

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт – Физико-технический  
 Направление – Ядерные физика и технологии  
 Кафедра – Электроника и автоматика физических установок  
 Специальность – Электроника и автоматика физических установок

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ**

Тема работы
<b>ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СИНТЕЗА И ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АСТАТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ</b>

УДК 004.4:681.51.01.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
072А	Захарова Ю.С.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дядик В.Ф.	канд. техн. наук, доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Е.В.	канд. филос. наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Акимов Д.В.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭАФУ	Горюнов А.Г.	д-р техн. наук, доцент		

Томск – 2017 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественнонаучных и математических знаний, а также культурных ценностей; понимать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности, защите интересов личности, общества и государства; быть готовым к анализу социально-значимых процессов и явлений, применять основные положения и методы гуманитарных, социальных и экономических наук при организации работы в организации, к осуществлению воспитательной и образовательной деятельности в сфере публичной и частной жизни.
P2	Обладать способностями: действовать в соответствии с Конституцией РФ, исполнять свой гражданский и профессиональный долг, руководствуясь принципами законности и патриотизма, правилами и положениями, установленные законами и другими нормативными правовыми актами; к логическому мышлению, обобщению, анализу, прогнозированию, постановке исследовательских задач и выбору путей их достижения; понимать основы национальной и военной безопасности РФ; работать в многонациональном коллективе; формировать цели команды, применять методы конструктивного разрешения конфликтных ситуаций; использовать на практике навыки и

	<p>умения в организации научно-исследовательских и научно-производственных работ.</p>
Р3	<p>Самостоятельно, методически правильного применять методы самостоятельного физического воспитания для повышения адаптационных резервов организма и укрепления здоровья, готовностью к достижению и поддержанию должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.</p>
Р4	<p>Свободно владеть литературной и деловой письменной и устной речью на русском языке, навыками публичной и научной речи. Уметь создавать и редактировать тексты профессионального назначения, владеть одним из иностранных языков как средством делового общения.</p>
Р5	<p>Находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; быть готовым к принятию ответственности за свои решения в рамках профессиональной компетенции, принимать решения в нестандартных условиях обстановки и организовывать его выполнение, самостоятельно действовать в пределах предоставленных прав; самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля для приобретения новых знаний и умений, в том числе в новых областях, непосредственно не связанных со сферой деятельности, развития социальных и профессиональных компетенций.</p>
Р6	<p>Применять основные законы естественнонаучных дисциплин, математический аппарат, вычислительную технику, современные методы исследований процессов и</p>

	объектов для формализации, анализа и выработки решения профессиональных задач.
<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>	
P7	Уметь самостоятельно повышать уровень знаний в области профессиональной деятельности, приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт, методы научно-исследовательской и практической деятельности, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; работать с информацией в глобальных компьютерных сетях; оценивать перспективы развития АСУ и АСНИ физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики), использовать современные достижения в научно-исследовательских работах.
P8	Применять знания о процессах в ядерных энергетических и физических установках, и о технологических процессах ядерного топливного цикла используя методы математического моделирования отдельных стадий и всего процесса для разработки АСУ ТП и АСНИ с применением пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P9	Использовать знания о протекающих процессах в ядерных энергетических установках, аппаратах производств ядерного топливного цикла, теории и практики АСУ ТП, при проектировании, настройке, наладке, испытаниях и эксплуатации современного оборудования, информационного, организационного, математического и

	<p>программного обеспечения, специальных технических средств, сооружений, объектов и их систем; организовать эксплуатацию физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики), современного оборудования и приборов с учетом требований руководящих и нормативных документов; быть готовым к освоению новых образцов физических установок, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний.</p>
P10	<p>Использовать технические средства и информационные технологии, проводить предварительное технико-экономического обоснования проектных расчетов устройств и узлов приборов и установок, расчет, концептуальную и проектную проработку программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ, применять методы оптимизации, анализа вариантов, поиска решения многокритериальных задач с учетом неопределенностей объекта управления, разрабатывать способы применения программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ, решать инженерно-физические и экономические задачи, применяя знания теории и практики АСУ, включающее математическое, информационное и техническое обеспечения, для проектирования, испытания, внедрения и эксплуатации АСУ ТП и АСНИ.</p>
P11	<p>Понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, соблюдать основные требования безопасности и защиты государственной тайны; выполнять мероприятия по восстановлению работоспособности физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики) при</p>

	<p>возникновении аварийных ситуаций, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения; проводить анализ и оценку обстановки для принятия решения в случае возникновения аварийных ситуаций, экологическую безопасность, нормы и правило производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности.</p>
P12	<p>Разрабатывать проекты нормативных и методических материалов, технических условий, стандартов и технических описаний средств АСУ ТП и АСНИ, регламентирующих работу в сфере профессиональной деятельности; осуществлять разработку технического задания, расчет, проектную проработку современных устройств и узлов приборов, установок (образцов вооружения, программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ), использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов.</p>
P13	<p>Использовать в профессиональной деятельности нормативные правовые акты в области защиты государственной тайны, интеллектуальной собственности, авторского права и в других областях; осуществлять поиск, изучение, обобщение и систематизацию научно-технической информации, нормативных и методических материалов в сфере своей профессиональной деятельности.</p>
P14	<p>Проявлять и активно применять способность к организации и управлению работой коллектива, в том числе: находить и принять управленческие решения в сфере профессиональной деятельности; разрабатывать планы работы коллективов; контролировать соблюдение технологической дисциплины, обслуживания, технического оснащения, размещения</p>

	<p>технологического оборудования; организовывать учет и сохранность физических установок (вооружения и техники), соблюдение требований безопасности при эксплуатации; использовать основные методы защиты персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий.</p>
<p>P15</p>	<p>Демонстрировать способность к осуществлению и анализу научно-исследовательских, технологических и пуско-наладочных работ, разработке планов и программ их проведения, включая ядерно-физические эксперименты, выбору методов и средств решения новых задач с применением современных электронных устройств, представлению результатов исследований и формулированию практических рекомендаций их использования в формах научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных работ; выполнять полный объем работ, связанных с техническим обслуживанием физических установок с учетом требований руководящих и нормативных документов.</p>

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт – Физико-технический  
Направление – Ядерные физика и технологии  
Кафедра – Электроника и автоматика физических установок  
Специальность – Электроника и автоматика физических установок

**УТВЕРЖДАЮ**  
Зав. кафедрой ЭАФУ ФТИ  
\_\_\_\_\_ А.Г. Горюнов  
«13» марта 2017 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

**В форме:**

Дипломного проекта
--------------------

**Студенту:**

Группа	ФИО
072А	Захаровой Ю.С.

