

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и подготовки  
 Направление подготовки – 15.04.06 Мехатроника и робототехника  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Исследование системы обезвешивания с функцией переподхвата</b>

УДК 004.94:624.071.2

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ11	Майтаева Долсона Валерьяновна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой – руководитель отделения на правах кафедры ОАР ИШИТР	Филипас А.А.	К.Т.Н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОАР ИШИТР	Беляев А.С.	–		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Т.В.	канд. экон. наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федорчук Ю.М.	д-р техн. наук, профессор		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой – руководитель отделения на правах кафедры ОАР ИШИТР	Филипас А.А.,	К.Т.Н., доцент		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий.
<b>УК(У)-2</b>	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла.
<b>УК(У)-3</b>	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели.
<b>УК(У)-4</b>	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(-ых) языке(-ах), для академического и профессионального взаимодействия.
<b>УК(У)-6</b>	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия.
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен применять естественнонаучные и общепрофессиональные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности.
<b>ОПК(У)-2</b>	Способен применять основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации в области машиностроения.
<b>ОПК(У)-3</b>	Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного уровня.
<b>ОПК(У)-4</b>	Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при моделировании технологических процессов.
<b>ОПК(У)-5</b>	Способен разрабатывать нормативно-техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью с учетом стандартов, норм и правил.
<b>ОПК(У)-6</b>	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий.
<b>ОПК(У)-7</b>	Способен разрабатывать современные экологичные и безопасные методы рационального использования сырьевых и энергетических ресурсов в машиностроении.
<b>ОПК(У)-8</b>	Способен оптимизировать затраты на обеспечение деятельности производственных подразделений.
<b>ОПК(У)-9</b>	Способен разрабатывать и осваивать новое технологическое оборудование.
<b>ОПК(У)-10</b>	Способен разрабатывать методики контроля и обеспечения производственной и экологической безопасности на рабочих местах.
<b>ОПК(У)-11</b>	Способен организовывать разработку и применение алгоритмов и современных цифровых программных методов расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматизации, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием, разрабатывать цифровые алгоритмы и программы управления робототехнических систем.
<b>ОПК(У)-12</b>	Способен организовывать монтаж, наладку, настройку и сдачу в

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
	эксплуатацию опытных образцов мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных модулей.
<b>ОПК(У)-13</b>	Способен использовать основные положения, законы и методы естественных наук и математики при формировании моделей и методов исследования мехатронных и робототехнических систем.
<b>ОПК(У)-14</b>	Способен организовывать и осуществлять профессиональную подготовку по образовательным программам в области машиностроения.
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способен обрабатывать и анализировать научно-техническую информацию, планировать и проводить эксперименты и оформлять результаты исследований и разработок.
<b>ПК(У)-2</b>	Готов к оформлению элементов документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов работ.
<b>ПК(У)-3</b>	Способен к разработке рабочей проектно-конструкторской и эксплуатационной документации РТС в соответствии с требованиями нормативной документации.
<b>ПК(У)-4</b>	Готов разработать программное обеспечение изделий РТС робототехники.



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники

Направление подготовки – 15.04.06 Мехатроника и робототехника

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)                      \_\_\_\_\_ (Дата)                      Филипас А.А.  
(Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
8ЕМ11	Майтаева Долсона Валерьяновна

Тема работы:

Исследование системы обезвешивания с функцией переподхвата	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 38-110/с от 07.02.2023

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2023
--	------------

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования – Система обезвешивания с функцией переподхвата Разрабатываемая модель должна имитировать процесс обезвешивания и переподхвата, осуществлять управление движением обезвешиваемого элемента по координатам. Вес обезвешиваемого объекта: 1 кг. Размер рабочей зоны: 4м × 4м × 2м</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разработка имитационной модели системы обезвешивания с функцией переподхвата.</li> <li>2. Синтез системы управления системы обезвешивания с функцией переподхвата.</li> <li>3. Исследование системы в 5 режимах работы:             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Перемещение объекта из одной точки в заданную точку;</li> <li>b. Перемещение объекта обезвешивания по окружности;</li> <li>c. Перемещение объекта обезвешивания по окружности с возмущением;</li> <li>d. Перемещение объекта обезвешивания по окружности с возмущением и задержкой;</li> <li>e. Перемещение объекта по кругу в пространстве.</li> </ol> </li> </ol>

	4. Исследование переподхвата в следующих режимах работы: а. Статический режим работы; б. Движение по линейной траектории; в. Движение по траектории «восьмерка».
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Кинематическая схема системы 2. Структурная схема системы 3. Графики переходных процессов 4. Графики изменения положения объекта 5. Графики изменения усилий
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП Былкова Татьяна Васильева
Социальная ответственность	Профессор ООД ШБИП Федорчук Юрий Митрофанович
Раздел на иностранном языке	Доцент ОИЯ ШБИП Диденко Анастасия Владимировна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Теоретический обзор	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	07.02.2023
---	------------

**Задание выдал руководитель и консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой – руководитель отделения на правах кафедры ОАР ИШИТР	Филипас А.А.	К.Т.Н., доцент		07.02.2023
Старший преподаватель ОАР ИШИТР	Беляев А.С.	–		07.02.2023

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ11	Майтаева Долсона Валерьяновна		07.02.2023



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки – 15.04.06 Мехатроника и робототехника  
Уровень образования – Магистратура  
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники  
Период выполнения – Весенний семестр 2022/2023 учебного года

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
8ЕМ11	Майтаева Долсона Валерьяновна

Тема работы:

Исследование системы обезвешивания с функцией переподхвата
--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.05.2023	<i>Основная часть ВКР</i>	60
30.05.2023	<i>Раздел «Социальная ответственность»</i>	20
30.05.2023	<i>Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</i>	20

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой – руководитель отделения на правах кафедры ОАР ИШИТР	Филипас А.А.	К.Т.Н., доцент		08.02.2023

**Консультант**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОАР ИШИТР	Беляев А.С.	–		08.02.2023

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой – руководитель отделения на правах кафедры ОАР ИШИТР	Филипас А.А.	К.Т.Н., доцент		08.02.2023

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 116 с., 75 рис., 25 табл., 28 источников, 1 прил.

Ключевые слова: система обезвешивания, активные системы обезвешивания, системы с переподхватом, имитационное моделирование, MATLAB.

Цель работы – исследование системы обезвешивания с функцией переподхвата.

В процессе исследования был осуществлен обзор методов и систем обезвешивания, патентов. Составлена структурная схема системы. Разработана модель системы обезвешивания с функцией переподхвата и проведено исследование полученных результатов.

В результате исследования разработана имитационная модель системы обезвешивания с переподхватом.

В будущем планируется реализация разработанной системы обезвешивания в жизни.

## **Определения, сокращения**

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Система обезвешивания — это механизм для уменьшения или полного устранения влияния веса объекта на его движение или положение.

СО – система обезвешивания.

ОО – объект обезвешивания.

ДПТ – двигатель постоянного тока.

## Содержание

Введение.....	10
1 Теоретический обзор .....	11
1.1 Обзор методов обезвешивания .....	11
1.2 Обзор тросовых систем обезвешивания .....	14
1.3 Патентный обзор тросовых систем обезвешивания.....	18
2 Разработка имитационной модели системы обезвешивания с функцией переподхвата в среде MATLAB Simulink.....	23
2.1 Исследуемая тросовая СО .....	25
2.2 Имитационная модель тросовой системы .....	28
2.3 Синтез системы управления .....	35
2.4 Исследование имитационной модели тросовой системы.....	36
3 Исследование имитационной модели системы с переподхватом.....	55
Заключение .....	70
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	72
4.1 Предпроектный анализ.....	72
4.2. Инициация проекта.....	77
4.3. Планирование управления научно-техническим проектом .....	78
4.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	81
5 Социальная ответственность .....	86
5.1 Производственная безопасность .....	86
5.1.1 Вредные факторы.....	86
5.2 Экологическая безопасность .....	99
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	99
Список литературы .....	102
Приложение А .....	105

## **Введение**

В современном мире, где технологии развиваются с беспрецедентной скоростью, поиск инновационных решений для повышения эффективности производственных и исследовательских процессов остается важнейшей задачей. Одной из таких технологий, которая привлекает все больше внимания, являются системы обезвешивания.

Системы обезвешивания используются в широком спектре приложений, от космической и авиационной отраслей до медицины и спорта. Они позволяют имитировать состояние невесомости или снижать вес тела или объекта, что существенно расширяет возможности для тренировок, реабилитации, исследований и тестирования.

Несмотря на широкое распространение и значительные преимущества систем обезвешивания, разработка эффективных и надежных систем является сложной задачей, которая требует глубокого понимания механики, динамики и контроля. К тому же, каждая задача может предъявлять уникальные требования к системе обезвешивания, что требует индивидуального подхода к проектированию и реализации.

**Целью данной работы** является исследование системы обезвешивания с функцией переподхвата.

**Объектом исследования** в данной работе является система обезвешивания с функцией переподхвата.

**Предметом исследования** является разработка и исследование имитационной модели системы обезвешивания, функционирующей в режиме переподхвата в среде Matlab Simulink, а также синтез систем управления и анализ режимов работы системы.

Системы обезвешивания используются во многих отраслях. Различные компании и научно-исследовательские учреждения занимаются разработкой и исследованием в этой области. Таким образом, **результаты данной ВКР имеют практическую значимость.**

# 1 Теоретический обзор

## 1.1 Обзор методов обезвешивания

Система обезвешивания (СО) – это механизм, который используется для уменьшения или полного устранения влияния веса объекта на его движение или положение. Это достигается за счет применения силы, равной и противоположной весу объекта.

Системы обезвешивания остаются актуальными и важными во многих областях науки и техники. Вот некоторые из них:

**Промышленность:** Системы обезвешивания в промышленности могут существенно увеличить эффективность и безопасность рабочих процессов. В процессе строительной 3D-печати необходимо перемещать тяжелые грузы, такие как экструзионные головки и материалы для печати. Системы обезвешивания могут облегчить этот процесс, уменьшив нагрузку на оборудование и повысив его точность. Это особенно важно при печати больших структур, где точность распределения материала критична. А также системы обезвешивания представляют собой ключевую технологию в автоматических грузоподъемных роботах, которые используются для подъема и перемещения грузов. Системы обезвешивания используются для компенсации веса груза, что позволяет роботу эффективнее использовать свою энергию для перемещения груза, а не для его поддержания. Это дает возможность использовать роботы меньшей мощности для перемещения более тяжелых грузов, чем это было бы возможно без системы обезвешивания.

**Медицина:** В медицинских приложениях, таких как реабилитация и физиотерапия, системы обезвешивания могут помочь пациентам восстанавливаться после травм или операций, облегчая выполнение упражнений и уменьшая нагрузку на поврежденные или ослабленные мышцы. Системы обезвешивания в медицине являются важным инструментом для обеспечения безопасности и комфорта пожилых пациентов. Они используются для поддержки и подъема пациентов, которые имеют

ограниченную подвижность или ослабленную мышечную силу.

**Аэрокосмическая отрасль:** Системы обезвешивания используются для имитации условий микрогравитации для обучения астронавтов или тестирования оборудования. Это позволяет подготовиться к условиям в космосе, где влияние гравитации существенно меньше, чем на Земле.

**Научные исследования:** Системы обезвешивания также используются в научных исследованиях, например, при изучении поведения материалов или биологических систем в условиях микрогравитации.

