

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное образовательное учреждение  
Высшего образования  
«Уральский государственный университет путей сообщения»  
(УрГУПС)

Факультет Механический  
Кафедра Мехатроника

Допускается к защите:  
зав. Кафедрой: Тарасян В.С.  
доцент, к.ф-м.н.  
30.06.16. Тарасян  
(дата, подпись)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Тема: Система управления двухколенным обращенным маятником на базе  
нечеткой логики.  
(пояснительная записка)  
150306.007.ВКР.МР412.05.ПЗ  
(обозначение документа)

Разработал	<u>студент</u>	<u>МР-412</u>	<u>М. Остаинин</u>	<u>27.06.16</u>	<u>Остаинин М.А.</u>
	(студент-дипломник)	(группа)	(подпись)	(дата)	
Руководитель	<u>доцент, к.т.н.,</u>		<u>Тарасян</u>	<u>24.06.16</u>	<u>Тарасян В.С.</u>
	(должность, звание)		(подпись)	(дата)	
Консультант	<u>профессор, д.б.н.</u>		<u>Ильяс</u>	<u>27.06.16</u>	<u>Ильяс О.Р.</u>
	(должность, звание)		(подпись)	(дата)	
	<u>доцент, к.э.н.</u>		<u>Попп</u>	<u>27.06.16</u>	<u>Попп Т.В.</u>
	(должность, звание)		(подпись)	(дата)	
Н. контролер	<u>доцент, к.т.н.,</u>		<u>Таугер</u>	<u>30.06.16</u>	<u>Таугер В.М.</u>
	(должность, звание)		(подпись)	(дата)	
Рецензент	<u>профессор, д.ф-м.н.</u>		<u>Долгий</u>	<u>30.06.16</u>	<u>Долгий Ю.Ф.</u>
	(должность, звание)		(подпись)	(дата)	

Екатеринбург  
2016

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский государственный университет путей сообщения»  
(УрГУПС)

Механический факультет

Кафедра «Мехатроника»

Специальность 15.03.06 – Мехатроника и робототехника

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

Туранин В. С. Тарасян  
« 30 » марта 2016 г.

**Задание**

на дипломный проект (работу) студента–дипломника

Останин Михаил Андреевич

(фамилия, имя, отчество)

1. Тема проекта (работы) Система управления двухколенным обращённым маятником на базе нечёткой логики

утверждена приказом по университету от «28» марта 2016 г. № 394-со

2. Срок сдачи студентом законченного проекта (работы) 27 июня 2016 г.

3: Исходные данные к проекту (работе) \_\_\_\_\_

Собираются в период преддипломной практики

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов) (см. календарный план)

5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

6. Консультанты по проекту (работе, с указанием относящихся к ним разделов)

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал	Задание принял
1. Экономическая часть	Попп Т. В. Ильясов О. Р.	<i>Попп Т. В.</i> 30.03	<i>Попп Т. В.</i> 23.05
2. БЖД		<i>Ильясов О. Р.</i> 30.03	<i>Ильясов О. Р.</i> 30.05
3.			
4.			

7. Дата выдачи задания 30 марта 2016 г.

Руководитель *Пурин* *Тарасов В.С.*

Задание принял к исполнению студент-дипломник *П. Осташкин*

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН**

№ п/п	Наименование этапов дипломного проекта (работы)	Срок выполнения этапов проекта (работы)	Примечание
1.	Построение математической модели двухступенчатого обращённого маятника	30.03 – 04.04	5%
2.	Реализация модели в среде Simulink	04.04 – 11.04	5%
3.	Анализ применимости нечёткого управления в системе	11.04 – 18.04	15%
4.	Реализация системы нечёткого управления в среде MatLab+Simulink	18.04 – 30.04	25%
5.	Оптимизация структуры нечёткого регулятора	01.05 – 15.05	20%
6.	Экономическое обоснование эффективности затрат	16.05 – 23.05	10%
7.	Разработка раздела «БЖД»	23.05 – 30.05	10%
8.	Оформление пояснительной записки и графического материала	30.05 – 27.06	10%

Студент-дипломник *П. Осташкин*

Руководитель *Пурин*

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский государственный университет путей сообщения»  
(ФГБОУ ВО УрГУПС)

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

Тарасян (Тарасян В.С.)

« 30 » 03 20 16 г.

**ЗАДАНИЕ**  
на специальный раздел ВКР  
«Экономика»

Студент Останин Михаил Андреевич Группа Мр-412  
(Фамилия, Имя, Отчество)

Расчет экономической эффективности  
(наименование специального раздела)

1. Тема ВКР Система управления двухколесным обращенным маятником на базе нечёткой логики.