**Тема работы:**

Тема ВКР в соответствии с приказом	
<b>Утверждена приказом директора ФТИ</b>	от 09.03.2017 № 1591/с

<b>Дата сдачи студентом выполненной работы</b>	10 июня 2017 г.
--	-----------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Передаточные функции астатических объектов с запаздыванием и без запаздывания. Типы законов регулирования: ПИ и ПИД. СКМ Matlab/Simulink.
---------------------------------	---

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Аналитический обзор 2. Применение методов настройки регуляторов, разработанных для астатических объектов, описываемых идеальным интегрирующим звеном с запаздыванием, к объектам, описываемым идеальным интегрирующим звеном без запаздывания и реальными интегрирующими звеньями первого и второго порядков 3. Синтез формул для вычисления прямых показателей качества переходных процессов по возмущающему воздействию САУ астатическими объектами 4. Создание программного комплекса для параметрического синтеза и исследования систем автоматического управления астатическими объектами
<b>Перечень графического материала</b>	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент, канд. филос. наук Меньшикова Е.В.
Социальная ответственность	ассистент Акимов Д.В.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	13 марта 2017 г.
---	------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дядик В.Ф.	канд. техн. наук, доцент		13.03.17

**Задание принял к исполнению студент**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
072А	Захарова Ю.С		13.03.17

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 151 с., 40 рис., 73 табл., 50 источников, 2 прил.

### ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС, ТИПОВЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ, АСТАТИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ, МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРОВ

Объектом исследования является программный комплекс для синтеза и исследования систем автоматического управления астатическими объектами

Цель работы – совершенствование методов автоматизированного параметрического синтеза промышленных систем автоматического управления астатическими объектами.

В процессе исследования проводилось моделирование систем автоматического управления астатическими объектами с ПИ и ПИД-регуляторами. По полученным переходным процессам определен интервал наблюдения и рассчитаны прямые показатели качества.

В результате исследования создан инструментарий для автоматизированного расчета промышленных САУ астатическими объектами, который имеет возможность работать независимо от Matlab.

Область применения: автоматизированный синтез систем автоматического управления астатическими объектами.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в возможности оптимизации технологического процесса путем выполнения синтеза и анализа САУ без лишних затрат ресурсов оборудования, времени разработки и денежных ресурсов.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.0.003–74 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГОСТ 12.2.032–78 «Рабочее место при выполнении работ сидя».

ГОСТ 12.1.006–84 Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**а статический объект:** объект, имеющий произвольное положение равновесия, когда входная величина равна нулю, и не имеющие положения равновесия, когда на входе звена имеется воздействие.

В данной работе применены следующие сокращения, обозначения:

система автоматического управления; САУ.

перерегулирование  $\sigma$ , %.

динамический коэффициент регулирования,  $R_d$ .

время наблюдения,  $T_n$ , с.

переходные процессы; ПП.

программное обеспечение; ПО.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	16
1 Аналитический обзор .....	19
1.1 Идентификация астатических объектов .....	19
1.1.1 Идеальное интегрирующее звено.....	19
1.1.2 Реальное интегрирующее звено первого порядка .....	21
1.1.3 Реальное интегрирующее звено второго порядка .....	22
1.1.4 Классификация моделей технологических объектов без самовыравнивания .....	25
1.1.5 Пример промышленного астатического объекта .....	26
1.2 Описание различных форм представления стандартных регуляторов .	31
1.3 Обзор и анализ методов расчета параметров настройки типовых регуляторов для САУ астатическими объектами .....	32
2 Применение методов настройки регуляторов, разработанных для астатических объектов, описываемых идеальным интегрирующим звеном с запаздыванием, к объектам, описываемым идеальным интегрирующим звеном без запаздывания и реальными интегрирующими звеньями первого и второго порядков.....	45
3 Синтез формул для вычисления прямых показателей качества переходных процессов по возмущающему воздействию САУ астатическими объектами.....	64
4 Создание программного комплекса для параметрического синтеза и исследования систем автоматического управления астатическими объектами. ....	73
4.1 Описание программного комплекса .....	73

4.2	Выбор среды реализации программного продукта .....	74
4.3	Разработка интерфейса пользователя .....	74
4.4	Генерация основного графического пользовательского интерфейса....	77
4.5	Генерация второго пользовательского окна, отображающего графики переходных процессов.....	79
4.6	Генерация третьего пользовательского окна, отображающего результирующую таблицу проверки на грубость.....	81
4.7	Генерация четвертого пользовательского окна, отображающего области показателей качества.....	82
4.8	Генерация пятого пользовательского окна, отображающего возможные методы настройки регулятора.....	84
4.9	Генерация шестого пользовательского окна, отображающего сравнение переходных процессов по выбранным методикам расчета регулятора .....	85
4.10	Генерация седьмого пользовательского окна, отображающего сравнение областей показателей качества по выбранным методикам расчета регулятора .....	86
4.11	Генерация файла sohr.xls.....	89
4.12	Рекомендации по выбору методов для расчета параметров настройки регуляторов для различных отношения времени запаздывания $\tau_{об}$ к постоянной времени $T_{об}$ .....	93
4.13	Синтез системы стабилизации уровня жидкости в барабане парового котла .....	96
4.14	Руководство пользователя.....	101
4.14.1	Назначение программы .....	101
4.14.2	Выполнение программы.....	103
4.14.3	Начало работы .....	104

5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	111
5.1	Введение .....	111
5.2	SWOT-анализ .....	111
5.3	Инициация проекта.....	115
5.4	Бюджет научного исследования.....	119
5.6	Расчет потребляемой электроэнергии .....	124
5.7	Реестр рисков проекта .....	126
6	Социальная ответственность .....	128
6.1	Введение .....	128
6.2	Анализ вредных и опасных производственных факторов в лаборатории №335 .....	130
6.3	Нормы естественного и искусственного освещения .....	131
6.4	Нормы микроклимата в лаборатории 335 .....	133
6.5	Нормы электромагнитных излучений .....	134
6.6	Требования к организации рабочего места.....	136
6.7	Нормы электробезопасности .....	138
6.8	Нормы пожарной безопасности .....	138
6.9	Выводы по разделу .....	139
	Заключение .....	141
	Список публикаций студента.....	143
	Список использованных источников .....	144
	Приложение А. Используемые в комплексе программы и их назначение ...	145
	Приложение Б. Презентация .....	на отдельных листах
	Титульный лист	
	Актуальность работы	
	Цели и задачи	

Классификация астатических объектов

Методы расчёта параметров настройки типовых регуляторов астатических объектов

Расчет прямых показателей качества на примере реального астатического звена 1-го порядка