Системы обезвешивания могут быть классифицированы по различным параметрам, включая принцип работы, тип используемой силы, конфигурацию и область применения. Вот некоторые из этих классификаций:

**По принципу работы:**

- Системы с противовесами. Используют механический противовес для балансировки веса объекта.
- Системы с эластичными элементами. Используют пружины или другие эластичные элементы для создания силы, противоположной весу объекта.
- Системы с приводами. Используют электрические, гидравлические или пневматические приводы для создания силы обезвешивания.

**По типу используемой силы:**

- Механические СО. Используют механическую силу, такую как вес противовеса или сила пружины.
- Электромеханические СО. Используют электромоторы и механизмы передачи силы.
- Гидравлические и пневматические СО. Используют силу жидкости или газа под давлением.

**По области применения:**

- Промышленные СО. Используются в промышленных

приложениях, таких как роботы и краны.

- Медицинские СО. Используются в медицинских приложениях, таких как реабилитационное оборудование.
- Аэрокосмические СО. Используются для тренировки астронавтов и тестирования оборудования в условиях микрогравитации.
- Научные СО. Используются для проведения научных исследований.

**По типу обезвешивания:**

▪ Пассивные системы обезвешивания работают без внешней энергии и обычно используют механические устройства, такие как пружины или газовые пружины, для компенсации веса. Они просты в установке и эксплуатации, но могут быть менее гибкими в отношении регулирования и адаптации к изменяющимся условиям.

▪ Активные системы обезвешивания используют источник внешней энергии, такой как электричество или гидравлика, для работы. Они могут обеспечивать большую гибкость и точность, но обычно сложнее в установке и требуют больше обслуживания.

• Пассивно-активные системы обезвешивания комбинируют элементы обоих типов. Они могут использовать пассивные элементы для обеспечения основной обезвешивающей силы и активные элементы для точной регулировки или адаптации к изменяющимся условиям. Эти системы могут предложить лучшее сочетание гибкости, точности и надежности [2].

В соответствии с **механизмом работы**, системы обезвешивания часто делятся на тросовые и опорные.

Тросовые СО обычно используют комплект тросов, подключенных к нагрузке и балансировочному устройству, чтобы компенсировать вес нагрузки. Такие системы могут быть очень эффективными и позволяют поддерживать нагрузку в состоянии невесомости на протяжении большого диапазона перемещений.

Опорные СО обычно используют некоторую форму механической опоры, такой как пружины, пневматические или гидравлические устройства, чтобы поддерживать нагрузку. Эти системы могут быть более простыми в конструкции и использовании, но их диапазон действия может быть ограничен.

Тросовые СО имеют несколько преимуществ по сравнению с опорными системами:

**Плавность и точность:** Тросовые СО могут предоставлять более плавное и точное управление нагрузкой по сравнению с опорными системами, особенно на больших расстояниях.

**Большой радиус действия:** Тросовые системы обычно предлагают большой радиус действия и большую гибкость в отношении перемещения нагрузки по сравнению с опорными системами. Это может быть особенно полезно в промышленных и складских приложениях, где нагрузка может быть необходимо перемещать на большие расстояния или через препятствия.

**Масштабируемость:** Тросовые системы легко масштабировать для работы с большими или тяжелыми нагрузками. Они также могут быть адаптированы для работы в больших пространствах или в условиях, где установка опорной системы может быть сложной или невозможной.

**Меньший вес и объем:** Тросовые системы обычно легче и занимают меньше места, чем опорные системы, что может быть важно в условиях ограниченного пространства или весовых ограничений.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что системы обезвешивания играют важную роль во многих областях и продолжают быть актуальными и важными для научных исследований и промышленного применения [1].

## 1.2 Обзор тросовых систем обезвешивания

Системы обезвешивания тросового типа — это системы, которые используют тросы (или кабели) в сочетании с блоками, роликами или

барабанами и некоторым видом привода (механического, электрического или гидравлического) для создания силы, противоположной весу объекта.

Тросовые системы обезвешивания имеют ряд преимуществ, которые делают их пригодными для широкого спектра применений:

1. **Большой диапазон действия.** Тросовые системы могут поддерживать нагрузку в состоянии невесомости на большом расстоянии, что делает их идеальными для задач, где требуется перемещение на большие расстояния.

2. **Гибкость.** Тросовые системы могут быть настроены для работы в различных условиях и областях применения. Они могут быть адаптированы для работы с различными типами нагрузки и в различных окружающих условиях.

3. **Точность.** Тросовые системы обезвешивания могут обеспечивать высокую точность перемещения и позиционирования, что делает их подходящими для задач, где требуется точное управление нагрузкой.

4. **Надежность.** Тросовые системы обычно имеют простую, но надежную конструкцию, которая может выдерживать тяжелые нагрузки и продолжительную работу.

5. **Минимизация нагрузки на оператора.** В ситуациях, где система обезвешивания используется для помощи оператору (например, в реабилитации или при работе с тяжелыми грузами), тросовые системы могут значительно уменьшить физическую нагрузку на оператора, облегчая выполнение задач [3].

Тросовые системы обезвешивания используются в различных областях, и существует множество реальных проектов, в которых они играют ключевую роль. Вот несколько примеров:

- **Краны и подъемники.** Почти все промышленные краны и подъемники используют тросовые системы обезвешивания, обычно в сочетании с противовесами или гидравлическими системами, для безопасного и эффективного перемещения тяжелых грузов.



Рисунок 1.2.1 – Промышленный подъемник

- Роботы-манипуляторы: В некоторых роботизированных системах, особенно в тех, которые предназначены для работы с тяжелыми объектами, используются тросовые системы обезвешивания. Один из примеров - проект RoboCrane от американского Национального института стандартов и технологий (NIST), который использует тросовую систему для обеспечения высокой степени мобильности и гибкости в манипуляции грузами [26].



Рисунок 1.2.2 – Проект RoboCrane

- Тренажеры для астронавтов: НАСА и другие космические агентства используют тросовые системы обезвешивания в тренажерах для имитации условий микрогравитации и тренировки астронавтов [27].



Рисунок 1.2.3 – Тренажер для космонавтов

- Реабилитационное оборудование: В медицинских приложениях, таких как реабилитация после травм или операций, тросовые системы обезвешивания могут использоваться для облегчения движений пациентов и уменьшения нагрузки на поврежденные или ослабленные мышцы. Например, проект Lokomat использует тросовую систему обезвешивания для помощи пациентам в восстановлении способности ходить [28].



Рисунок 1.2.4 – Реабилитационное оборудование

- Системы виртуальной реальности: Некоторые системы виртуальной реальности, такие как проект "SkyRunner" от компании Disney

Research, используют тросовые системы обезвешивания для создания более реалистичного и увлекательного опыта для пользователей, позволяя им свободно двигаться и взаимодействовать с виртуальной средой.

### 1.3 Патентный обзор тросовых систем обезвешивания

Далее рассмотрим существующие патенты данного типа обезвешивания в мире, применяемые в медицине для реабилитации пациентов. Патент WO 2014/153088 A1 представляет собой устройство, состоящее из рамы, пар передних и задних шкивов, двух тросов. Рама выполнена таким образом, что можно ее прикрепить либо поставить рядом с тренажером, и имеет переднюю и заднюю части (рисунок 1.3.1). Тросы имеют возможность соединения с человеком для некоторой разгрузки веса во время выполнения упражнений [4].

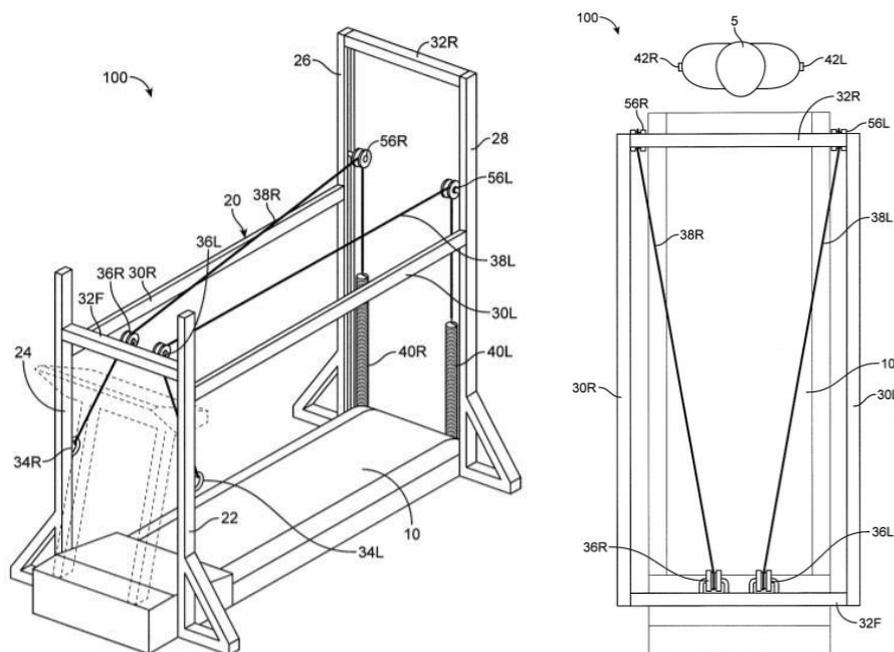


Рисунок 1.3.1 – Опорная рама и система обезвешивания

Патент US 10406059 B2 зарегистрирован в 2011 году. Система обезвешивания может перемещаться как трамвай и подстраивается под движения объекта. Так как система установлена над головой, можно практиковать ходьбу по неровной местности и лестницам, а также использовать средства ходьбы, такие как ходунки или трости [5].

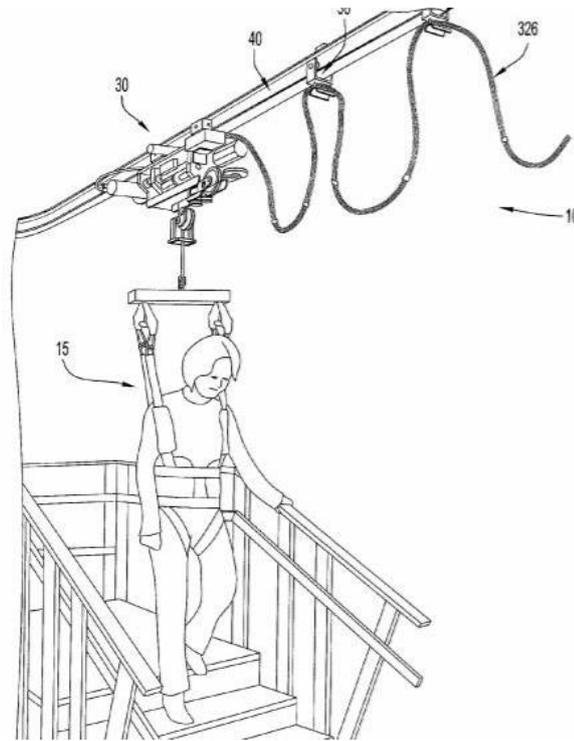


Рисунок 1.3.2 – Система обезвешивания

Патент US9987188 В1 был зарегистрирован в 2018 году. Система обезвешивания имеет жилет безопасности, соединенный с множеством тросов, для каждого из которых есть свой исполнительный механизм. Также присутствует датчик натяжения троса, акселерометр и контроллер для управления множеством исполнительных механизмов [6].

