

**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

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>РАЗРАБОТКА В СРЕДЕ MSVS ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ТИПОВЫХ ЛИНЕЙНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ И ИССЛЕДОВАНИЯ ОДНОКОНТУРНЫХ САУ ПО ОТКЛОНЕНИЮ</b>

УДК 004.415:681.511.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0711	Намсараев Юндэн Цыбендоржиевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преп.	Креницын Н.С.	канд. техн. наук		

**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>	
Р1	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.
Р2	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 умения в организации научно-исследовательских и научно-производственных работ.
Р3	Самостоятельно, методически правильно 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.
P4	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.
P5	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.
P6	Применять основные законы естественнонаучных дисциплин, математический аппарат, вычислительную технику, современные методы исследований процессов и 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

	<p>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.</p>
Р8	<p>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.</p>
Р9	<p>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 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</p>

	образцов физических установок, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний.
P10	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.
P11	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 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.
P12	Разрабатывать проекты нормативных и методических

	<p>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 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>
P15	<p>Демонстрировать способность к осуществлению и анализу</p>

	<p>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  
«03» октября 2016 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

**В форме:**

Дипломной работы
------------------

**Студенту:**

Группа	ФИО
0711	Намсараев Ю.Ц.

**Тема работы:**

Разработка в среде MSVS программного модуля для параметрического синтеза типовых линейных регуляторов и исследования одноконтурных САУ по отклонению
--

<b>Утверждена приказом директора ФТИ</b>	от 31.10.2016 № 9286/с
--	------------------------

<b>Дата сдачи студентом выполненной работы</b>	23 января 2017 г.
--	-------------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	- выпускная квалификационная работа Палагиной О.С. - программный модуль «SAR-SINTEZ», - программный модуль «SARMAT».
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	- объекты и методы исследования, - описание программного модуля «AcssiP», - руководство пользователя.
<b>Перечень графического материала</b>	- блок-схемы алгоритмов программ.



<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент, канд. филос. наук Меньшикова Е.В.
Социальная ответственность	ассистент Акимов Д.В.
Научно-технические вопросы	ст. преп., канд. техн. наук Креницын Н.С.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	03 октября 2016 г.
---	--------------------

**Задание выдал руководитель:**

<i>Должность</i>	<i>ФИО</i>	<i>Ученая степень, звание</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>
Ст. преп.	Креницын Н.С.	канд. техн. наук		03.10.16

**Задание принял к исполнению студент**

<i>Группа</i>	<i>ФИО</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>
0711	Намсараев Ю.Ц.		03.10.16

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 224 с., 29 рис., 54 табл., 27 источников, 4 прил.

СИНТЕЗ ОДНОКОНТУРНЫХ САУ, СТАТИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ, АСТАТИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ, MICROSOFT VISUAL STUDIO, ТИПОВЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ, МЕТОДЫ РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРОВ, ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ

Объектом исследования является программный модуль «AcssiP».

Цель работы – Разработка программного модуля «AcssiP», для параметрического синтеза одноконтурных систем автоматического управления.

Область применения: для студентов специальности 140801 «Электроника и автоматика физических установок» и других инженерно-технических специальностей.

В результате проделанной работы был создан программный продукт «AcssiP», позволяющий проводить расчет параметров настройки типовых идеальных регуляторов, построение графиков переходных процессов, расчетов показателей качества и построение плоскости показателей качества.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 19781-90. Межгосударственный стандарт. Обеспечение систем обработки информации

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

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**время регулирования:** Время, за которое управляемая координата системы автоматического управления достигает заданного значения уставки с заданной точностью регулирования.

**перерегулирование:** Отношение разности первого максимального отклонения управляемой координаты от ее установившегося значения к этому установившемуся значению, выраженное в относительных единицах или процентах.