Показатели качества переходных процессов САУ по возмущающему воздействию

Метод Копеловича-Шаркова

Пример промышленного астатического объекта

Создание программного комплекса. Первое пользовательское окно

Создание программного комплекса. Второе пользовательское окно

Создание программного комплекса. Третье пользовательское окно

Создание программного комплекса. Четвертое пользовательское окно

Создание программного комплекса. Пятое пользовательское окно

Создание программного комплекса. Шестое пользовательское окно

Создание программного комплекса. Седьмое пользовательское окно

Сравнительный анализ

Результаты сравнительного анализа

Генерация файла sohr.xls

Заключение

Диск CD-R.....в конверте на обороте обложки

643.ФЮРА00004-01 81 01 Пояснительная записка ВКР. Файл

Захарова\_ВКР.doc

Презентация к ВКР. Файл Захарова\_ВКР\_презентация.pptx

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы наблюдается все более широкое применение средств вычислительной техники для расчета, проектирования и управления различными физическими установками. Бурное развитие и усложнение техники, существенное расширение масштабов проводимых мероприятий и спектра их возможных последствий, внедрение автоматизированного управления во все области практики – все это приводит к необходимости всестороннего анализа сложных систем, ориентированного на повышение эффективности их управления с использованием современных методов обработки информации.

Целью данной работы является совершенствование методов автоматизированного расчета промышленных систем автоматического управления астатическими объектами. Задачи, которые решались для достижения поставленной цели:

А) обзор и анализ методов расчета параметров настройки типовых регуляторов для САУ астатическими объектами;

Б) синтез формул для вычисления прямых показателей качества переходных процессов по возмущающему воздействию САУ астатическими объектами;

В) разработка программного комплекса, включающего в себя:

– пользовательские окна для выбора типа объекта, закона регулирования, метода расчета параметров настройки и расчета параметров настройки; а также для возможности сравнения переходных процессов по задающему и возмущающему воздействиям САУ астатическим объектом с регулятором, параметры настройки которого рассчитаны по всем выбранным методам;

					<i>643.ФЮРА.00004-01 81 01</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Захарова</i>				<i>Введение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Дядик</i>							
<i>Консульт.</i>								
<i>Н. Контр.</i>	<i>Ефремов</i>							
<i>Утверд.</i>	<i>Горюнов</i>							
						<i>ТПУ ФТИ группа 072А<sup>16</sup></i>		

– пользовательские окна для вывода графиков переходных процессов по задающему и возмущающему воздействиям, вычисления показателей качества;

– пользовательские окна для вывода таблицы проверки системы на грубость при варьирования параметров объекта на заданную величину, а также для вывода областей показателей качества;

– пользовательские окна, в которых есть возможность сопоставления переходных процессов и областей показателей качества системы управления астатическими объектами с регулятором, рассчитанным по любым имеющимся в комплексе методикам расчета параметров настройки регулятора, а также с помощью любой другой методики при ручном расчете параметров настройки регулятора.

– файл `sohr.xls`, который содержит в себе 5 листов: на Листе1 расположены параметры модели объекта, параметры настройки регулятора, выбранный закон регулирования, выбранный метод расчета параметров настройки регулятора, величина уставки и возмущения, а так же диапазон проверки на грубость. На Листе2 находятся данные для построения графиков переходных процессов разомкнутой САУ, замкнутой САУ по возмущающему воздействию, замкнутой САУ по задающему воздействию. На Листе3 отображена таблица проверки на грубость, а также строятся точки зависимости динамического коэффициента регулирования и перерегулирования от времени регулирования. На Листе4 расположены выбранные для сравнения методы настройки параметров регулятора, а также данные для построения графиков переходных процессов разомкнутой САУ, замкнутой САУ по возмущающему воздействию, замкнутой САУ по задающему воздействию. На Листе5 находятся выбранные для сравнения методы настройки параметров регулятора, а также точки для построения

областей показателей качества по задающему и возмущающему воздействиям.

Проведенные исследования производились с помощью моделирования САУ в среде компьютерного моделирования Matlab/Simulink.

# 1 Аналитический обзор

## 1.1 Идентификация астатических объектов

### 1.1.1 Идеальное интегрирующее звено

Звено называют интегрирующим (астатическим, нейтральным), если скорость изменения его выходной величины пропорциональна входной величине:

$$T_a \frac{dy}{dt} = Kx, \quad (1.1)$$

где  $T_a$  – постоянная времени интегрирования,

$K$  – коэффициент пропорциональности.

Запишем передаточную функцию интегрирующего звена:

$$W(s) = K \cdot \frac{1}{T_a s} = \frac{\varepsilon_{об}}{s}, \quad (1.2)$$

где  $\varepsilon$  – добротность по скорости.

Переходная функция для идеального интегрирующего звена (при единичном скачке):

$$y(t) = \varepsilon_{об} \cdot t. \quad (1.3)$$

Переходная характеристика интегрирующего звена (рисунок 1) представляет собой прямую линию, выходящую из начала координат наклонно к оси времени под углом, тангенс которого равен

					<i>643.ФЮРА.00004-01 81 01</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Захарова</i>			<i>Аналитический обзор</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Дядик</i>						
<i>Консульт.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		<i>Ефремов</i>						
<i>Утверд.</i>		<i>Горюнов</i>						
						<i>ТПУ ФТИ</i> <i>группа 072А</i>		
						<i>19</i>		

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{K}{T_a} = \varepsilon_{об}. \quad (1.4)$$

Добротность по скорости определяется как:

$$\varepsilon_{об} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta t}. \quad (1.5)$$

При конечном  $\Delta x$ , добротность по скорости определяется следующим образом:

$$\varepsilon_{об} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\Delta x}. \quad (1.6)$$

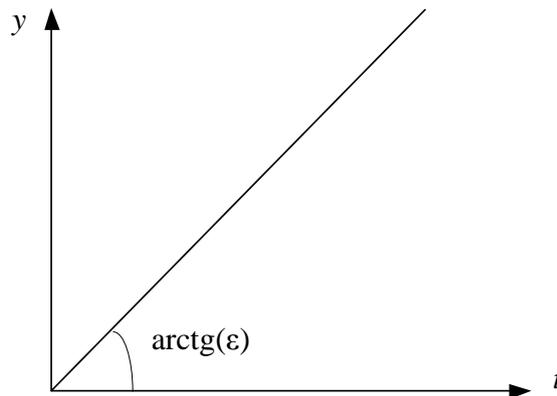


Рисунок 1 – Переходная характеристика идеального интегрирующего звена

Кривая разгона показывает, что интегрирующее звено не обладает самовыравниванием, т. е. при небольшом изменении входного сигнала выходной сигнал интегрирующего звена начинает изменяться с постоянной скоростью и никогда не возникает нового установившегося состояния.

