроводящих частей;
- защитное заземление;
- зануление;
- защитное отключение;
- предупредительная сигнализация и блокировки.

Помимо этого необходимо проводить и другие обеспечивающие безопасность мероприятия в целях устранения опасности поражения электрическим током, к примеру, такие как специальное обучение, аттестация (либо переаттестация) работников предприятия, профессиональная деятельность которых связана с использованием электротехнического оборудования, периодическое и систематическое проведение соответствующего инструктажа ответственными лицами за безопасностью.

Следует отметить, что необходимо соблюдать и допустимую долю физических нагрузок на организм человека в моменты его работы за персональным компьютером. Для этого на предприятии следует использовать специальную эргономичную мебель для офиса, которая максимально учитывает нормы безопасности, а также предоставляет работникам удобство и комфорт во время работы (компьютерный стол, компьютерный стул, шкафы для бумаг и оборудования).

## 5.2 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Следует отметить, что наиболее вероятной ситуацией возникновения чрезвычайной ситуации при работе за персональным компьютером является пожароопасная ситуация либо сам пожар, характеризующий вышедший из под контроля процесс горения. Данная ситуация может принести огромный непоправимый материальный ущерб. Более того, что гораздо важнее, пожар может стать причиной нанесения ущерба здоровью человека, а также стать причиной его смерти. Поэтому, данную ситуацию ответственным на предприятии лицам необходимо держать под контролем.

При работе за персональным компьютером причинами возникновения пожароопасной ситуации, а также собственного самого пожара, могут быть одни из перечисленных ниже:

- неисправность либо непригодность к эксплуатации электрической проводки и электрического оборудования, что может вызвать короткое замыкание либо электрический пробой изоляции;
- электрические приборы, используемые во время работы за персональным компьютером, могут иметь видимые либо скрытые повреждения;
- использование электронагревательных приборов в помещении, где проходит работа за персональным компьютером;
- попадание молнии в помещение, где проходит работа;
- возможность возгорания оборудования по причине воздействия внешних источников;
- небрежное и халатное обращение с электрическими приборами;
- несоблюдение разработанных мер пожарной безопасности.

Таким образом, необходимо осуществлять профилактику возникновения пожароопасной ситуации и собственно пожара. Для этого существуют определенные на предприятии организационные и технические мероприятия. Цель данных мероприятий заключается в том, чтобы обезопасить работников от причин,

вызывающих пожар, а также от воздействия самого пожара. Мероприятия также направлены на то, чтобы создать все условия для скорого его тушения.

В первую очередь, необходимо определить категорию и класс по взрывопожарной и пожарной опасности то помещение, где проходят работы. Это очень важно сделать ввиду того, что впоследствии будут приняты соответствующие меры для профилактики пожара и его устранения. Данные категории и классы определены в СП 12.13130.2009. Свод правил, разработанный МЧС РФ, выделяет такие категории помещения: А – категория помещения повышенной взрывопожароопасности, Б – категория помещений взрывопожароопасности, В – категория помещений пожароопасности, Г – категория помещений умеренной пожароопасности, Д – категория помещений пониженной пожароопасности.

Во-вторых, в целях профилактики возникновения пожароопасной ситуации и собственно пожара необходимо определить опасные факторы, а также следует обосновать те способы, посредством которых будет производиться защита помещения от пожара.

Для обеспечения пожаробезопасности на предприятии следует проводить следующие мероприятия:

- контроль за источниками воспламенения, которыми могут быть электрическое оборудование в помещении, неисправность либо непригодность к работе электрической проводки;

- инструктаж работников ответственными за пожарную безопасность лицами.

Если пожарную безопасность обеспечить не удалось и пожар все же возник, то, прежде всего, следует осуществить отключение электрического питания и начать эвакуацию работников из помещения. При этом на каждом предприятии в обязательном порядке имеется план эвакуации, согласно которому проводятся все необходимые мероприятия. Далее до приезда пожарной команды следует проводить тушение пожара посредством углекислотных огнетушителей.