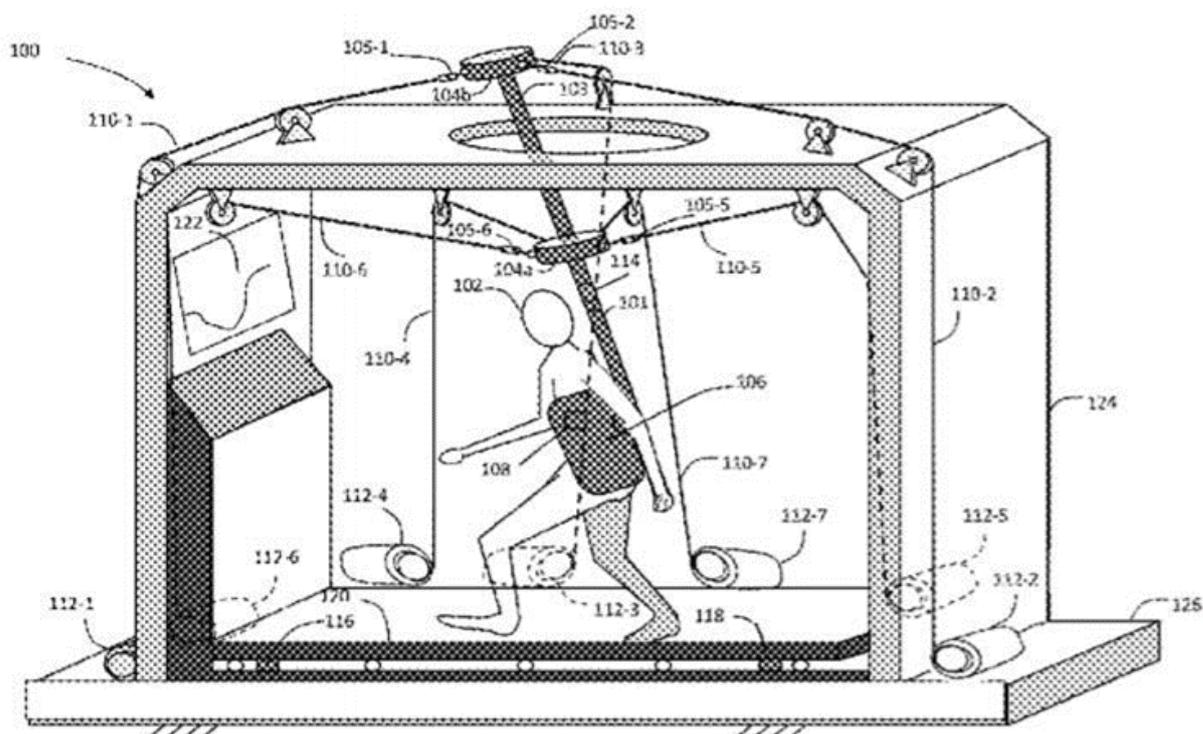


Рисунок 1.3.3 – Система обезвешивания

Следующий Патент US 10406059 B2 был зарегистрирован в 2019 году. Приводимые в действие тросами, системы для терапии походки могут прикладывать контролируемые усилия, в соответствующих вариантах осуществления, к тазу и ягодицам, колену и лодыжке. После чего активируются исполнительные механизмы, управляющие кабелями, обеспечивающие опорные и изгибающие моменты конечностей с низкой инерцией и сопротивлением трению [8].

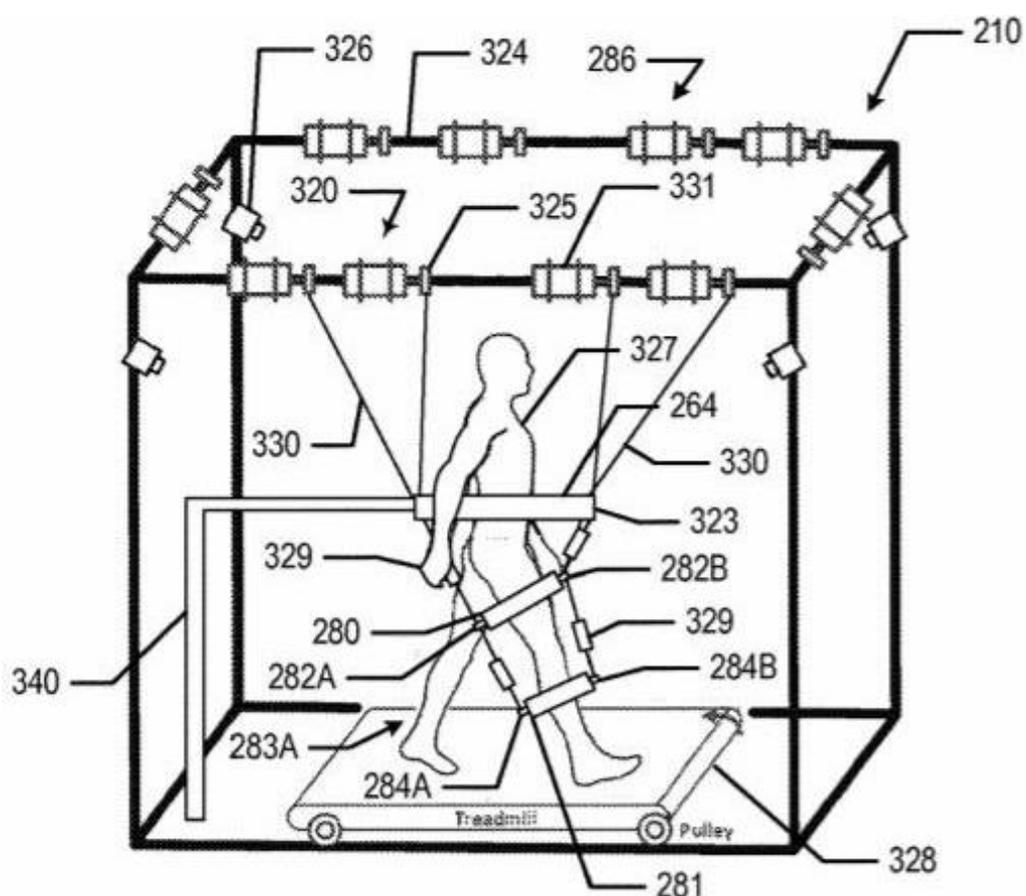


Рисунок 1.3.4 – Система обезвешивания.

Сравнительная таблица патентов представлена ниже. Основными параметрами для сравнения были выбраны: тип обезвешивания, количество приводов, сложность конструкции, простота введения в эксплуатацию

Таблица 1.3.1 – Сравнение патентов

Параметр	Патент 1	Патент 4	Патент 3	Патент 2
Тип обезвешивания	пассивный	активный	активный	активный
Количество приводов	0	10	7	2
Сложность конструкции	-	+	+	-
Простота введения в эксплуатацию	+	-	-	-

В результате анализа было выявлено, что чаще всего

разрабатываются системы активного обезвешивания, нежели пассивного. Так как данному типу обезвешивания характерно Большая гибкость и адаптивность, высокая точность, большой диапазон сил. Оптимальное количество приводов в системе – 4-6. Так как из-за большого количества приводов усложняется разработка аппаратного обеспечения, системы управления и синтеза алгоритмов. Кроме того, при использовании меньшего количества механических элементов, повышается надежность, а простота конструкции позволяет быстро изготовить изделие и ввести в эксплуатацию. Следовательно, для того чтобы разрабатываемая система являлась конкурентоспособной, она должна иметь данные преимущества.

Однако нет технического решения обезвешивания и перемещения объекта на большие расстояния, в помещениях с препятствиями или в помещениях с разными рабочими зонами, где система работает не только внутри одной своей зоны, а, взаимодействуя с другими системами обезвешивания. Данную задачу решает специфический вид систем – системы обезвешивания с переподхватом, поскольку позволяют переподхватывать нагрузку в разных точках. СО с переподхватом обычно состоит из двух или более модулей обезвешивания. Когда нагрузка перемещается, один модуль "передает" ее другому. Это позволяет системе обезвешивания поддерживать нагрузку в состоянии невесомости на протяжении всего пути перемещения, независимо от его сложности или длины.

Они могут быть особенно полезны в ситуациях, где требуется высокая точность перемещения или минимизация нагрузки на оператора или оборудование. Таким образом, в данной работе был выбран тросовый тип обезвешивания с функцией переподхвата.

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ  
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Обучающемуся:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ЕМ11	Майтаевой Долсоне Валерьяновне

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОАР</b>
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	15.04.06 Мехатроника и робототехника

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость ресурсов определялась по средней рыночной стоимости, в соответствии с тарифами на рынке труда для сотрудников проекта.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Тариф на электроэнергию 3.5 руб. за кВт/ч. 30% районный коэффициент
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	30% отчисления во внебюджетные фонды

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Провести предпроектный анализ
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Разработать план управления НТИ
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Рассчитать сравнительную эффективность исследования

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Оценочная карта 2. Матрица SWOT 3. Бланк оценки степени готовности научного проекта 4. Потенциальные заинтересованные стороны проекта 5. Цель и результаты проекта 6. Рабочая группа проекта 7. Календарный план проекта 8. Группировка затрат по статьям 9. Сырье, материалы 10. Специальное ПО 11. Баланс рабочего времени 12. Расчет основной заработной платы исполнителей для первого исполнения 13. Расчет основной заработной платы исполнителей для второго и третьего исполнения 14. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта 15. Сравнительная эффективность разработки

<b>Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком</b>	07.02.2023
--	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент (ОСГН, ШБИП)	Былкова Татьяна Васильевна	канд. экон. наук		07.02.2023

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8ЕМ11	Майтаева Долсона Валерьяновна		07.02.2023

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 4.1 Предпроектный анализ

**Потенциальные потребители результатов исследования.** Системы обезвешивания применяются в космической отрасли для компенсации силы тяжести, действующей на устройства, конструкции, механизмы, и позволяют имитировать условия невесомости на Земле для проверки работоспособности механизмов. Разрабатываемое ПО в магистерской диссертации применяется для проверки работы таких систем перед их реализацией в железе. Потребителем является оборонная промышленность: предприятия, занимающиеся разработками для космоса, а именно, спутниковыми системами.

**Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.** Так как разработка является военной, в открытом доступе найти аналогичные модели для просмотра и оценки их характеристик не является возможным. Основным фундаментом разработки модели является среда, в которой она создается. Поэтому в оценочной карте сравниваются среды для создания имитационных моделей. Первым конкурентом  $k_1$  является среда GNU Octave, вторым конкурентом  $k_2$  является Scilab.

Таблица 4.1.1 – Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентноспособность		
		$B_{\phi}$	$B_{k1}$	$B_{k2}$	$K_{\phi}$	$K_{k1}$	$K_{k2}$
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Возможности среды	0,3	5	4	3,5	1,5	1,2	1,05
2. Потребность в ресурсах памяти	0,2	3	5	5	0,6	1	1
3. Простота эксплуатации	0,2	4	5	5	0,8	1	1
4. Качество интеллектуального интерфейса	0,3	5	4	3,5	1,5	1,2	1,05
<b>Итого</b>	1	17	18	17	4,4	4,4	4,1

Среда GNU Octave не обладает всеми функциональными возможностями, которые есть в MATLAB, и поэтому приходится писать модули самостоятельно, что является большим недостатком. Библиотека и инструментарий Octave ограничены. К недостаткам программы Scilab можно отнести отсутствие визуального представления, также он применяет в основном численные методы вычислений, что может влиять на точность.