### 1.1.2 Реальное интегрирующее звено первого порядка

Реальное интегрирующее звено первого порядка – это элемент, состоящий из апериодического и идеального интегрирующих звеньев, соединенных последовательно.

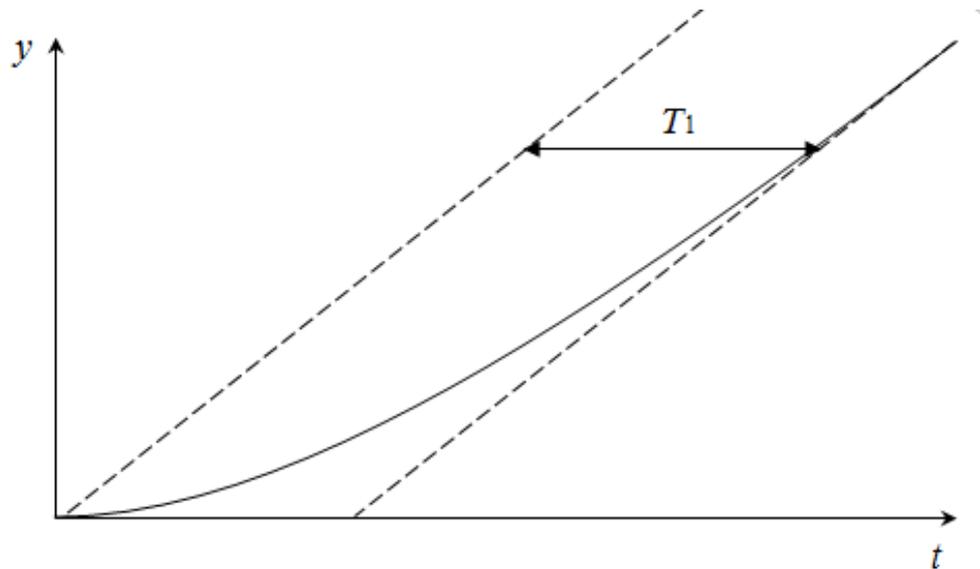


Рисунок 2 – Переходная характеристика реального интегрирующего звена первого порядка

Согласно определению, передаточная функция такого элемента имеет вид:

$$W_{об}(s) = \frac{\varepsilon_{об}}{(T_1 s + 1)s}, \quad (1.7)$$

а дифференциальное уравнение, описывающее движение этого элемента:

$$T_1 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + \frac{dy(t)}{dt} = \varepsilon_{об} x(t). \quad (1.8)$$

Решая это дифференциальное уравнение при входном сигнале, равном  $1(t)$ , получаем выражение переходной функции:

$$y = t - T_1 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_1}} \right). \quad (1.9)$$

На рисунке 2 показан вид переходной функции такого элемента.

Через достаточно большое время величина  $e^{-\frac{t}{T_1}}$  становится пренебрежительно малой и изменение выходной координаты элемента будет происходить по закону

$$y = t - T_1. \quad (1.10)$$

Таким образом, параметр  $T_1$  элемента (постоянная времени апериодического звена) будет определяться величиной горизонтального отрезка между двумя прямыми – прямой, определяемой выражением (1.10), и параллельной ей прямой, проходящей через начало координат (рисунок 2).

### 1.1.3 Реальное интегрирующее звено второго порядка

Реальное интегрирующее звено второго порядка – элемент, состоящий из двух апериодических и идеального интегрирующего звеньев, соединенных последовательно.

Согласно определению передаточная функция элемента имеет вид

$$W(s) = \frac{\varepsilon_{об}}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)s}, \quad (1.11)$$

переходная функция такого элемента описывается уравнением:

$$y(t) = t - \frac{T_1^2}{T_1 - T_2} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_1}} \right) + \frac{T_2^2}{T_1 - T_2} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_2}} \right). \quad (1.12)$$

Вид переходной функции элемента показан на рисунке 3. Кривая переходной функции асимптотически приближается к прямой

$$y = t - (T_1 + T_2). \quad (1.13)$$

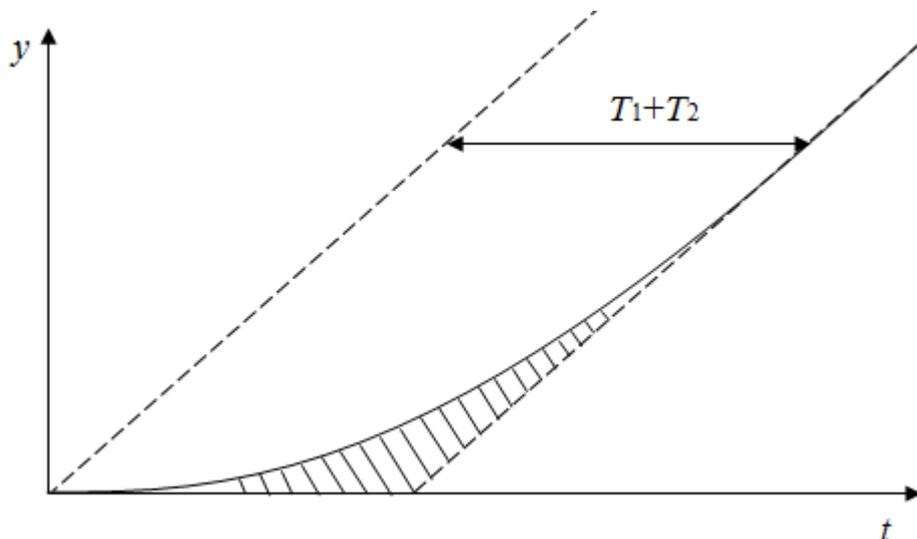


Рисунок 3 – Переходная характеристика реального интегрирующего звена второго порядка

Асимптота отсекает на оси абсцисс отрезок, равный по своей величине сумме постоянных времени апериодических звеньев.

Определим площадь  $S$ , ограниченную осью абсцисс, асимптотой (1.13) и переходной функцией (1.12) (на рисунке 3 эта площадь заштрихована):

$$S = \int_0^{T_1+T_2} y(t)dt + \int_{T_1+T_2}^{\infty} [y(t) - t + T_1 + T_2]dt = \frac{T_1^2 + T_2^2}{2}, \quad (1.14)$$

следовательно,

$$T_1 \cdot T_2 = \frac{(T_1 + T_2)^2}{2} - S. \quad (1.15)$$

Величины  $(T_1 + T_2)$  и  $S$  определяются по переходной функции.