(название темы ВКР)

Утверждена приказом по университету от « 28 » марта 2016 г. № 394-со  
Выпускающая кафедра Мехатроника

Руководитель проекта Тарасян В.С. к.ф.-м.н., доц. каф. «Мехатроника»  
(Фамилия, инициалы, должность или ученое звание, ученая степень)

2. Консультант раздела Попп Т.В., к.э.н доц.каф. «Экономика транспорта»  
(Фамилия, инициалы, должность)

Кафедра, ведущая специальный раздел «Экономика транспорта»

3. Исходные данные единичные затраты и эксплуатационные затраты

4. Срок сдачи студентом законченного раздела 28.05.2016.

5. Содержание специального раздела (перечень подлежащих разработке вопросов)

Расчет экономической эффективности проекта

6. Название демонстрационно-графического(их) материала(ов) \_\_\_\_\_

7. Дата выдачи задания 30.03.16 Консультант Попп  
(подпись)

Согласовано: 30.03.16 Тарасян (Тарасян В.С.)  
(дата и подпись руководителя ВКР)

Принято к исполнению 30.03.16 М.Останин  
(дата и подпись студента-дипломника)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский государственный университет путей сообщения»  
(ФГБОУ ВО УрГУПС)

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

Гурин (Тарасян В.С.)

« 30 » 03 2016 г.

**ЗАДАНИЕ**

на специальный раздел ВКР

«**Безопасность жизнедеятельности**»

Студент Останин Михаил Андреевич Группа Мр-412  
(Фамилия, Имя, Отчество)

Безопасность жизнедеятельности

(наименование специального раздела)

1. Тема ВКР Система управления двухколенным обращенным маятником на базе нечеткой логики.

(название темы ВКР)

Утверждена приказом по университету от « 28 » марта 2016 г. № 394-со

Выпускающая кафедра Мехатроника

Руководитель проекта доцент, к.ф.-м.н., Тарасян В.С.

(Фамилия, инициалы, должность или ученое звание, ученая степень)

2. Консультант раздела

Ильясов О.Р., профессор

(Фамилия, инициалы, должность)

Кафедра, ведущая специальный раздел «Техносферная безопасность»

3. Исходные данные документации предприятия, нормативно-правовая документация в области охраны труда и экологии, учебники и учебные пособия по «Безопасности жизнедеятельности».

4. Срок сдачи студентом законченного раздела 30.05 .2016 г.

5. Содержание специального раздела (перечень подлежащих разработке вопросов)

1). Условия труда оператора ПЭВМ.

2). Выводы по разделу.

6. Название демонстрационно-графического(их) материала(ов) \_\_\_\_\_

7. Дата выдачи задания 30.03.16 Консультант \_\_\_\_\_

(подпись)

Согласовано: 30.03.16 Гурин (Тарасян В.С.)  
(дата и подпись руководителя ВКР)

Принято к исполнению 30.03.16 (Останин)  
(дата и подпись студента-дипломника)

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 Математическая модель .....	7
1.1 Постановка задачи .....	7
1.2 Нахождение уравнений Лагранжа II рода .....	8
1.3 Преобразование уравнений Лагранжа II рода .....	13
2 Система управления обращенным маятником .....	21
2.1 Составление компьютерной модели маятника .....	21
2.2 Составление системы управления .....	23
3 Построение нечеткого регулятора для системы управления .....	26
3.1 Нечёткая логика .....	26
3.2 Генетические алгоритмы .....	29
3.3 Применение ген алгоритмов для нечёткого регулятора .....	33
3.3 Описание работы программы .....	37
3.5 Результаты .....	43
4 Безопасность жизнедеятельности. Условия труда оператора ПЭВМ .....	48
4.1 Требования к помещениям .....	48
4.2 Требования к микроклимату .....	49
4.3 Требования к уровням шума и вибрации .....	49
4.4 Требования к освещению .....	50
4.2 Эргономика рабочего места оператора ПЭВМ .....	52
4.2.1 Общие требования .....	52
4.2.2 Требования к размещению органов управления .....	53
4.2.3 Требования к размещению средств отображения информации .....	54
4.3 Режим труда оператора при работе на ПЭВМ .....	55
5 Расчет экономической эффективности .....	57
5.1 Техничко-экономическое обоснование .....	57
5.2 Расчёт единовременных (капитальных) затрат .....	57

					<i>150306.07.ВКР.МР412.05.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

5.3 Расчёт текущих затрат до оптимизации .....	58
5.4 Расчёт текущих затрат после оптимизации .....	60
5.5 Расчёт экономических показателей .....	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	66
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	67
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	68
ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....	73
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	85

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 84 страницы и включает в себя 7 таблиц, 23 рисунка, 3 приложение и 11 источников.

### МАЯТНИК, ДВУХСТУПЕНЧАТЫЙ ОБРАЩЕННЫЙ, ДВУХСТУПЕНЧАТЫЙ ПЕРЕВЁРНУТЫЙ, НЕЧЕТКИЙ РЕГУЛЯТОР, НЕЧЁТКАЯ ЛОГИКА, ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ, БАЗА ПРАВИЛ, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Объект исследования: интеллектуальная система для управления двухступенчатым обращенным маятником выполненная на нечётком регуляторе.

Цель дипломной работы: разработка системы управления двухступенчатым обращенным маятником на базе нечёткой логики.