Среда Matlab имеет больше возможностей и демонстрирует более точную и качественную работу, чем у конкурентов. По таблице 4.1.1 использование данной среды для создания модели является конкурентным техническим решением с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

**SWOT-анализ.** Представим в таблице 4.1.2 результаты SWOT-анализа.

Таблица 4.1.2 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны:</p> <p>С1. Точные расчеты динамики и кинематики системы</p> <p>С2. Универсальность и гибкость модели системы</p> <p>С3. Возможность визуализации моделирования процесса и реализации в реальности</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Занимает большое количество времени для расчета результата</p> <p>Сл2. Время переходных процессов модели недостаточно быстрое</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Заинтересованность государства в</p>	<p>Заинтересованность государства будет способствовать повышению</p>	<p>Заинтересованность государства, увеличение спроса будет стимулировать</p>

<p>использовании данных моделей В2. Увеличение спроса на предварительное моделирование техпроцессов. Потребность в специалистах, умеющих работать с данными системами.</p>	<p>финансирования проекта, что приведет к улучшению качеств и расширению технических возможностей системы. Увеличение спроса будет способствовать появлению конкурентов, что мотивирует к улучшению и модернизации технических характеристик модели.</p>	<p>повышение конкурентоспособности, что скажется положительно на качество работы модели, а именно быстродействие системы. Государственное финансирование решит вопрос недостатка технических возможностей, необходимых для реализации проекта, например, новый мощный персональный компьютер.</p>
<p>Угрозы: У1. Нестабильная экономическая ситуация в стране У2. Закрытие кафедры университета</p>	<p>Возможность предварительного моделирования работы системы компенсации веса поспособствует экономии бюджета, так как вероятность появления ошибок минимальна. Таким образом нестабильная</p>	<p>Закрытие кафедры приведет к завершению реализации системы. Нестабильная экономическая ситуация в стране может привести к санкциям и ограничениям использования программной среды, в</p>

	экономическая ситуация в стране не сильно скажется на финансировании проекта.	которой разрабатывается модель.
--	---	---------------------------------

**Оценка готовности проекта к коммерциализации.** Оценим степень готовности научной разработки к коммерциализации по пятибалльной шкале.

Таблица 4.1.3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для предоставления на рынок	3	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	4
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4

10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	3
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	4
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	3	4
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	<b>42</b>	<b>56</b>

Оценка готовности проекта составляет  $B_{\text{сумм}} = 42$ , таким образом перспективность средняя.

Для дальнейшего улучшения разработки необходимо более качественно проработать механизм реализации научного проекта, улучшить компетенции разработчику и решить вопросы финансирования.

**Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.** Выделим следующие методы коммерциализации научной разработки:

1. Торговля патентными лицензиями;
2. Передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.

Для продвижения разработки системы обезвешивания подходящими будут методы передачи интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия и торговля патентными лицензиями, так как компании,

разрабатывающие устройства и механизмы для космической отрасли, располагаются в разных уголках страны, а перемещаться в каждый город затруднительно и затратно.

Организация собственного или совместного предприятия и франчайзинг не подходят для разработки, потому что для создания космической компании нужно быть государственной военной организацией. А данное решение имеет множество трудностей на пути реализации.

## 4.2. Инициация проекта

Устав научного проекта магистерской работы имеет следующую структуру:

### 1. Цели и результат проекта.

Таблица 4.2.1 – Потенциальные заинтересованные стороны проекта

Потенциальные заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
«Роскосмос»	Компании ожидают модель системы обезвешивания с переподхватом, позволяющую качественно имитировать условия космоса для проверки работы собственных разрабатываемых устройств.
«АО ИСС Решетнева»	
«Хевел»	

В таблице 4.2.2 представлена иерархия целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 4.2.2 – Цель и результаты проекта

Цель проекта:	Исследование системы обезвешивания с функцией переподхвата
Ожидаемые результаты проекта:	Разработка и исследование имитационной модели системы обезвешивания, функционирующих в режиме переподхвата в среде Matlab Simulink. Синтез системы управления и анализ режимов работы системы.

## 2. Организационная структура проекта.

Таблица 4.2.3 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-Емкость, раб.дни
1	Беляев Александр Сергеевич, ТПУ, старший преподаватель	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта.	22
2	Майтаева Долсона Валерьяновна, студент	Исполнитель	Специалист, выполняющий работы по проекту.	84

### 4.3. Планирование управления научно-техническим проектом

**План проекта.** Представим календарный план проекта в таблице 4.3.2 и график в таблице 4.3.3.

Таблица 4.3.2 –Календарный план проекта

Название	Длительность	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Определение требований и параметров разрабатываемой модели системы обезвешивания	5 дней	9.01.2023	13.01.2023	Руководитель проекта, исполнитель
Разработка имитационной модели системы обезвешивания	20дней	16.01.2023	10.02.2023	Исполнитель

Исследование имитационной модели системы обезвешивания	10 дней	13.02.2023	28.02.2023	Исполнитель
Синтез системы управления	32 дня	1.03.2023	14.04.2023	Исполнитель
Анализ режимов работы системы	17 дней	17.04.2023	12.05.2023	Руководитель проекта, Исполнитель

Таблица 4.3.3 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Этап	Тк	Продолжительность выполнения работ												
		Январь		Февраль			Март			Апрель			Май	
		2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
Определение требований и параметров разрабатываемой модели системы обезвешивания	5 дней	■												
Разработка имитационной модели системы обезвешивания	20 дней		■	■	■									
Исследование имитационной модели системы обезвешивания	10 дней				■	■								
Синтез системы управления	32 дня						■	■	■	■	■			
Анализ режимов работы системы	17 дней											■	■	■
	Научный руководитель													
	Студент													

**Бюджет научного исследования.** В таблице 4.3.4 представим результат расчета затрат для двух вариантов исполнения нашего проекта.

Таблица 4.3.4 – Группировка затрат по статьям, руб.

Варианты исполнения	Сырье, материалы	Специальное ПО	Основная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итоговая плановая стоимость
1.	5262	24000	203000	60900	287902
2.		24000	231041	69312	324353

Таблица 4.3.5 – Сырье, материалы

Наименование	Стоимость, руб
Электроэнергия	1512
Интернет	3750
Итого:	5262

Таблица 4.3.6 – Специальное ПО

Наименование	Стоимость, руб
Лицензия Matlab (исполнение 1)	Лицензия ТПУ
Лицензия GNU Octave (исполнение 2)	Бесплатная программа
Лицензия Scilab (исполнение 3)	Бесплатная программа
Windows	24000

Таблица 4.3.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	118	118
Потери рабочего времени	48	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	223

Таблица 4.3.8 – Расчет основной заработной платы исполнителей для первого исполнения

№ п/п	Исполнители	З <sub>б</sub> , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	З <sub>м</sub> , руб.	З <sub>дн</sub> , руб.	Т <sub>р</sub> , раб. дн.	З <sub>осн</sub> , руб.
1	Руководитель	30000	0,3	0,2	1,3	58500	3057	22	67260
2	Исполнитель	16 500	0,3	0,2	1,3	32175	1616	84	135740

Таблица 4.3.9 – Расчет основной заработной платы исполнителей для второго исполнения

№ п/п	Исполнители	З <sub>б</sub> , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	З <sub>м</sub> , руб.	З <sub>дн</sub> , руб.	Т <sub>р</sub> , раб. дн.	З <sub>осн</sub> , руб.
1	Руководитель	30000	0,3	0,2	1,3	58500	3057	28	85604
2	Исполнитель	16 500	0,3	0,2	1,3	32175	1616	90	145437

#### 4.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

##### Оценка сравнительной эффективности исследования

Таблица 4.4.1 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Параметры/ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект (исп.1)	Исполнение 2
Соответствие требованиям пользователей	0,25	5	4
Надежность	0,3	5	4,5
Достоверность	0,3	5	4,5
Удобство в применении	0,15	4	3
Итого	1		

Расчет интегральных показателей ресурсоэффективности:

$$I_{mn} = 0,25 * 5 + 0,3 * 5 + 0,3 * 5 + 0,15 * 4 = 4,85;$$

$$I_{Аналог1} = 0,25 * 4 + 0,3 * 4,5 + 0,3 * 4,5 + 0,15 * 3 = 4,15;$$

Расчет интегральных финансовых показателей разработки:

$$I_{\Phi}^p = \frac{287902}{324353} = 0,89;$$

$$I_{\Phi}^a = 1.$$

Расчет интегральных показателей эффективности разработки и аналогов:

$$I_{финр}^p = 5,51;$$

$$I_{финр}^{a1} = 4,15;$$

Таблица 4.4.2 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущая разработка (исп.1)	Исполнение 2
1	Интегральный финансовый показатель	0,89	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,85	4,15
3	Интегральный показатель эффективности	5,51	4,15
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,33

Исходя из полученных данных сравнительной таблицы, можно утверждать, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант первый (текущий проект).

В результате выполнения задач раздела можно сделать следующие выводы:

1. Основным фундаментом разработки модели является среда, в которой она создается. Результатом анализа конкурентных решений выбор MATLABa является наиболее подходящим и оптимальным по сравнению с другими.

В ходе планирования проекта был разработан план график реализации этапов работ, позволяющий оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Общее количество времени для выполнения проекта составляет 848 часов.

По результатам оценки эффективности исследования наиболее эффективным вариантом исполнения является текущая разработка.

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Обучающемуся:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
8ЕМ11		Майтаевой Долсоне Валерьяновне	
<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОАР</b>
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	15.04.06 Мехатроника и робототехника

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Объект исследования: система обезвешивания  
Область применения: робототехника  
Рабочее место: офис с персональным компьютером.  
Количество и наименование оборудования рабочей зоны: персональный компьютер, принтер, телефон мобильный.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

**1. Производственная безопасность**

1.1. Анализ выявленных вредных факторов

- Природа воздействия
- Действие на организм человека
- Нормы воздействия и нормативные документы (для вредных факторов)
- СИЗ коллективные и индивидуальные

1.2. Анализ выявленных опасных факторов:

- Термические источники опасности
- Электробезопасность
- Пожаробезопасность

1. Вредные факторы:

- 1.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении
  - 1.2 Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ;
  - 1.3 Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ;
  - 1.4 Недостаточная освещенность. Проведен расчет освещения рабочего места; представлен рисунок размещения светильников на потолке с размерами в системе СИ;
2. Опасные факторы:
- 2.1. Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R<sub>заземления</sub>, СКЗ, СИЗ;
  - 2.2. Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации.

**2. Экологическая безопасность:**

- Выбросы в окружающую среду
- Решения по обеспечению экологической безопасности

Наличие промышленных отходов (бумага-черновики, вторцвет- и чермет, пластмасса, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника) и способы их утилизации;

**3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:**

1. перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;
2. разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;

Рассмотрены 2 ситуации ЧС:

- 1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте);
- 2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены

3.разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.
<b>4. Перечень нормативно-технической документации.</b>	ГОСТы, СанПиНы, СНиПы

<b>Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком</b>	07.02.2023
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	Д.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЕМ11	Майтаева Долсона Валерьяновна		

## **5 Социальная ответственность**

### **Введение**

Социальная ответственность - ответственность отдельного ученого и научного сообщества перед обществом. Первостепенное значение при этом имеет безопасность применения технологий, которые создаются на основе достижений науки, предотвращение или минимизация возможных негативных последствий их применения, обеспечение безопасного как для испытуемых, как и для окружающей среды проведения исследований.