Обозначив сумму постоянных времени через  $a$ , и учитывая зависимость (1.15), получим систему уравнений

$$\begin{cases} T_1 + T_2 = a; \\ T_1 \cdot T_2 = \frac{a^2}{2} - S. \end{cases} \quad (1.16)$$

Разрешая уравнения (1.16) относительно  $T_1$  и  $T_2$ , получим

$$\begin{cases} T_1 = \frac{a}{2} + \sqrt{S - \frac{a^2}{4}}; \\ T_2 = \frac{a}{2} - \sqrt{S - \frac{a^2}{4}}. \end{cases} \quad (1.17)$$

Добротность по скорости определяется как

$$\varepsilon_{06} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta t}. \quad (1.18)$$

При конечном  $\Delta x$  добротность по скорости определяется следующим образом:

$$\varepsilon_{об} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\Delta x}. \quad (1.19)$$

#### 1.1.4 Классификация моделей технологических объектов без самовыравнивания

Объекты, описываемые динамическими звеньями, имеющими произвольные положения равновесия при входной величине равной нулю и не имеющие равновесия, при конечных значениях входных координат, называются астатическими объектами. В таблице 1 представлены математические модели астатических объектов.

Таблица 1 – Математические модели астатических объектов

Виды моделей астатических объектов	Передаточные функции моделей астатических объектов с запаздыванием	Передаточные функции моделей астатических объектов без запаздывания
Идеальное интегрирующее звено	$W(s) = \frac{\varepsilon_{об}}{s} \cdot e^{-\tau_{об}s}$	$W(s) = \frac{\varepsilon_{об}}{s}$
Реальное интегрирующее звено 1-го порядка	$W(s) = \frac{\varepsilon_{об}}{s(T_1s + 1)} \cdot e^{-\tau_{об}s}$	$W(s) = \frac{\varepsilon_{об}}{s(T_1s + 1)}$

Виды моделей астатических объектов	Передаточные функции моделей астатических объектов с запаздыванием	Передаточные функции моделей астатических объектов без запаздывания
Реальное интегрирующее звено 2-го порядка	$W(s) = \frac{\varepsilon_{об}}{s(T_1s + 1)(T_2s + 1)} \cdot e^{-\tau_{об}s}$	$W(s) = \frac{\varepsilon_{об}}{s(T_1s + 1)(T_2s + 1)}$

### 1.1.5 Пример промышленного астатического объекта

Большое число объектов регулирования теплоэнергетического оборудования не обладает самовыравниванием. К ним относятся уровни в емкостях, включая уровень в барабане котла.

Паровой котел предназначен для получения водяного пара высокого давления и температуры. В барабан котла, представляющий собой стальной цилиндр, рассчитанный на высокое давление, непрерывно подводится питательная вода, предназначенная для образования из нее пара. Устройство парогенератора с естественной циркуляцией изображено на рисунке 4.

Барабан имеет систему опускных (холодных) 1 и подъемных (обогреваемых) 2 трубок. Тепло, образовавшееся в результате сжигания топлива, подводится к подъемным трубкам. Топливо при помощи горелочных устройств 3 вводится в топку, где и сгорает. Воздух, необходимый для сгорания топлива, подается в топку дутьевым вентилятором или подсасывается через колосниковую решетку – при естественной тяге.

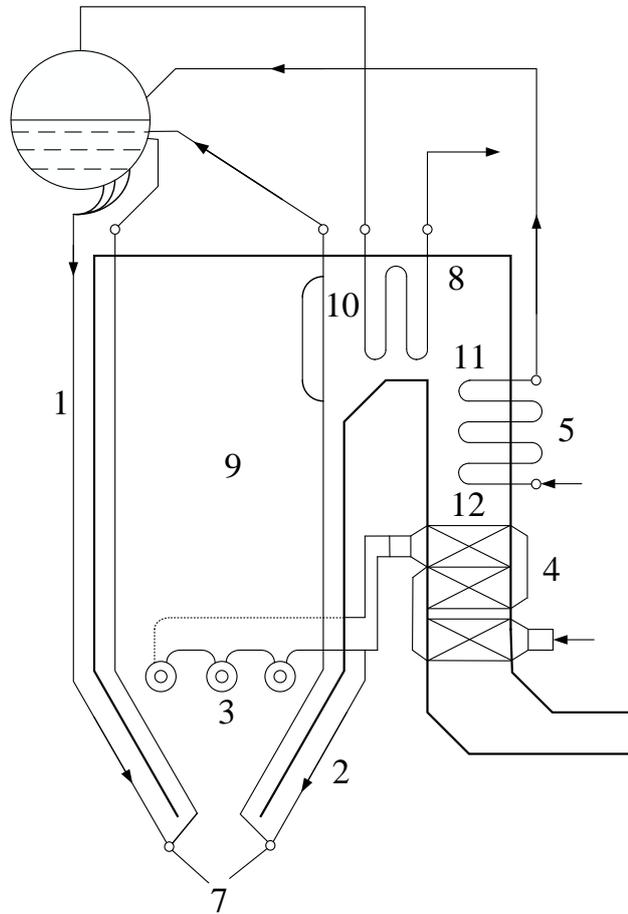
Для улучшения процесса сгорания топлива и повышения экономичности работы котла воздух перед подачей в топку предварительно подогревается дымовыми газами в воздухоподогревателе 4.

Дымовые газы, отдав часть своего тепла радиационным поверхностям нагрева, размещенным в топочной камере, поступают в конвективную поверхность нагрева, охлаждаются и дымососом удаляются через дымовую трубу в атмосферу.

Сырая водопроводная вода проходит через катионитовые фильтры, умягчается и далее поступает в деаэратор, где из нее удаляются коррозионно-активные газы ( $O_2$  и  $CO_2$ ) и стекает в бак деаэрированной воды. Из бака питательная вода забирается питательными насосами и подается в экономайзер 5 парового котла. Нагретая теплом дымовых газов вода из экономайзера поступает в верхний барабан 6 котла, откуда по опускным трубам 1 направляется в коллектора экранов 7 или в нижний барабан. Возвращаясь по подъемным трубам 2 в верхний барабан, часть воды испаряется. В верхнем барабане происходит отделение пара от воды. Пар направляется в пароперегреватель 8, где он перегревается до требуемой температуры. Затем перегретый пар поступает в общий паровой коллектор, откуда подается потребителям (рисунок 4).

Котел, как технологический агрегат, является сложным объектом управления. Для надежной и экономичной работы котла в нем следует поддерживать (регулировать) множество технологических параметров, в том числе: процесс горения в топке котла, подачу воздуха в топку котла, разрежение в топке котла, уровень воды в барабане котла (питание котла).