### 5.3 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Обеспечение безопасности на предприятии имеет нормативно-правовую базу, в основе которой лежит российское законодательство об охране труда.

Кроме того, состояние безопасности на предприятии контролируется со стороны определенных государственных, ведомственных и общественных структур.

Состояние условий труда на предприятии контролируется определенными службами охраны труда. Специфика их деятельности заключается в том, чтобы периодически и систематически проверять состояние условий работы для всех работников. Также они должны выявлять все отклонения от существующих норм безопасности, изложенных в российском законодательстве об охране труда, в соответствующих стандартах, сводах правил, постановлениях, определенных документах. Следует отметить, что работу служб охраны труда контролируют соответствующие подразделения и специалисты. На предприятии ответственность за безопасность возложена на его директора и главного инженера.

В компетенцию ведомственных служб входит разработка инструкций по безопасности для каждой категории работников предприятия, где учитываются специфические условия их работы. При этом после проведения инструктажа в отдельный журнал вносятся его результаты.

Выводы по разделу пять:

При разработке устройства могут возникнуть вредные и опасные факторы. К числу вредных относятся показатели микроклимата, шум, освещенность, электромагнитные излучения. На предприятии, где проходят работы, необходимо соблюдать допустимые значения показателей микроклимата, уровни звукового давления, уровни напряженности электромагнитных полей. Необходимо соблюдать и допустимую долю физических нагрузок на организм человека в моменты его работы за персональным компьютером. Для этого на предприятии

следует использовать специальную эргономичную мебель для офиса, которая максимально учитывает нормы безопасности, а также предоставляет работникам удобство и комфорт во время работы.

Наиболее вероятной ситуацией возникновения чрезвычайной ситуации при работе за персональным компьютером является пожароопасная ситуация либо сам пожар, характеризующий вышедший из-под контроля процесс горения. Необходимо осуществлять профилактику возникновения пожароопасной ситуации и собственно пожара. Для этого существуют определенные на предприятии организационные и технические мероприятия. Цель данных мероприятий заключается в том, чтобы обезопасить работников от причин, вызывающих пожар, а также от воздействия самого пожара.

Обеспечение безопасности на предприятии имеет нормативно-правовую базу, в основе которой лежит российское законодательство об охране труда. Кроме того, состояние безопасности на предприятии контролируется со стороны определенных государственных, ведомственных и общественных структур.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате выполненной работы проведен анализ динамических свойств грузоподъемных электромеханических систем с учетом массы длинных упругих канатов и без ее учета. Для этого получена модель длинного упругого каната, которая описывается уравнениями в матричной форме.

Установлено, что канат может быть представлен двумерным линейным звеном, входами которого являются удлинения концов каната, а выходами – приращения сил натяжения на этих концах. Также построены структурные схемы ЭМС для случаев невесомого и длинного упругих канатов. Оценка влияния учета массы каната основана на анализе переходных процессов в грузоподъемной системе. В результате анализа сделан вывод, что система с тяжелым (длинным) канатом обладает меньшим быстродействием по сравнению с системой, где канат той же длины считается невесомым. Можно заметить также, что быстродействие системы с тяжелым канатом уменьшается с увеличением его длины. При этом колебания в системе при учете массы каната имеют более низкую частоту.

Результаты компьютерного моделирования ЭМС с учетом массы длинного упругого каната явились экспериментальным подтверждением аналитического обзора.