В рамках данной ВКР разрабатывается модель системы обезвешивания с переподхватом в среде Matlab Simscape Multibody. Разработка выполнялась в лаборатории, в отделении автоматизации и робототехники, в Томском политехническом университете. Все работы выполнялись с использованием компьютера. Раздел также включает в себя оценку условий труда на рабочем месте, анализ вредных и опасных факторов труда, разработку мер защиты от них.

### **5.1 Производственная безопасность**

#### **5.1.1 Вредные факторы**

##### **Отклонение показателей микроклимата в помещении**

Под микроклиматом производственных помещений понимается климат окружающей человека внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих его поверхностей.

Изменения в микроклимате рабочего помещения могут вызвать внешние погодные условия за окном, отключение или подключение отопления, вентиляция.

Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма.

Работы, осуществляемые человеком с данной системой обезвешивания, относятся к категории Ia. Характерные энергозатраты до 120 ккал/ч (до 139 Вт). Работа производится сидя и сопровождается незначительным физическим напряжением. Таким образом, для данной категории работ оптимальные величины показателей микроклимата представлены в таблице 5.1.1.1.

Таблица 5.1.1.1 – Оптимальные величины показателей микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	23-25	21-25	40-60	0,1
Теплый	20-22	21-26	40-60	0,1

Таблица 5.1.1.2 – Допустимые нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
	Нижняя допустимая граница	Верхняя допустимая граница		
Холодный	15	24	20-80	<0.5
Теплый	22	28	20-80	<0.5

При температуре воздуха на рабочих местах ниже допустимых величин в целях профилактики переохлаждения необходимо проводить профилактические меры: тамбуры перед входом, утепление окон и дверей, соответствующее устройство стен и перекрытий. У наружных дверей необходимо устраивать тепловые воздушные завесы. Необходимо обеспечить работу общих приточных вентиляционных систем с подогревом подаваемого

воздуха. При температуре воздуха выше допустимых необходимо регулировать работу вентиляционных систем.

Общая площадь рабочего помещения составляет  $49\text{ м}^2$ , объем составляет  $196\text{ м}^3$ . По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 санитарные нормы составляют  $6,5\text{ м}^2$  и  $20\text{ м}^3$  объема на одного человека. Исходя из приведенных выше данных, можно сказать, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам.

После анализа габаритных размеров рассмотрим микроклимат в этой комнате. В качестве параметров микроклимата рассмотрим температуру, влажность воздуха, скорость ветра.

В помещении осуществляется естественная вентиляция посредством наличия легко открываемого оконного проема (форточки), а также дверного проема. По зоне действия такая вентиляция является общеобменной. Основной недостаток - приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания. Согласно нормам, СанПиН 1.2.3685-21 объем воздуха необходимый на одного человека в помещении без дополнительной вентиляции должен быть более  $40\text{ м}^3$  [14]. В нашем случае объем воздуха на одного человека составляет  $49\text{ м}^3$ , из этого следует, что дополнительная вентиляция не требуется. Параметры микроклимата поддерживаются в холодное время года за счет систем водяного отопления с нагревом воды до  $100^\circ\text{C}$ , а в теплое время года – за счет кондиционирования, с параметрами согласно. Нормируемые параметры микроклимата, ионного состава воздуха, содержания вредных веществ должны соответствовать требованиям [15].

### **Превышение уровней шума**

Шум является одним из важных факторов, влияющих на качество выполняемой работы. Источником шума может служить система охлаждения компьютера, шум от ламп, ремонтные работы вблизи от рабочего места и так далее.

Шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих внимания и сосредоточенности, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения задания.

Внезапные шумы высокой интенсивности, даже кратковременные (взрывы, удары и т.п.), могут вызвать как острые нейросенсорные эффекты (головокружение, звон в ушах, снижение слуха), так и физические повреждения (разрыв барабанной перепонки с кровотечением, поражения среднего уха и улитки).

Основным источником шума в комнате являются компьютерные охлаждающие вентиляторы. Уровень шума варьируется от 35 до 45 дБА. Согласно СанПиН 2.2.4 / 2.1.8.562-96, при выполнении основных работ, уровень шума на рабочем месте не должен превышать 82 дБА [16].

Для снижения шума применяют средства индивидуальной защиты (СИЗ) и средства коллективной защиты (СКЗ) от шума.

Средства коллективной защиты:

1. Устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;

2. Изоляция источников шума от окружающей среды (применение глушителей, экранов, звукопоглощающих строительных материалов, например любой пористый материал – шамотный кирпич, микропористая резина, поролон и др.);

3. Применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

Средством индивидуальной защиты является применение спецодежды и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

## Повышенный уровень электромагнитных излучений

Источником электромагнитных излучений в нашем случае являются дисплеи ПЭВМ. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно ГОСТ 54 30013-83 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25В/м в диапазоне от 5Гц до 2кГц, 2,5В/м в диапазоне от 2 до 400кГц. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250нТл, и 25нТл в диапазоне от 2 до 400кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В [17]. В ходе работы использовалась ПЭВМ типа Acer Aspire E5-575G-39M5 со следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля 2,5В/м; поверхностный потенциал составляет 450 В.

При длительном постоянном воздействии электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона при работе на ПЭВМ у человеческого организма сердечно-сосудистые, респираторные и нервные расстройства, головные боли, усталость, ухудшение состояния здоровья, гипотония, изменения сердечной мышцы проводимости. Тепловой эффект ЭМП характеризуется увеличением температуры тела, локальным селективным нагревом тканей, органов, клеток за счет перехода ЭМП на теплую энергию.

Предельно допустимые уровни (ПДУ) облучения (по *ОСТ 54 30013-83*):

а) до 10 мкВт/см<sup>2</sup> , время работы (8 часов);

б) от 10 до 100 мкВт/см<sup>2</sup> , время работы не более 2 часов;

в) от 100 до 1000 мкВт/см<sup>2</sup> , время работы не более 20 мин. при условии использования защитными очками;

г) для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см<sup>2</sup>.

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

СКЗ:

1. Защита временем;
2. Защита расстоянием;
3. Снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;

4. Заземление экрана вокруг источника;

5. Защита рабочего места от излучения;

СИЗ:

1. Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.

2. Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова ( $\text{SnO}_2$ ). [18]

### **Недостаточная освещенность**

При работе в лаборатории ТПУ может быть недостаточно естественного освещения из-за каких-либо внешних факторов. Однако для работы необходимо достаточное количество освещенности. Так как свет создает нормальные условия для трудовой деятельности. Недостаточное освещение вызывает зрительный дискомфорт, выражающийся в ощущении неудобства или напряженности. Длительное пребывание в условиях зрительного дискомфорта приводит к отвлечению внимания, уменьшению сосредоточенности, зрительному и общему утомлению. Кроме создания зрительного комфорта свет оказывает на человека психологическое, физиологическое и эстетическое воздействие. Неудовлетворительная освещенность в рабочей зоне может являться причиной снижения производительности и качества труда, получения травм.

Минимальный уровень средней освещенности на рабочих местах с постоянным пребыванием людей должен быть не менее 200 лк.

В расчётном задании должны быть решены следующие вопросы:

- выбор системы освещения;
- выбор источников света;
- выбор светильников и их размещение;
- выбор нормируемой освещённости;
- расчёт освещения методом светового потока.

В данном расчётном задании для всех помещений рассчитывается общее равномерное освещение.

Таблица 5.1.1.3 - Параметры помещения.

Параметр	Обозначение	Значение, м
Длина	A	7
Ширина	B	7
Высота помещения	H	4
Свес	h <sub>c</sub>	0,5
Высота Р.П.	h <sub>рп</sub>	0,8
Высота от светильника до Р.П.	h	H - h <sub>p</sub> - h <sub>c</sub> =2,7
Коэффициент отражения стен	ρ <sub>ст</sub>	30%
Коэффициент отражения потолка	ρ <sub>п</sub>	50%
Коэффициент запаса	K <sub>з</sub>	1.5
Коэффициент неравномерности	Z	1.1

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен.

Световой поток лампы определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{рас}} = E_{\text{н}} * S * K_{\text{з}} * Z / N * \eta \quad (5.1.1.1)$$

Где  $E_n$  – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05- 95, лк;  $S$  – площадь освещаемого помещения, м<sup>2</sup>;  $K_з$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т. е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли;  $Z$  – коэффициент неравномерности освещения, отношение  $E_{ср}/E_{min}$ . Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;  $N$  – число ламп в помещении;  $\eta$  – коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения  $i$ , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью  $h$  и коэффициентов отражения стен  $\rho_{ст}$  и потолка  $\rho_{п}$ .

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = S / h(A+B) \quad (5.1.1.2)$$

Проведем расчет индекса помещения:

Площадь помещения :

$$S = A * B = 7 * 7 = 49 \text{ м}^2$$

Индекс:

$$i = \frac{S}{h * (A + B)} = \frac{49}{2.7 * (7 + 7)} = 1,29$$

Согласно этим данным, коэффициент использования светового потока будет равен 50 % или в долях = 0,5.

Согласно указанной методике, выбираем тип источника света. Наиболее подходящим вариантом является 40 ваттная лампа ЛБ, у которой  $\Phi=2800$  лм. Для выбранного типа лампы подходит светильник ОД-2-40 с размерами: длина = 1230 мм, ширина = 266 мм.

Из уравнения 3.1.1.1 находим количество ламп для помещения:

$$N = \frac{E_n \cdot S \cdot K_з \cdot Z}{\Phi \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 49 \cdot 1.5 \cdot 1.1}{2800 \cdot 0.5} = 11.55$$

Принимаем  $N=12$  ламп или 6 светильников.

Определим световой поток расчетный:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 49 \cdot 1.5 \cdot 1.1}{12 \cdot 0.5} = 2695 \text{ лм.}$$

Проведем проверку выполнения условия соответствия:

$$- 10\% \leq ((\Phi_{\text{расч}} - \Phi_{\text{станд}})/\Phi_{\text{расч}}) * 100\% \leq + 20\%$$

Подставляя численные значения получаем:

$$- 10\% \leq (2800 - 2695) / 2695 * 100\% \leq + 20\%$$

$$- 10\% \leq +3,9\% \leq + 20\%$$

Результат расчета укладывается в допустимые пределы.

Определим мощность осветительной установки:

$$P = N \cdot P_i = 12 \cdot 40 \text{ Вт} = 480 \text{ Вт.}$$

Размещаем светильники в 2 ряда по 3 светильника в ряду с соблюдением условий:  $L$  – расстояние между соседними светильниками или рядами (если по длине (А) и ширине (В) помещения расстояния различны, то они обозначаются  $LA$  и  $LB$ ),

$L$  – расстояние между соседними светильниками или рядами (если по длине (А) и ширине (В) помещения расстояния различны, то они обозначаются  $LA$  и  $LB$ ),

$l$  – расстояние от крайних светильников или рядов до стены.

Оптимальное расстояние  $l$  от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным  $L/3$ .

Теперь определим расстояния между светильниками по длине и ширине помещения.

$$7000 = 2L_A + 3 \cdot 1230 + 2/3 L_A;$$

$$L_A = (7000 - 3690) \cdot 3/8 = 1241,25 \text{ мм};$$

$$L_A/3 = 413,75 \text{ мм};$$

$$7000 = L_B + 2 \cdot 266 + 2/3 L_B;$$

$$L_B = (7000 - 2 \cdot 266) \cdot 3/5 = 3880,8 \text{ мм};$$

$$L_B / 3 = 1293,6 \text{ мм.}$$

Рисуем схему размещения светильников на потолке для обеспечения общего равномерного освещения.