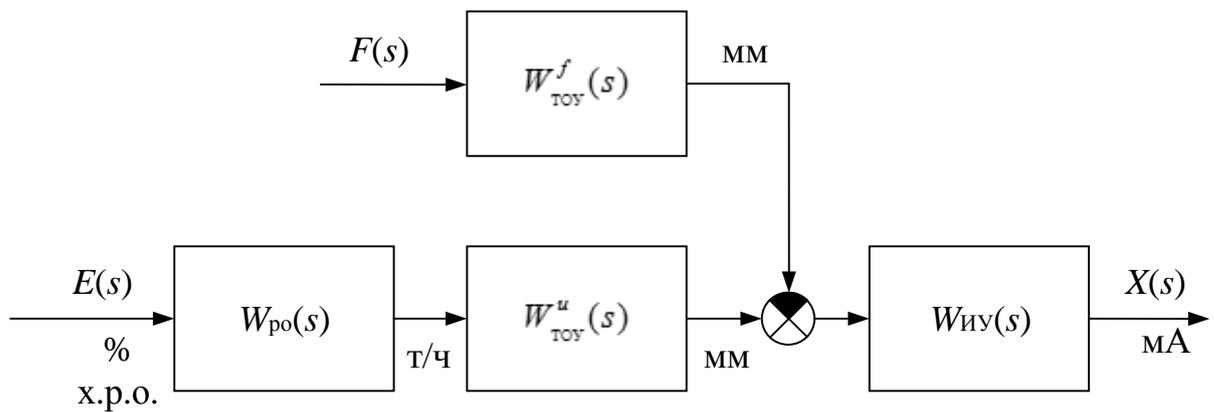
Принято, что максимально допустимые отклонения уровня воды барабане  $\pm 100$  мм от среднего значения. Снижение уровня может привести к нарушениям питания и охлаждения водоподъемных труб. Повышение уровня может привести к снижению эффективности внутрибарабанных устройств. Перепитка барабана и заброс частиц воды в турбину может явиться причиной тяжелых механических повреждений ее ротора и лопаток. Поэтому управление уровнем воды в барабане парового котла является неотъемлемой частью работы всей котельной установки.



1 – опускные трубки; 2 – подъемные трубки; 3 – горелочные устройства; 4 – воздухоподогреватель;  
 5 – экономайзер; 6 – верхний барабан котла; 7 – нижние коллектора; 8 – пароперегреватель;  
 9 - топочная камера; 10 – горизонтальный газоход; 11 – поворотная камера; 12 – конвективная шахта

**Рисунок 4 – Принципиальная схема барабанного парогенератора**

Структурная схема барабана парового котла как объекта управления представлена на рисунке 5.



РО – регулирующий орган; ТОУ – технологический объект управления; ИУ – измеритель уровня  
 Рисунок 5 – Структурная схема модели барабана парового котла как объекта управления

Передаточная функция регулирующего органа (РО):

$$W_{po}(s) = K_{po}; \quad (4.1)$$

где  $K_{po} = 7,1 \frac{\text{Т/ч}}{\% \text{ х.р.о.}}$ .

Передаточная функция технологического объекта управления (ТОУ) по управляющему воздействию:

$$W_{TOY}^u(s) = \frac{K_{TOY}^u}{s} \cdot e^{-\tau_{TOY}s}; \quad (4.2)$$

где  $K_{TOY}^u = 0,01 \frac{\text{ММ}}{\text{Т/ч}}$ ;

$\tau_{TOY} = 10 \text{ с.}$

Передаточная функция технологического объекта управления (ТОУ) по возмущающему воздействию:

$$W_{\text{ТОУ}}^f(s) = \frac{K_{\text{ТОУ}}^f}{s} \cdot e^{-\tau_{\text{ТОУ}}s}; \quad (4.3)$$

где  $K_{\text{ТОУ}}^f = 0,014 \frac{\text{ММ}}{\text{Т/Ч}};$

$\tau_{\text{ТОУ}} = 10 \text{ с.}$

Передаточная функция измерителя уровня (ИУ):

$$W_{\text{ИУ}}(s) = \frac{K_{\text{ИУ}}}{T_{\text{ИУ}}s + 1}; \quad (4.4)$$

где  $K_{\text{ИУ}} = 0,68 \frac{\text{МА}}{\text{ММ}};$

$T_{\text{ИУ}} = 10 \text{ с.}$

Таким образом, необходимая для синтеза САУ парового котла передаточная функция обобщенного объекта по управляющему воздействию имеет вид:

$$W_{\text{об}}(s) = \frac{\varepsilon_{\text{об}}^u}{T_{\text{об}}s + 1} \cdot e^{-\tau_{\text{об}}s}; \quad (4.5)$$

где  $\varepsilon_{\text{об}}^u = 0,048 \frac{\text{ММ/С}}{\text{Т/Ч}};$

$$T_{об} = 9 \text{ с};$$

$$\tau_{об} = 10 \text{ с}.$$

Передаточная функция обобщенного объекта управления по возмущающему воздействию имеет вид:

$$W_{об}(s) = \frac{\varepsilon_{об}^f}{T_{об}s + 1} \cdot e^{-\tau_{об}s}; \quad (4.6)$$

где  $\varepsilon_{об}^f = 0,07 \frac{\text{мм/с}}{\text{г/ч}};$

$$T_{об} = 9 \text{ с};$$

$$\tau_{об} = 10 \text{ с}.$$

## 1.2 Описание различных форм представления стандартных регуляторов

Каждый контур регулирования обобщенно можно рассматривать как систему, состоящую непосредственно из самого объекта регулирования и регулятора, который через исполнительное устройство может влиять на регулируемую координату объекта.

Каждый регулятор можно охарактеризовать:

- законом, на основе которого осуществляется регулирование;
- типами входных сигналов;
- типами выходных сигналов управления;
- способом задания уставки регулирования;
- дополнительными возможностями (дополнительные функции, дополнительные входы/выходы).

В таблице 2 представлены формы передаточных функций идеальных типовых регуляторов.

Таблица 2 – Типовые регуляторы

Тип регулятора	Передаточные функции идеальных регуляторов	
П	$W_{\Pi}(s) = k_R$	$W_{\Pi}(s) = k_R$
ПИ	$W_{\text{ПИ}}(s) = k_R + \frac{k_R}{T_i s}$ $T_i = \frac{k_R}{k_i}$	$W_{\text{ПИ}}(s) = k_R + \frac{k_i}{s}$ $k_i = \frac{k_R}{T_i}$
ПИД	$W_{\text{ПИД}}(s) = k_R + \frac{k_R}{T_i s} + k_R T_d s$ $T_i = \frac{k_R}{k_i}; T_d = \frac{k_d}{k_i}$	$W_{\text{ПИД}}(s) = k_R + \frac{k_i}{s} + k_d s$ $k_i = \frac{k_R}{T_i}; k_d = k_R T_d$

## 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 5.1 Введение

Программу, как любое техническое решение необходимо рассматривать с экономической точки зрения экономической целесообразности и пользы. Целью технико-экономического обоснования разработки является количественное и качественное доказательство экономической целесообразности усовершенствования программы, а также определение организационно-экономических условий ее эффективного функционирования.