**динамический коэффициент регулирования:** Отношение максимального отклонения переходного процесса замкнутой системы, вызванное возмущающим воздействием, к максимальному отклонению от уставки, вызванного тем же возмущением, действующим на объект в разомкнутой системе без регулятора.

**статическая ошибка:** Отклонение установившегося значения управляемой координаты от значения заданной уставки.

**плоскость показателей качества:** Плоскость, по оси абсциссы которой откладывается время регулирования, а по оси ординаты – перерегулирование или динамический коэффициент регулирования, на которой распределены точки, соответствующие показателям качества САУ при неустойчивости параметров объекта управления в заданном диапазоне.

В данной работе применены следующие сокращения:

Microsoft Visual Studio; MSVS.

программный модуль; ПМ.

программное обеспечение; ПО.

переходный процесс; ПП.

система автоматического регулирования; САР.

система автоматического управления; САУ.

технологический объект управления; ТОУ.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	17
1 Объекты и методы исследования .....	19
1.1 Типы и виды объектов управления .....	19
1.1.1 Статические объекты.....	19
1.1.2 Астатические объекты.....	20
1.2 Типовые законы регулирования .....	25
1.3 Расчет параметров настройки типовых регуляторов для статических объектов управления.....	26
1.4 Расчет параметров настройки типовых регуляторов для астатических объектов управления.....	40
1.5 Расчет переходных процессов .....	44
1.6 Выбор оптимального шага моделирования.....	73
2 Описание ПМ «AcssiP», руководство пользователя .....	81
2.1 Описание ПМ «AcssiP» .....	81
2.1.1 Выбор среды реализации программного продукта .....	83
2.1.2 Описание выбранной среды разработки .....	83
2.1.3 Разработка ПМ «AcssiP» .....	84
2.1.4 Генерация основного графического пользовательского интерфейса .....	86
2.1.5 Генерация второго пользовательского окна, отображающего графики переходных процессов .....	88
2.1.6 Генерация третьего пользовательского окна, отображающего разброс точек плоскости показателей качества .....	90
2.2 Руководство пользователя .....	93

2.2.1	Назначение программы .....	93
2.2.2	Условия выполнения программы.....	95
2.2.3	Выполнение программы.....	95
2.2.4	Начало работы.....	96
3	Исследования, проведенные на программном модуле .....	102
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоснабжение .....	110
4.1	Технико-экономическое обоснование .....	110
4.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	111
4.3	SWOT-анализ.....	115
4.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации .....	118
4.5	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	120
4.6	Инициация проекта.....	121
4.7	Ограничения и допущения проекта .....	123
4.8	План проекта .....	124
4.9	Бюджет научного исследования.....	127
4.10	Реестр рисков проекта .....	132
4.11	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования...	134
4.12	Выводы по разделу .....	138
5	Социальная ответственность .....	139
5.1	Введение .....	139
5.2	Характеристика вредных и опасных факторов, имеющих место в лаборатории .....	141

5.3	Электробезопасность .....	141
5.4	Эргономика и организация рабочего места .....	144
5.5	Мероприятия по выполнению норм естественного и искусственного освещения.....	145
5.6	Мероприятия по борьбе с производственным шумом.....	147
5.7	Мероприятия по выполнению норм вентиляции и отопления .	148
5.8	Мероприятия по пожарной безопасности .....	149
5.9	Выводы по разделу .....	150
	Заключение .....	151
	Список использованных источников .....	153
	Приложение А Текст программы для формирования графического интерфейса пользователя (фрагмент 1654 строки).....	155
	Приложение Б Текст программы для формирования второго пользовательского окна (фрагмент 499 строк) .....	184
	Приложение В Текст программы для формирования третьего пользовательского окна (фрагмент 399 строк) .....	192
	Приложение Г Презентация.....на отдельных листах	
	Титульный лист.....	1
	Актуальность работы и требования к разработке .....	2
	Цель и задачи.....	3
	Выбор и систематизация типовых математических моделей промышленных объектов для создаваемого комплекса .....	4
	Методы параметрического синтеза типовых законов регулирования ..	6
	Расчет переходных процессов .....	7
	Выбор интервала дискретизации по времени .....	8
	Алгоритм пользования главным окном интерфейса .....	9