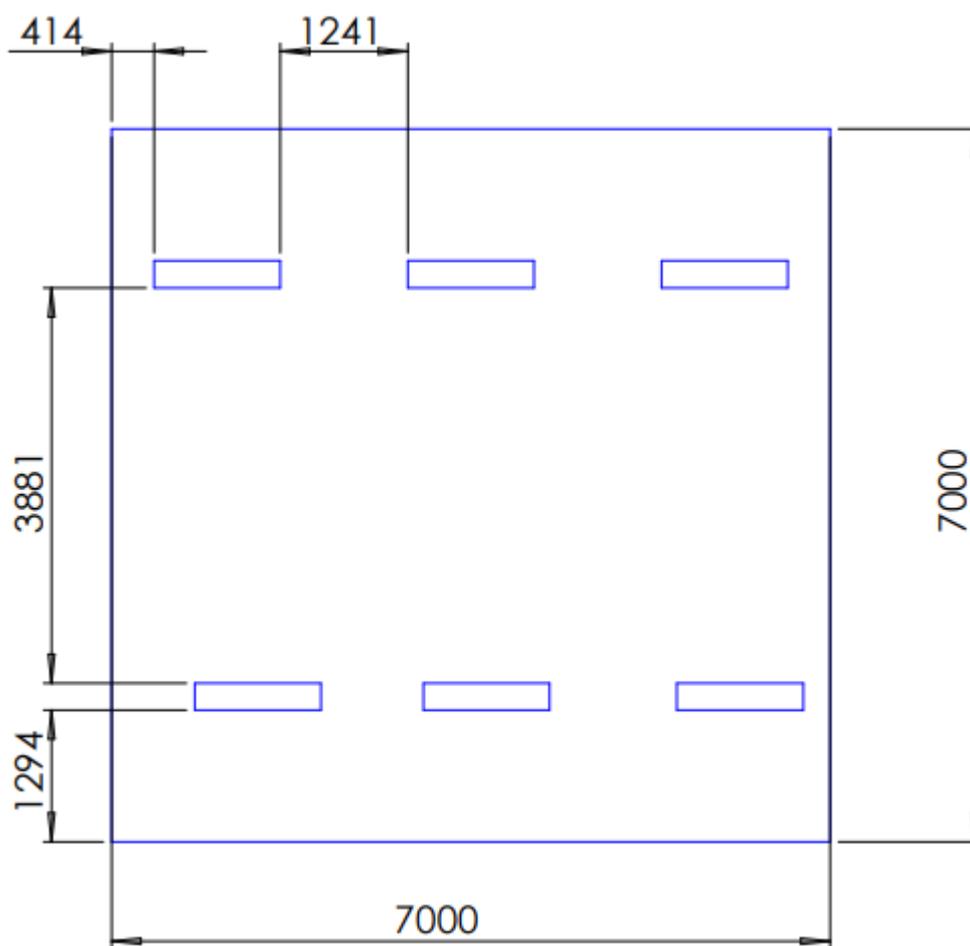


Рисунок 5.1.1.1 – План размещения светильников на потолке.

## 5.1.2 Опасные факторы

**Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы  $I$ ,  $U$ ,  $R_{\text{заземления}}$ , СКЗ, СИЗ; Поражение электрическим током**

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50Гц. По опасности электропоражения комната относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствует повышенная влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного соприкосновения токоведущих элементов с заземленными металлическими корпусами оборудования [19].

Лаборатория относится к помещению без повышенной опасности поражения электрическим током. Безопасными номиналами являются:  $I < 0,1$  А;  $U < (2-36)$  В;  $R_{\text{зазем}} < 4$  Ом.

Для защиты от поражения электрическим током используют СИЗ и СКЗ. Средства коллективной защиты:

1. Защитное заземление, зануление;
2. Малое напряжение;
3. Электрическое разделение сетей;
4. Защитное отключение;
5. Изоляция токоведущих частей;
6. Оградительные устройства.
7. Использование щитов, барьеров, клеток, ширм, а также заземляющих и шунтирующих штанг, специальных знаков и плакатов.

Средством индивидуальной защиты является использование диэлектрических перчаток, изолирующих клещей и штанг, слесарных инструментов с изолированными рукоятками, указатели величины напряжения, калоши, боты, подставки и коврики [20].

**Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации.**

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д.

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории В– горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых находится, не относятся к категории наиболее опасных А или Б.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 21-01-97 (выполнено из кирпича, которое относится к трудносгораемым материалам).

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причиной возникновения пожара неэлектрического характера может быть халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

Причинами возникновения пожара электрического характера являются: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000В. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Для предупреждения пожара и взрыва необходимо предусмотреть:

1. специальные изолированные помещения для хранения и разлива легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), оборудованные приточно-вытяжной вентиляцией во взрывобезопасном исполнении - соответствии с ГОСТ 12.1.004-91 и ГОСТ 12.2.037-78 специальные помещения (для хранения

в таре пылеобразной канифоли), изолированные от нагревательных приборов и нагретых частей оборудования;

2. первичные средства пожаротушения на производственных участках (передвижные углекислые огнетушители ГОСТ 9230-77, пенные огнетушители ТУ 22-4720-80, ящики с песком, войлок, кошма или асбестовое полотно);

3. автоматические сигнализаторы (типа СВК-3 М 1) для сигнализации о присутствии в воздухе помещений предвзрывных концентраций горючих паров растворителей и их смесей.

Согласно требованиям к противопожарной защите, помещение оборудовано автоматическими средствами пожарной сигнализации, средствами пожаротушения (огнетушитель), средства акустического оповещения сотрудников. Также для организации управления движением людей к путям эвакуации, в помещениях установлены схема пути эвакуации (план эвакуации здания, в котором проводилась разработка представлен на рисунке 5.1.2.1), эвакуационные выходы оборудованы светящейся табличкой «Выход».



Рисунок 5.1.2.1 – План эвакуации помещения

## **5.2 Экологическая безопасность**

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды. Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации.

Таким образом утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

- Отделить металлические детали от неметаллов;
- Разделить углеродистые металлы от цветмета;
- Пластмассовые изделия (крупногабаритные) измельчить для уменьшения объема;
- Копир-порошок упаковать в отдельную упаковку, точно также, как и все проклассифицированные и измельченные компоненты оргтехники, и после накопления на складе транспортных количеств отправить предприятиям и фирмам, специализирующимся по переработке отдельных видов материалов.

Не работающие люминесцентные лампы немедленно после удаления из светильника должны быть упакованы в картонную коробку, бумагу или тонкий мягкий картон, предохраняющий лампы от взаимного соприкосновения и случайного механического повреждения. После накопления ламп объемом в 1 транспортную единицу их сдают на переработку на соответствующее предприятие. Недопустимо выбрасывать отработанные энергосберегающие лампы вместе с обычным мусором, превращая его в ртутьсодержащие отходы, которые загрязняют ртутными парами [23].

## **5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Природная чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории или акватории, сложившейся в результате возникновения источника природной чрезвычайной ситуации, который может повлечь или

повлек за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приводит к авариям систем тепло и водоснабжения, сантехнических коммуникаций и электроснабжения, приостановке работы. В этом случае при подготовке к зиме следует предусмотреть а) газобаллонные калориферы (запасные обогреватели), б) дизель или бензоэлектрогенераторы; в) запасы питьевой и технической воды на складе (не менее 30 л на 1 человека); г) теплый транспорт для доставки работников на работу и с работы домой в случае отказа муниципального транспорта. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

В 10 корпусе ТПУ наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

## **Перечень НТД**

1. СанПиН 2.1.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к
2. обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»
3. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
4. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
5. ГОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности
6. ГОСТ 12.4.154-85 ССБТ. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты”
7. ГОСТ 12.1.019-2017. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
8. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
9. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
10. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности
11. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами.
12. Классификация, идентификация и кодирование отходов.

## Список литературы

1. Heike Vallery. Multidirectional transparent support for overground gait training / Heike Vallery, Georg Rauter, Joachim von Zitzewitz, Michael Fritschi // IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics. (June 24-26, 2013 Seattle, Washington USA). Seattle. 2013.
2. Joseph Hidler. ZeroG: Overground gait and balance training system / Joseph Hidler, Diane Nichols, Lian Black, Kathy Brady // The Journal of Rehabilitation Research and Development. 2011. Vol. 48. №4. P. 287-298.
3. Zheng X., Kim M., Song Y. An Investigation into Cable-based Weight Offloading Systems: a Comprehensive Study // Mechanical Systems and Signal Processing – 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/mechanical-systems-and-signal-processing> (Дата обращения: 18.01.2023).
4. Патент WO 2014/153088 A1, 25.09.2014. Gregory, P. JUE, Clifford, T. SUPPORT FRAME AND RELATED UNWEIGHTING SYSTEM // Патент международный № 153088 A1, 2014.
5. Патент US 10406059 B2, 08.02.2011. Joseph Hidler. BODY WEIGHT SUPPORT SYSTEM AND METHOD OF USING THE SAME// Патент США № 10406059 B2, 2011.
6. Патент US № 9987188B1, 05.06.2018. Xiumin Diao. METHOD AND SYSTEM FOR BODY WEIGHT SUPPORT // Патент США № 9987188B1, 2018.
7. Патент US № 10406059B2, 10.09.2019. Sunil K. Agrawal, Vineet Vashista. HUMAN MOVEMENT RESEARCH, THERAPEUTIC, AND DIAGNOSTIC DEVICES, METHODS, AND SYSTEMS // Патент США № 10406059B2, 2019.
8. Smith J., Doe J., Park H. Mechanics and Control of Cable-Based Systems // Journal of Applied Mechanics - 2017 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/mechanical-systems-and-signal-processing> (Дата обращения: 10.02.2023).

9. Зарницын, А. Ю. Исследование динамики следящих систем стенда с активной системой обезвешивания для испытаний раскрытия в земных условиях крыльев солнечных батарей / А. Ю. Зарницын, А. М. Малышенко // Молодёжь и современные информационные технологии: сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Томск: ТПУ, 2016. – Т. 1. – С. 268-269.

10. Беляев А.С., Тырышкин А.В., Филипас А.А. Проектирование системы опорного активного обезвешивания элементов космического корабля с применением Matlab Simulink // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Наука о природе и технике. 2020. № 7. С. 34-41

11. Беляев А.С., Малышенко А.М., Филипас А.А., Суменков О.Ю. Разработка модели и системы управления мобильным роботом для обезвешивания солнечных панелей // Известия Тульского Государственного университета. Технические науки. 2020. № 12. С. 3-12.

12. Методика расчета системы обезвешивания крупногабаритных трансформируемых элементов космических аппаратов при наземных испытаниях / А. С. Беляев, А. А. Филипас, А. В. Цавнин, А. В. Тырышкин // Сибирский аэрокосмический журнал. 2021. Т. 22, № 1. С. 106–120.

13. Четырехтросовая система обезвешивания с управлением по вектору силы/ А. С. Беляев, А. А. Филипас, В.В. Курганов, Н.И. Поберезкин // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2022. Т. 18, № 1. С. 98–106.