Программное изделие должно быть разработано так, чтобы оно выполняло свои функции без лишних затрат ресурсов оборудования, на котором оно установлено (оперативной памяти ЭВМ, машинного времени, пропускной способности каналов передачи данных и др. – на стадии функционирования; время разработки и денежных ресурсов – на стадии использования программного изделия).

### 5.2 SWOT-анализ

Для объективного оценивания конкурентоспособности и перспектив развития разработки необходимо проанализировать сильные и слабые стороны, а также угрозы и возможности, которые могут повлиять на разработку. SWOT-анализ позволит сформировать направление, в котором необходимо работать, чтобы повысить конкурентоспособность научной разработки.

Сильными сторонами разрабатываемого ПО является: возможность визуализации различных типов данных в одном ПО, реализация расчета

					<i>643.ФЮРА.00004-01 81 01</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Захарова</i>			<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Дядик</i>						
<i>Консульт.</i>		<i>Меньшикова</i>				<i>ТПУ ФТИ <sup>33</sup> группа 072А</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Ефремов</i>						
<i>Утверд.</i>		<i>Горюнов</i>						

прямых показателей качества переходных процессов САУ астатическим объектом.

Слабыми сторонами разрабатываемого ПО являются зависимость от стороннего ПО, разработчики которого не являются партнерами.

Возможностями проекта является расширение поддерживаемого функционала, а также интерес со стороны потенциальных покупателей и инвесторов.

Угрозой данному проекту является изменения в лицензионных соглашениях используемого стороннего ПО.

Корреляция между сильными и слабыми сторонами проекта с возможностями и угрозами отображена в итоговой матрице SWOT-анализа (таблица 3)

Таблица 3 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Простой интерфейс</p> <p>С2. Возможность визуализации различных типов данных в одном ПО</p> <p>С3. Уникальные программные решения</p> <p>С4 Платформа для новых научных исследований</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие опыта разработки и поддержания проектов подобного рода у разработчика</p> <p>Сл2. Зависимость от стороннего ПО</p> <p>Сл3. Недостаточность программно-технической документации для пользователей</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Межвузовское сотрудничество</p> <p>В2. Дальнейшее финансирование разработки для развития</p> <p>В3. Проведение новых научных исследований</p>	<p>Проект может получить серьезное развитие, итогами которого станут обширное внедрение разработки в наукоемких производствах, расширение функционала, технических возможностей.</p>	<p>Проект может использовать разработки других ведущих вузов, находящихся в взаимном соглашении, для компенсации зависимости от стороннего ПО.</p> <p>Использование спонсорской поддержки на компенсацию расходов, связанную с разработкой и поддержанием проекта.</p>

<p>В4. Интерес со стороны потенциальных покупателей и инвесторов</p> <p>В4. Расширение поддерживаемого функционала</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Изменения в лицензионных соглашениях используемого стороннего ПО</p>	<p>Проект претерпит изменения в программной части, чтобы оставаться конкурентоспособным</p>	<p>Существует риск закрытия проекта, из-за недостаточности опыта в общении с потенциальными покупателями и, как следствие, уменьшение доходов и невозможность приобретения новой лицензии для стороннего ПО</p>

### 5.3 Инициация проекта

Инициация проекта состоит из процессов, которые выполняются для нового проекта или новой стадии проекта. Для этого определяются начальные цели, содержание, фиксируются ресурсы. Также определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта.

Заинтересованные стороны проекта отображены в таблице 4.

Таблица 4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
ТПУ	Создание и коммерческая реализация перспективной научной разработки; написание научных статей, с целью публикации в известных научных журналах для поднятия рейтинга ВУЗа
ТГУ	Участие в межвузовском сотрудничестве по созданию и внедрению научных разработок
Предприятия, ведущие разработки в области синтеза и исследования САУ астатическими объектами	Использование ПО в научной деятельности предприятия; написание научных статей, с целью публикации в известных научных журналах с целью повышения рейтинга предприятия

В таблице 5 представлена информация о целях проекта, критериях достижения целей, а также требования к результатам проекта.

Таблица 5 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Совершенствование методов автоматизированного расчета промышленных систем автоматического управления астатическими объектами
Ожидаемые результаты проекта:	Конкурентоспособное программное обеспечение для синтеза и исследования систем автоматического управления астатическими объектами
Критерии приемки результата проекта:	Работоспособность программного обеспечения, технические характеристики, востребованность продукта на рынке
Требования к результату проекта:	Требование:
	Синтез формул для расчета прямых показателей качества переходных процессов САУ астатическими объектами по возмущающему воздействию
	Независимость от стороннего ПО
	Генерация отчета о проделанной работе в Excel

Далее необходимо решить кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Рабочая группа проекта отображена в таблице 6.

Таблица 6 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- затраты, ч
Дядик В.Ф., Кафедра ЭАФУ, доцент	Руководитель проекта	Организация работ, координация действий участников проекта	84
Захарова Ю.С., Кафедра ЭАФУ, студент	Исполнитель проекта	Анализ существующих программных продуктов, моделирование процессов, разработка ПО, составление технической документации.	414
ИТОГО:			498

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта, который может быть представлен в виде диаграммы Ганта. Календарный план в виде диаграммы Ганта представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Диаграмма Ганта

Код работы (из ИСР)	Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ													
				Март			Апрель				Май						
				2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
1	Составление технического задания	Руководитель	7														
2	Анализ существующих программных продуктов	Инженер (дипломник)	4														
3	Моделирование	Инженер (дипломник)	10														
4	Составление алгоритма функционирования компонентов	Инженер (дипломник), руководитель	7														
5	Реализация ПО	Инженер (дипломник)	31														
6	Проведение испытаний	Инженер (дипломник)	10														
7	Написание Записки	Инженер (дипломник)	7														



– Руководитель

–



Инженер (дипломник)

## 5.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

В данной научной разработке планируемыми расходами являются основная заработная плата, дополнительная заработная плата, а также расходы на электроэнергию при работе с компьютером. Перечень используемого спецоборудования приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. р.	Общая стоимость оборудования, тыс. р.
Ноутбук	1	25	25

Средства на приобретение компьютера не затрачивались, т.к. он уже был в наличии. Необходимо рассчитать амортизационные отчисления для данного оборудования.

Норма амортизации:

$$N_a = \frac{1}{n} \cdot 100 = \frac{1}{5} \cdot 100 = 20 \%, \quad (5.1)$$

где  $N_a$  – норма амортизации в процентах;

$n$  – срок полезного использования в годах.