Алгоритм пользования 2-ым пользовательским окном, отображающим графики переходных процессов .....	10
Алгоритм пользования 3-им пользовательским окном, отображающим область показателей качества .....	11
Структурная схема программного модуля.....	12
Интерфейс пользователя .....	13
Окно представления переходных процессов и показателей качества управления .....	14
Интерфейс пользователя .....	15
Окно представления плоскости показателей качества по каналу управления .....	16
Параметрический синтез системы автоматической стабилизации количества полупродукта, накапливаемого в транспортных контейнерах ....	19
Финансовый менеджмент .....	23
Результаты работы .....	24



## ВВЕДЕНИЕ

В последнее время в связи с техническим прогрессом компьютерными компаниями выпускается большое количество гаджетов, софтов и программных драйверов. С обновлением компьютерного мира стоит необходимость в обновлении программ, выполненных для автоматизации процессов регулирования: прописка новых библиотек программных приложений, либо написание новых программ в средах компьютерного моделирования. В данной дипломной работе поднимается подобный вопрос.

На кафедре Электроники и автоматики физических установок на протяжении более 20 лет используется ПМ SAR-SINTEZ, написанный на языке программирования FORTRAN, который работает на операционных системах Windows не моложе XP. Так как на большинстве современных ЭВМ установленная операционная система старше Windows 7, то оявилась необходимость адаптации SAR-SINTEZ к новому программному обеспечению. Принято решение переработать модуль и дополнить, используя среду Microsoft Visual Studio. Выбрана данная среда потому, что проект, созданный в MSVS, компилируется в исполняемый файл и пользователь имеет возможность использовать ПМ без предварительной установки среды MSVS. Разрабатываемый ПМ должен обеспечивать:

- запуск ПМ автономно от среды разработки;
- расчет параметров настроек типовых регуляторов для статических и астатических объектов управления различными методами;
- построение переходных процессов и автоматический расчет показателей качества по каналам управления и возмущения;

					643.ФЮРА.00005-01 81 01		
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
Разраб.	Намсараев				Лит.	Лист	Листов
Провер.	Креницын						
И контр	Ефремов				ТПУ ФТИ Группа 0711		
Утв.	Горянов						

*Введение*

- проведение исследований синтезированных САУ при различных входных воздействиях по каналам управления и возмущения;
- формирование отчета о проведенных исследованиях в формате \*.txt;
- анализ изменения качества управления при изменении выбранных параметров модели объекта управления.

# 1 Объекты и методы исследования

## 1.1 Типы и виды объектов управления

### 1.1.1 Статические объекты

Данный ПМ позволяет рассчитывать параметры настройки типовых регуляторов для двух типов объектов управления. Для параметрического синтеза необходимо математически описать управляемый процесс. Много лет внимание уделялось только статическим объектам, так как они нашли широкое применение при описании объектов автоматизации. Что касается астатических объектов, то они встречаются реже и о них известно только как об идеальном звене, что имеет расхождение с практикой. Поэтому рассмотрены некоторые допущения относительно реальных интегрирующих звеньев. Более подробно будет изложено в нижеследующих пунктах данной работы.

В программном модуле используются статические объекты, представленные в таблице 1.