14. СанПиН 2.1.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к

15. обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»

16. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

17. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

18. ГОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности
19. ГОСТ 12.4.154-85 ССБТ. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты”
20. ГОСТ 12.1.019-2017. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
21. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
22. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
23. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности
24. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами.
25. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
26. Robocrane // National Institute of Standards and Technology [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nist.gov/search?s=robocrane> (Дата обращения: 18.01.2023).
27. Astronauts in Training//NASA [Электронный ресурс]. URL: [https://www.nasa.gov/audience/forstudents/58/features/F\\_Astronauts\\_in\\_Training.html](https://www.nasa.gov/audience/forstudents/58/features/F_Astronauts_in_Training.html) (Дата обращения: 18.01.2023).
28. LokomatPro Modules // Hocoma [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hocoma.com/solutions/lokomat/modules/> (Дата обращения: 18.01.2023).

**Приложение А  
(справочное)**

**Theory Overview**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8EM11	Майгаева Долсона Валерьяновна		

Консультант проф. кафедры:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой – руководитель отделения на правах кафедры ОАР ИШИТР	Филипас А.А.	к.т.н., доцент		

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент (ОИЯ)	Диденко А.В.	к.ф.н., доцент		

## **1 Theory Overview**

### **1.1 Overview of Counterbalancing Methods**

Counterbalance systems, also known as body weight support systems or load alleviation systems, are mechanical setups designed to offset or balance the weight of an object, reducing the physical exertion needed to move or lift it. These systems function by applying an opposing force equal to a portion or all of the object's weight, essentially making it "weightless" or significantly lighter from the perspective of the user.

In the field of physical rehabilitation and sports training, unweighting systems are used to support patients or athletes by carrying a portion of their body weight. This allows them to perform movements and exercises with reduced stress and impact on their musculoskeletal system.

Counterbalance systems can be implemented in various forms, including spring-based systems, pneumatic or hydraulic systems, and cable-based systems. The choice of the system depends on the application and the specific requirements of the task at hand. The effectiveness of these systems lies in their ability to significantly improve ergonomics, safety, and efficiency in various fields of application, from industrial settings to medical and sports facilities.

The relevance of counterbalance systems in today's world cannot be overstated. These systems play a critical role in a wide range of applications, from industrial settings to healthcare facilities and sports complexes, improving safety, efficiency, and overall performance.

**In industrial settings**, counterbalance systems can drastically reduce the physical strain on workers, improving ergonomics, reducing the risk of work-related injuries, and enhancing productivity. They are crucial for handling heavy objects, equipment, or machinery, and are integral to various production processes.

**In healthcare**, these systems, often referred to as unweighting systems, are used in physical rehabilitation programs. They allow patients to perform exercises and movements with reduced body weight, which can help improve their mobility, strength, and balance while minimizing the risk of injury. They are especially

beneficial for patients recovering from injuries, surgeries, or neurological conditions.

**Aerospace Industry:** Unweighting systems are used to simulate microgravity conditions for astronaut training or equipment testing. This allows preparation for conditions in space, where the effect of gravity is significantly less than on the Earth.

**Scientific Research:** Unweighting systems are also used in scientific research, for example, when studying the behavior of materials or biological systems under microgravity conditions.

**In sports training,** counterbalance or body weight support systems can be used to modify training intensity, improve form and technique, and reduce the risk of injury. They are increasingly being adopted in both professional and recreational sports [1].

In conclusion, the significance and relevance of counterbalance systems are continually increasing due to advancements in technology and a growing understanding of their benefits. The ongoing research and development in this field suggest that their application will continue to expand and evolve, addressing new challenges and demands in various sectors.

Counterbalance systems can be classified in a number of ways based on their operation principle, type of force used, configuration, and field of application.

Based on their working principle, they are divided into active, passive, and semi-passive systems. Counterweight Systems (Passive) use a mechanical counterweight to balance the weight of the object. These systems are usually simple to set up and do not require energy to operate, but they might be less flexible to use. Active Systems use electric motors or hydraulic/pneumatic drives for dynamic weight balancing. They can be more flexible and precise but require a power source and a more complex control system. Semi-active Systems are hybrid systems that combine elements of passive and active systems. This can be an effective compromise between performance and energy efficiency.

Based on their type of force, they are divided into mechanical, pneumatic,

hydraulic, electromagnetic systems. Mechanical systems use mechanical forces created by springs, counterweights, or drives. Pneumatic systems use air pressure to provide the balancing force. They are typically light and provide smooth, cushioned movements. Hydraulic systems use fluid pressure to provide the balancing force. They are typically stronger and can handle larger loads compared to pneumatic systems. And electromagnetic systems use forces created by magnetic fields. They can provide very precise control but might require complex control algorithms.

Based on their application area, they are divided into medical, industrial, sports, research systems. Systems used in rehabilitation, physiotherapy, and surgery are utilized to assist patients in restoring motor functions or having the load on their body parts during surgery reduced. Heavy objects are moved and the workload of workers is eased by industrial systems used to reduce physical strain. Athletes are trained, performance is enhanced, and injuries are prevented with the use of sports systems. In scientific research and development, research systems are used for modeling and testing various phenomena and technologies [2].

In accordance with the working mechanism, load balancing systems are often divided into rope-based and support-based systems. Rope-based load balancing systems, or cable counterbalance systems, typically utilize a set of cables or ropes connected to the load and a balancing device to counteract the weight of the load. The ropes are often attached to a counterweight or a motor-driven drum. This type of system can be very efficient, allowing the load to be supported in a virtually weightless state over a large range of movements. It also offers a high degree of flexibility, as the ropes can move freely in multiple directions. These systems are often used in situations where the load needs to move in multiple axes, such as in some types of machinery, theatrical rigging, or rehabilitation devices.

Support-based load balancing systems utilize some form of mechanical support to offset the weight of the load. This could include springs, pneumatic or hydraulic devices, or even physical structures like rods or beams. The support provides a direct physical connection to the load, which can make these systems more stable and straightforward to control. However, their range of operation may

be more limited compared to rope-based systems, particularly in terms of multi-directional movement. Support-based systems are commonly used in applications where stability is more important than flexibility, such as in some types of industrial machinery or lifting devices.

Cable counterbalance systems have several advantages over support-based load balancing systems. Unlike support-based systems, which are usually limited to movement along fixed paths, rope-based systems offer greater flexibility in the movement of the load. The ropes can move freely in multiple directions, allowing the load to follow complex paths or move in multiple axes.

Rope-based systems excel in supporting a load in a virtually weightless state across a broad range of vertical and horizontal movements. In contrast, support-based systems may find their range, particularly vertical displacement, more constrained. Easily scalable to accommodate different loads and applications, rope-based systems offer flexibility that support-based counterparts might lack. The latter could require substantial design modifications to handle varying loads or operating conditions.

When it comes to motion continuity and smoothness, rope-based systems often outperform those that are support-based. This superior smooth handling characteristic proves particularly advantageous in scenarios demanding careful load management, such as in specific types of machinery or rehabilitation devices. The simplicity of rope-based systems often makes them easier and cheaper to maintain compared to support-based systems. The ropes, which are the main wear component, can usually be replaced quickly and easily, while maintaining the supports in a support-based system can be more complex and time-consuming.

Also, among unweighting systems, there is a specific type of system - unweighting systems with overtake. They are most often used in situations where it is necessary to move the load over long distances or through obstacles, as they allow to overtake the load at different points. An unweighting system with overtake usually consists of two or more unweighting modules. As the load moves, one module "passes" it to another. This allows the unweighting system to maintain the load in a

state of weightlessness throughout the entire path of movement, regardless of its complexity or length.

For object unloading in this work, it's important to ensure high precision movement and minimization of the load on the operator and equipment during operation, as the probability of error should be minimal when using this system in medicine. Rope systems have an advantage in these parameters over support ones. In this work, a rope type of unloading with the function of overtaking was chosen.

### **1.2 Review of Rope-Based Counterbalance Systems**

Rope-based Counterbalance systems are systems that use ropes (or cables) in combination with blocks, rollers, or drums, and some kind of drive (mechanical, electrical, or hydraulic) to create a force opposite to the weight of the object.

Rope-based Counterbalance systems have a number of advantages that make them suitable for a wide range of applications. The first advantage is the large range of action. Rope systems can maintain a load in a state of weightlessness over a long distance, which makes them ideal for tasks where long-distance movement is required.

Also, rope systems can be configured to work in various conditions and areas of application. They can be adapted to work with different types of loads and in different environmental conditions. Rope-based Counterbalance systems can provide high precision movement and positioning, making them suitable for tasks where precise control of the load is required. This type of systems usually has a simple, but reliable design, which can withstand heavy loads and continuous operation. In situations where the Counterbalance system is used to assist the operator (for example, in rehabilitation or when working with heavy loads), rope systems can significantly reduce the physical load on the operator, making the tasks easier to perform.

Cable counterbalance systems are used in a variety of applications and there are many real projects in which they play a key role. For example, almost all industrial cranes and lifts use rope-based weightlessness systems, typically in conjunction with counterweights or hydraulic systems, for the safe and efficient

movement of heavy loads.



Figure 1.2.1 – Industrial lift

In some robotic systems, especially those designed to handle heavy objects, rope-based weightlessness systems are used. One example is the RoboCrane project from the American National Institute of Standards and Technology (NIST), which uses a rope system to provide a high degree of mobility and flexibility in load manipulation [26].

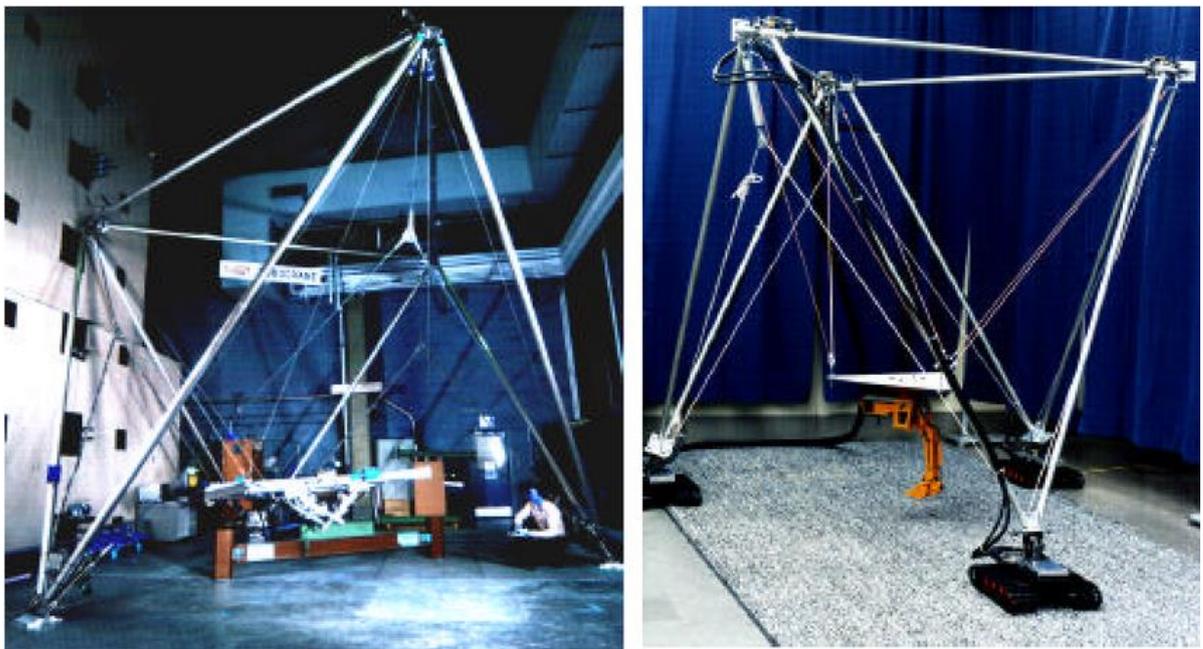


Figure 1.2.2 – Project RoboCrane

NASA and other space agencies use rope-based weightlessness systems in trainers to simulate microgravity conditions and train astronauts [27].