Годовая сумма амортизации:

$$A_r = \frac{F_n \cdot H_a}{100} = \frac{25000 \cdot 20}{100} = 5000 \text{ р.} \quad (5.2)$$

где  $F_n$  – первоначальная стоимость.

Ежемесячная сумма амортизации:

$$A_m = \frac{A_r}{12} = \frac{6400}{12} = 416,67 \text{ р.} \quad (5.3)$$

Амортизация за все время разработки:

$$A_{\text{разр}} = A_m \cdot 2,5 = 416,67 \cdot 2,5 = 1041,68 \text{ р.} \quad (5.4)$$

## 5.5 Основная заработная плата

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников. Величина расходов определяется из трудоемкости выполняемых работ.

Основная заработная плата работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} \quad (5.5)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника;

$T_{\text{раб}}$  – продолжительность работ, выполняемых работником.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (5.6)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – оклад работника;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в год;

$F_{\text{д}}$  – годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (5.7)$$

где  $Z_{\text{б}}$  – базовый оклад, р;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент (30 % от  $Z_{\text{тс}}$ );

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2–0,5 (в НИИ за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15–20 % от  $Z_{\text{тс}}$ );

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер (дипломник)
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	52	52
– праздничные дни	16	16
Потери рабочего времени		
– отпуск	48	48
– невыходы по болезни		

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер (дипломник)
Действительный годовой фонд рабочего времени	249	249

Оклад руководителя составляет 26300 р, оклад дипломника составляет 9893,56 р.

Месячный должностной оклад руководителя:

$$Z_m = Z_6 \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 26300 \cdot (1,3 + 1,5) \cdot 1,3 = 61542 \text{ р.} \quad (5.8)$$

Месячный должностной оклад дипломника:

$$Z_m = Z_6 \cdot k_p = 9893,56 \cdot 1,3 = 12861,63 \text{ р.} \quad (5.9)$$

Далее была рассчитана среднедневная заработная плата дипломника:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{12861,63 \cdot 10,4}{249} = 537,19 \text{ р/день.} \quad (5.10)$$

Среднедневная заработная плата для руководителя:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{61542 \cdot 10,4}{249} = 2570,43 \text{ р/день.} \quad (5.11)$$

В результате основная заработная плата руководителя  $Z_{осн}$ :

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} = 2570,43 \cdot 14 = 35986,02 \text{ р.} \quad (5.12)$$

Основная заработная плата дипломника  $Z_{\text{осн}}$ :

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} = 537,19 \cdot 69 = 37066,11 \text{ р.} \quad (5.13)$$

где  $T_{\text{раб}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, дн.

Итоговый расчет представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{б}}$ , р.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$ , р.	$Z_{\text{дн}}$ , р/день.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , р
Руководитель	26300	1,3	1,5	1,3	61542	2570,43	14	35986,02
Дипломник	9893,56	-	-	1,3	12861,63	537,19	69	37066,11

Дополнительная заработная плата  $Z_{\text{доп}}$  рассчитывается исходя из 10–15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (5.14)$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, р.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, р.

Таким образом, дополнительная заработная плата руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,1 \cdot 35986,02 = 3598,6 \text{ р.} \quad (5.15)$$

Дополнительная заработная плата дипломника:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,1 \cdot 37066,11 = 3706,61 \text{ р.} \quad (5.16)$$

Отчисления во внебюджетные фонды рассчитываются:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}). \quad (5.17)$$

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

Отчисления руководителя во внебюджетные фонды:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (35986,02 + 3598,6) = 11875,39 \text{ р.} \quad (5.18)$$

Отчисления дипломника во внебюджетные фонды:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (37066,11 + 3706,61) = 12231,82 \text{ р.} \quad (5.19)$$

## 5.6 Расчет потребляемой электроэнергии

Основным потребляемым сырьем в данной научной разработке является потребление электроэнергии компьютером. Для расчета стоимости потребляемой электроэнергии необходимо знать потребляемую мощность компьютером, время работы и текущий тариф на электроэнергию по формуле (5.20):

$$C_{\text{эз}} = 6 \cdot Д \cdot Т \cdot М \quad (5.20)$$

где б – 6-часовой рабочий день;

Д – продолжительность работ;

Т – тариф на электроэнергию;

М – мощность, потребляемая ноутбуком.

По техническим характеристикам, ноутбук потребляет 119,925 Вт электроэнергии. Стоимость одного киловатт-часа электроэнергии составляет 5,8 рублей. Значит, за 6-часовой рабочий день затраты на работу ноутбука составят:  $6 \cdot 1 \cdot 5,8 / 1000 \cdot 119,925 = 4,17$  р., а за всё время работы:

$$C_{\text{эз}} = 6 \cdot Д \cdot Т \cdot М = 287,73 \text{ р.} \quad (5.21)$$

Рассчитанные затраты на исследования и итоговая плановая себестоимость отображены в таблице 11.

Таблица 11 – Затраты на разработку

Статьи	Сумма, р.
Сырье, материалы (электроэнергия)	287,73
Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ (амортизация)	1041,68
Основная заработная плата	73052,13
Дополнительная заработная плата	7305,21
Отчисления на социальные нужды	24107,21
Итого плановая себестоимость	105793,96

## 5.7 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Перечень возможных рисков приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Реестр рисков

Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1–5)	Влияние риска (1–5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
Низкое качество итогового продукта	Низкий спрос на готовый продукт	2	5	Высокий	Оптимизация программного кода, поиск и устранение ошибок в работе программы	Некомпетентность разработчика ПО, низкие знания в предметной области
Отсутствие заинтересованных потребителей	Низкий спрос на готовый продукт, финансовые	1	3	Низкий	Проведение рекламной компании, предоставление временной бесплатной лицензии образовательным	Выход на рынок продукта от уже существующих на рынке предприятий

Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1–5)	Влияние риска (1–5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
на момент завершения проекта	убытки				учреждениям	
Выход из строя проектного оборудования	Остановка разработки продукта	1	4	Низкий	Своевременное техническое обслуживание оборудования. Наличие запасного оборудования	Отсутствие технического обслуживания оборудования. Нарушение условий эксплуатации.
Невыполнение проекта в срок	Выплата разработчиком финансовых потерь заказчику	3	3	Средний	Увеличение числа разработчиков.	Некомпетентность разработчика ПО, низкие знания в предметной области. Невыполнение обязательств разработчиком

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Ю.С. Захарова, В.Ф. Дядик Синтез и исследование систем автоматического управления астатическими объектами. Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник тезисов докладов VIII Международной научно-практической конференции, г. Томск, 1-3 июня 2016 г. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016.