Результатом работы программы является нечеткий регулятор. Параметры генетического алгоритма, позволяющие построить данную структуру – число поколений 1000 и количество особей равное 200.

Внедрение разработанной системы стабилизации двухступенчатого обращенного маятника окупится через 2 месяца, при этом единовременные затраты составляют 470 тыс.р., величина чистого дохода за пять лет (ЧД) – 12217,3 тыс.р., величина чистого дисконтированного дохода (ЧДД) – 7878,8 тыс.р.

Также в дипломной работе представлены условия труда рабочего места оператора ПЭВМ, позволяющие обеспечить безопасность его жизнедеятельности.

<i>150306.007.ВКР.МР4 12.05.13</i>									
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Разработка системы управления двухступенчатым маятником на базе нечёткой логики.	Лит.	Лист	Листов	
Разраб.		Останин	<i>Останин</i>	29.05.16				2	85
Пров.		Тарасян	<i>Тарасян</i>	27.06					
Консульт.									
Н. Контр.		Тацгер	<i>Тацгер</i>	30.06.16					
Утв.		Тарасян	<i>Тарасян</i>	30.06					
						<b>УрГУПС</b>			



## ОТЗЫВ

на выпускную квалификационную работу «Система управления двухколенным обращённым маятником на базе нечёткой логики» студента группы МР-412 Останина Михаила Андреевича

Данная выпускная квалификационная работа (ВКР) является исследовательской работой в области мехатроники. Одним из основных разделов мехатроники, в современном её понимании, является интеллектуальное управление сложными техническими объектами и системами. Значительное внимание в этой области уделяется нечеткому управлению системами. Основным преимуществом систем нечеткого вывода перед классическими методами управления является возможность использования экспертных знаний о поведении системы, представленных в естественном виде – в виде продукционных правил. Это позволяет в большинстве случаев выбрать более адекватную стратегию управления системой по сравнению с классическими аналитическими методами.

В предлагаемой ВКР реализована интеллектуальная система извлечения знаний на основе генетических алгоритмов. В качестве объекта управления был выбран двухступенчатый обращенный маятник и задача его стабилизации в верхнем неустойчивом положении равновесия. При выполнении работы были построены математические и компьютерные модели трёх типов двухступенчатого обращённого маятника в среде программирования MatLab+Simulink, а также нечеткие регуляторы для управления системой. Основная проблема при построении нечеткой системы управления для двухступенчатого обращенного маятника заключается в том, что он имеет три степени свободы, поэтому экспертное построение базы продукционных правил для нечеткого регулятора существенно затруднено.

ВКР соответствует выданному заданию и выполнена на высоком уровне. В процессе выполнения дипломной работы студент Останин показал себя инициативным специалистом, готовым к самостоятельной работе в выбранной области. Поставленная задача выполнена полностью, но, поскольку работа имеет теоретический характер, возможно дальнейшее углубление исследований в данной области. Работа оформлена в соответствии с действующими нормативными документами.

Считаю, что предлагаемая выпускная квалификационная работа может быть допущена к защите по специальности 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» с оценкой «отлично».

Доцент кафедры "Мехатроника",  
к. ф.-м. н, Тарасян В.С.



## РЕЦЕНЗИЯ

на выпускную квалификационную работу «Система управления двухколенным обращённым маятником на базе нечёткой логики» студента группы МР-412 Останина Михаила Андреевича

Данная выпускная квалификационная работа является исследовательской работой в такой области мехатроники, как интеллектуальное управление сложными системами. Основное отличие интеллектуальных технологий управления от классических, заключается в том, что они более приспособлены для управления плохо обусловленными системами, в которых возникают различного рода неопределенности, нечеткости и различные неточности описания самой системы либо её свойств. Одной из таких технологий является нечеткое управление. Основная проблема при построении нечеткой системы управления заключается в создании базы знаний, в особенности - построение системы продукционных правил.

В рецензируемой работе на примере нечеткой системы управления обращенным маятником реализована интеллектуальная система извлечения знаний. Предложенная система построена на основе генетических алгоритмов. При выполнении работы была построена модель системы в среде программирования MatLab+Simulink, а также нечеткий регулятор для управления системой.

Практическая значимость работы заключается в исследовании возможности применения данных методов к управлению сложными техническими объектами и системами.

Выпускная квалификационная работа характеризуется глубокой проработкой материала и достаточно высоким уровнем программирования в среде MatLab+Simulink. Все предложения и выводы в достаточной степени обоснованы. Работа оформлена в соответствии с действующими нормативными документами.

Недостатком рецензируемой выпускной квалификационной работы является то, что в ней не используются другие методы анализа получаемой системы правил кроме генетических алгоритмов.

Считаю, что предлагаемая выпускная квалификационная работа может быть допущена к защите по специальности 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» с оценкой «отлично».

Рецензент:

профессор кафедры механики и  
математического моделирования  
ИМКН УрФУ, доктор физ-мат.наук,  
профессор

 Ю. Ф. Долгий