					643.ФЮРА.00005-01 81 01			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		Намсараев			Объекты и методы исследования			
<i>Провер.</i>		Криницын						
<i>И контр</i>		Ефремов						
<i>Утв.</i>		Горюнов						
						ТПУ ФТИ Группа 0711		

Таблица 1 – Передаточные функции статических объектов

Виды объектов	Передаточные функции моделей объектов
Одноемкостный объект без запаздывания	$W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{T_{об}s + 1}$
Одноемкостный объект с запаздыванием	$W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{T_{об}s + 1} \cdot e^{-\tau_{об}s}$
Двухемкостный объект без запаздывания	$W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{(T_{об1}s + 1) \cdot (T_{об2}s + 1)}$
Двухемкостный объект с запаздыванием	$W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{(T_{об1}s + 1) \cdot (T_{об2}s + 1)} e^{-\tau_{об}s}$
Двухемкостный объект с кратными корнями без запаздывания	$W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{(T_{об}s + 1)^2}$
Двухемкостный объект с кратными корнями с запаздыванием	$W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{(T_{об}s + 1)^2} e^{-\tau_{об}s}$
Многоемкостный объект без запаздывания	$W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{(T_{об}s + 1)^n};$
Многоемкостный объект с запаздыванием	$W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{(T_{об}s + 1)^n} \cdot e^{-\tau_{об}s}$

### 1.1.2 Астатические объекты

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 2 представлены используемые в «AcssiP» математические модели астатических объектов.

Таблица 2 – Математические модели астатических объектов

Виды моделей астатических объектов	Передаточные функции моделей астатических объектов
Идеальное интегрирующее звено с запаздыванием	$W_{об}(s) = \frac{\varepsilon_{об}}{s} \cdot e^{-\tau s}$
Реальное интегрирующее звено первого порядка с запаздыванием	$W_{об}(s) = \frac{\varepsilon_{об}}{s(T_{об1}s + 1)} \cdot e^{-\tau s}$
Реальное интегрирующее звено второго порядка с запаздыванием	$W_{об}(s) = \frac{\varepsilon_{об}}{s(T_{об1}s + 1)(T_{об2}s + 1)} \cdot e^{-\tau s}$

В «AcssiP» передаточная функция идеального астатического звена с запаздыванием представлена в следующей форме:

$$W_{об}(s) = \frac{\varepsilon_{об}}{s} \cdot e^{-\tau s} \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{об}$  – добротность по скорости  $\frac{\text{Скорость изменения выходной величины}}{\text{входная величина}}$ .

Так как общепринятым выражением, описывающим идеальное звено с запаздыванием, является вид (1), то, при описании интегрального звена передаточной функцией  $W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{T_a s} \cdot e^{-\tau s}$ , добротность можно представить как выражение

$$\varepsilon_{об} = \frac{k_{об}}{T_a} \quad (2)$$

Поскольку в данном программном модуле используются методы расчёта параметров настройки регуляторов - только для астатических объектов, описываемых идеальным интегрирующим звеном с запаздыванием (1), модели реальных астатических объектов необходимо заменить эквивалентными им идеальными в форме (1).

Элемент, состоящий из апериодического и идеального интегрирующего звеньев, соединённых последовательно (реальное интегрирующее звено первого порядка) представлен на рисунке 1.