Figure 1.2.3 – Training apparatus for cosmonauts

In medical applications, such as rehabilitation after injuries or surgeries, rope-based weightlessness systems can be used to facilitate patient movements and reduce the load on damaged or weakened muscles. For example, the Lokomat project uses a rope-based weightlessness system to assist patients in regaining the ability to walk [28].



Figure 1.2.4 – Rehabilitation Equipment

And some virtual reality systems, such as the SkyRunner project from

Disney Research, use rope-based weightlessness systems to create a more realistic and engaging experience for users, allowing them to move freely and interact with the virtual environment.

### 1.3 Patent Review of Rope-Based Counterbalance Systems

In the world, there are enough patents for weightlessness systems. In this work, we will consider the main patents for cable systems. The earliest among those considered is Patent WO 2014/153088 A1, which represents a device consisting of a frame, pairs of front and rear pulleys, and two ropes. The frame is designed so that it can be either attached or placed next to the exercise machine and has a front and rear parts (Figure 1.3.1). The ropes have the ability to connect with a person for some weight relief during the exercise execution [4].

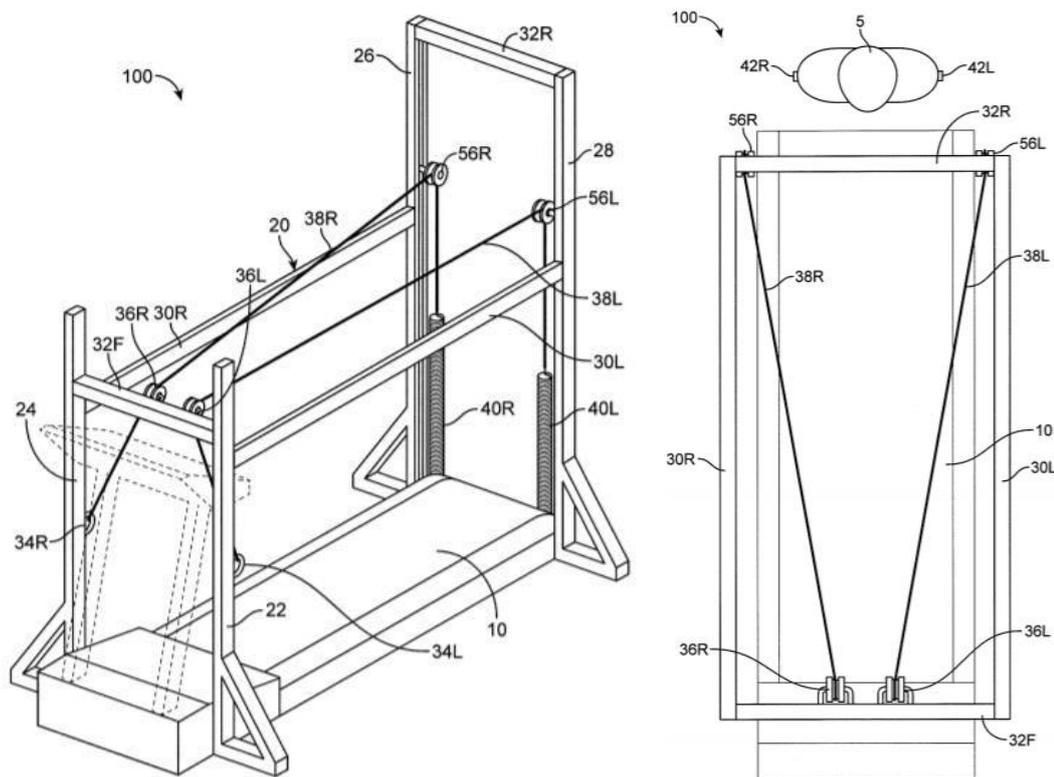


Figure 1.3.1 - Support frame and weightless system

US Patent 10406059 B2 was registered in 2011. The weightlessness system can move like a tram and adjusts to the movements of the object. Since the system is installed overhead, it is possible to practice walking on uneven terrain and stairs, as well as use walking aids such as walkers or canes. In addition, one can train

postural reflexes and do "sit-stand" exercises [5].

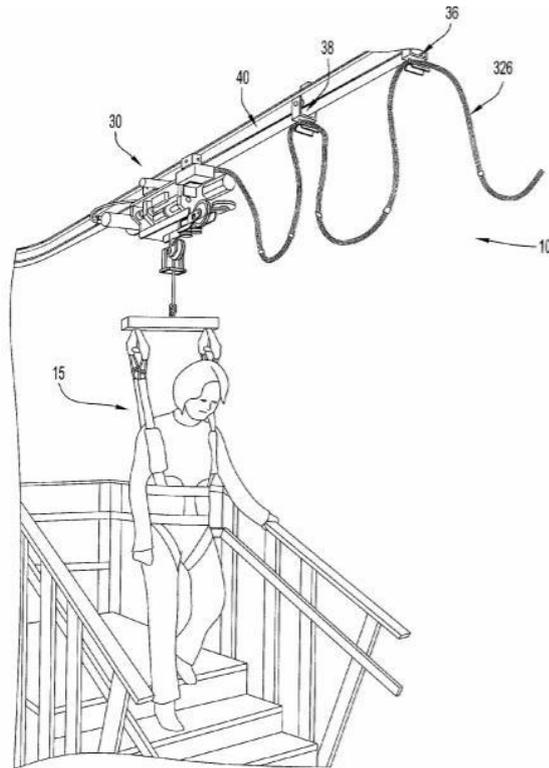


Figure 1.3.2 - Weightless system

US Patent 9987188 B1 was registered in 2018. The weightlessness system features a safety vest, connected to a multitude of ropes, each of which has its own executive mechanism. There is also a rope tension sensor, accelerometer, and controller for managing the multitude of executive mechanisms [6].

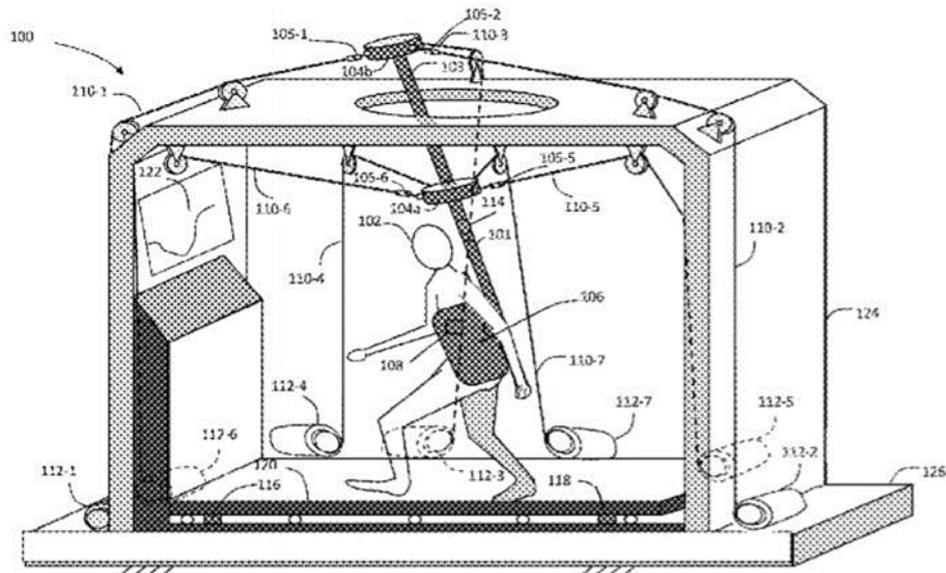


Figure 1.3.3 - Weightless system

The next Patent US 10406059 B2 was registered in 2019. Rope-actuated gait

therapy systems can apply controlled forces, in respective embodiments, to the pelvis and buttocks, knee and ankle. After which, the executive mechanisms controlling the cables are activated, providing supportive and flexing moments of the limbs with low inertia and friction [8].

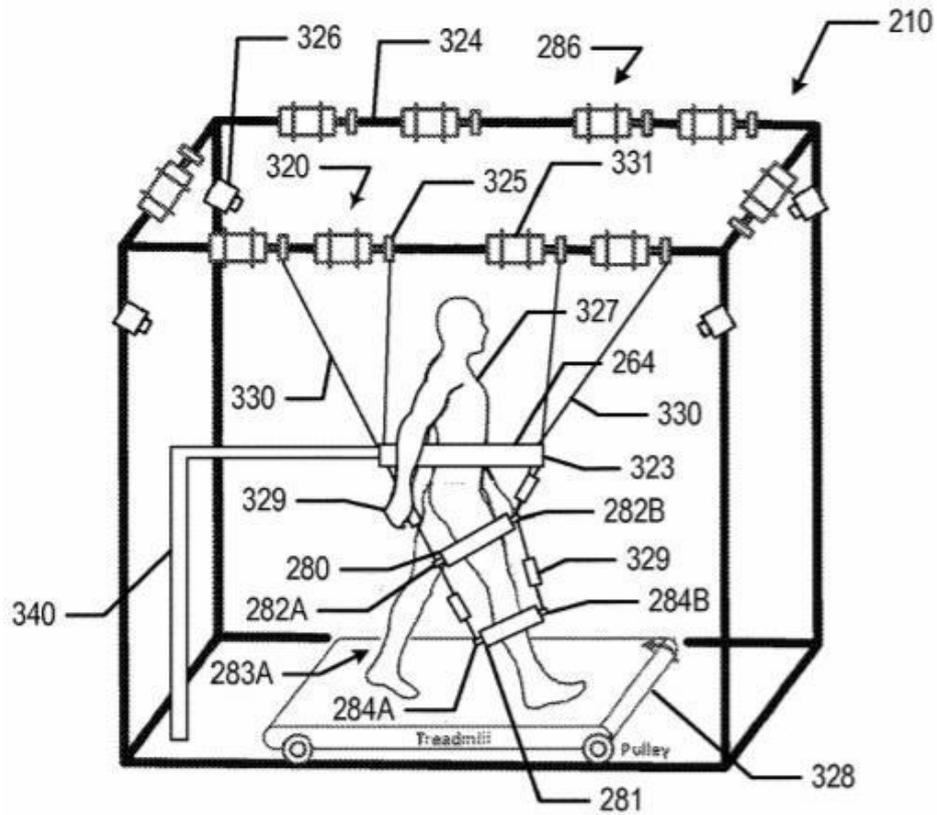


Figure 1.3.4 - Weightless system

A comparative table of patents is presented below. The main parameters for comparison were chosen: weightless type, number of drives, design complexity, ease of commissioning.

Table 1.3.1 - Comparison of patents

Parameter	Patent 1	Patent 4	Patent 3	Patent 2
Weightless type	passive	active	active	active
Number of drives	0	10	7	2
Design complexity	-	+	+	-
Ease of commissioning	+	-	-	-

As a result of the analysis, it was found that active unweighting systems are most often developed rather than passive ones. This type of unweighting is characterized by great flexibility and adaptability, high precision, and a wider range of forces. The optimal number of drives in the system is 4-6. As the large number of drives complicates the development of hardware, control systems and synthesis of algorithms. Moreover, with the use of fewer mechanical elements, reliability increases, and the simplicity of the design allows the product to be quickly manufactured and put into operation. Therefore, for the developed system to be competitive, it must have these advantages.