В данной работе были рассмотрены организационно-экономические вопросы, направленные на выяснение бюджета и срока проведения работ, а также вопросы безопасности жизнедеятельности. Результаты данной работы отвечают поставленным цели и задачам.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Александров, М. П. Грузоподъемные машины: учебник для вузов / М. П. Александров. – М.: Высшая школа, 2000. – 552 с.
- 2 Алпатов, Ю.Н. Математическое моделирование производственных процессов: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2018. – 136 с.
- 3 Анучин, А.С. Системы управления электроприводов: учебник для вузов / А.С. Анучин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 373 с.
- 4 Бейнарович, В.А. Представление длинных упругих канатов в системах автоматического регулирования / В. А. Бейнарович, А.Г. Бородин, А.Д. Кожуховский, С.А.Копанез, Л.С. Удут // Известия Томского политехнического института. – 2015. – Т. 285. – С. 100-104.
- 5 Головач, И.В. Математическая модель однобарабанной подъемной установки для производства гидропонной продукции / И. В. Головач, Г. М. Калетник, И. Е. Кравченко // Сборник научных трудов Винницкого национального аграрного университета. – 2011. – № 9. – С. 151-155.
- 6 Горбатюк, С.М. Инжиниринг грузоподъемных машин и устройств: учебник / С.М. Горбатюк, С.А. Иванов, Н.Л. Кириллова. – М.: Изд. дом МИСИС, 2017. – 279 с.
- 7 ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования – <http://docs.cntd.ru/document/1200003913> [дата обращения – 25.03.2019]
- 8 ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Изменением N 1) – <http://docs.cntd.ru/document/5200224> [дата обращения – 26.03.2019]
- 9 ГОСТ 12.1.003-2014 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности – <http://docs.cntd.ru/document/1200118606> [дата обращения – 01.04.2019]

10 ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты – <http://docs.cntd.ru/document/1200080203> [дата обращения – 16.04.2019]

11 Кувшинов, Г.Е. Влияние морского ветрового волнения на глубоководный привязной объект: монография / Г.Е. Кувшинов, Л.А. Наумов, К.В. Чупина. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – 215 с.

12 Кувшинов, Г.Е. Системы управления глубиной погружения буксируемых объектов: монография / Г.Е. Кувшинов, Л.А. Наумов, К.В. Чупина. – Владивосток: Дальнаука, 2005. – 285 с.

13 Методические рекомендации по подготовке и оформлению выпускной квалификационной работы (проекта) для технических направлений подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника, 09.03.04 Программная инженерия, 12.03.01 Приборостроение, 23.03.01 Технология транспортных процессов / сост. Л.Н.Буйлушкина. – Нижневартовск, 2017. – 35 с.

14 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий – <https://brgp.ru/FAQ/docs/sanpin> [дата обращения – 20.04.2019]

15 СанПиН 2.2.2/2.4.1340 - 03 Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы. Гигиенические требования к персональным электронно – вычислительным машинам и организации работы – <http://docs.cntd.ru/document/901865498> [дата обращения – 28.03.2019]

16 СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений – <http://docs.cntd.ru/document/901704046> [дата обращения – 09.04.2019]

17 СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки. Санитарные нормы – <http://docs.cntd.ru/document/901703278> [дата обращения – 27.03.2019]

18 СНиП 23-05-95\* Естественное и искусственное освещение (с изменением N 1) – <http://docs.cntd.ru/document/871001026> [дата обращения – 10.04.2019]

19 Терехов, В.М. Учет упругости длинных канатов в динамике электропривода подъемников / В.М. Терехов // Электричество. – 1966. – № 3. – С. 60-65.

20 Тургенев, Д.В. Анализ трехмассовой механической системы для безредукторного привода лифтовой лебедки / Д.В. Тургенев // Электротехнические комплексы и системы управления: журнал. – 2012. – № 1(25). – С. 59 – 63.

21 Уалиев, Г. Некоторые методы построения динамических моделей многомассовых механических систем с упругими звеньями / Г. Уалиев, З. Г. Уалиев, И. М. Уалиева // Известия кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2015. – Т.36. – С. 106-113.

22 Уменьшение динамических нагрузок в канатах барабанных подъемников/ Т. Н. Осипова, А. П. Нестеров // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 68. – С. 17-22.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### ПРИЛОЖЕНИЕ А. КОМПАКТ-ДИСК

1. Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе
2. Альбом иллюстраций