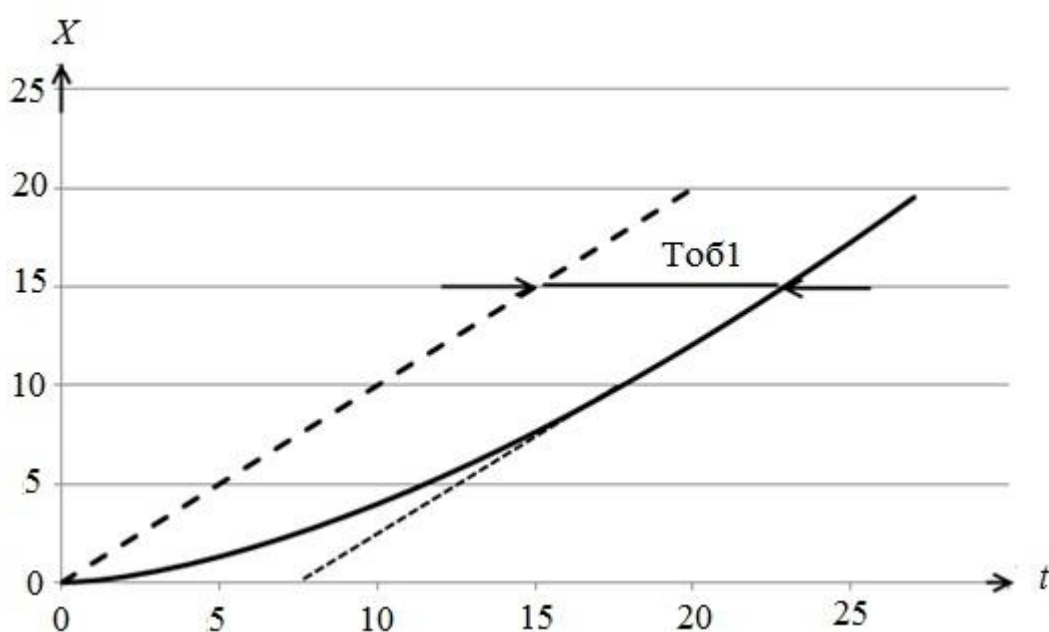


Рисунок 1 – Переходная функция элемента, состоящего из апериодического и интегрирующего звеньев, соединённых последовательно

Согласно определению передаточная функция такого элемента при  $\varepsilon_{об} = 1$  имеет вид:

$$W_{об}(s) = \frac{1}{(T_{об}s + 1)s} \quad (3)$$

Решая дифференциальное уравнение, описывающее движение этого элемента при единичном ступенчатом входном воздействии ( $u(t) = 1$ ), получаем выражение переходной функции

$$x = \tau - T_{об} \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T_{об}}}\right) \quad (4)$$

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

$$x = \tau - T_{об} \quad (5)$$

То есть, параметр  $T_{об}$  элемента (постоянная времени апериодического звена) будет определяться величиной горизонтального отрезка между двумя прямыми – прямой, определяемой выражением (5), и параллельной ей прямой, проходящей через начало координат как показано на рисунке 1.

Таким образом, эквивалентное звену (3) звено можно представить как идеальное интегрирующее звено

$$W_{об}(s) = \frac{1}{s} \cdot e^{-(\tau+T_{об})s} \quad (6)$$

При этом величина запаздывания эквивалентного звена (6), по сравнению с исходным звеном (3) увеличивается на величину  $-T_{об}$ .

Элемент, состоящий из двух апериодических и идеального интегрирующего звеньев, соединённых последовательно (реальное интегрирующее звено второго порядка). Согласно определению передаточная функция элемента  $\varepsilon_{об} = 1$  имеет вид:

$$W_{об}(s) = \frac{1}{s(T_{об1}s + 1)(T_{об2}s + 1)} \cdot e^{-\tau s} \quad (7)$$

Переходная функция такого элемента описывается уравнением

$$x = \tau - \frac{T_{об1}^2}{T_{об1} - T_{об2}} \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T_{об1}}}\right) + \frac{T_{об2}^2}{T_{об1} - T_{об2}} \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T_{об2}}}\right) \quad (8)$$

График переходной функции элемента показан на рисунке 2. Кривая переходной функции асимптотически приближается к прямой

$$x = \tau - (T_{об1} + T_{об2}) \quad (9)$$

Асимптота отсекается на оси абсцисс отрезок, равный по своей величине сумме постоянных времени апериодических звеньев [1].

Тогда эквивалентное звену (7) звено приближенно можно описать передаточной функцией:

$$W_{об}(s) = \frac{1}{s} \cdot e^{-(\tau + T_{об1} + T_{об2})s} \quad (10)$$

При этом запаздывание эквивалентного звена (10), по сравнению с исходным звеном (7), возрастает на величину  $T_{об1} + T_{об2}$ , как показано на рисунке 2.



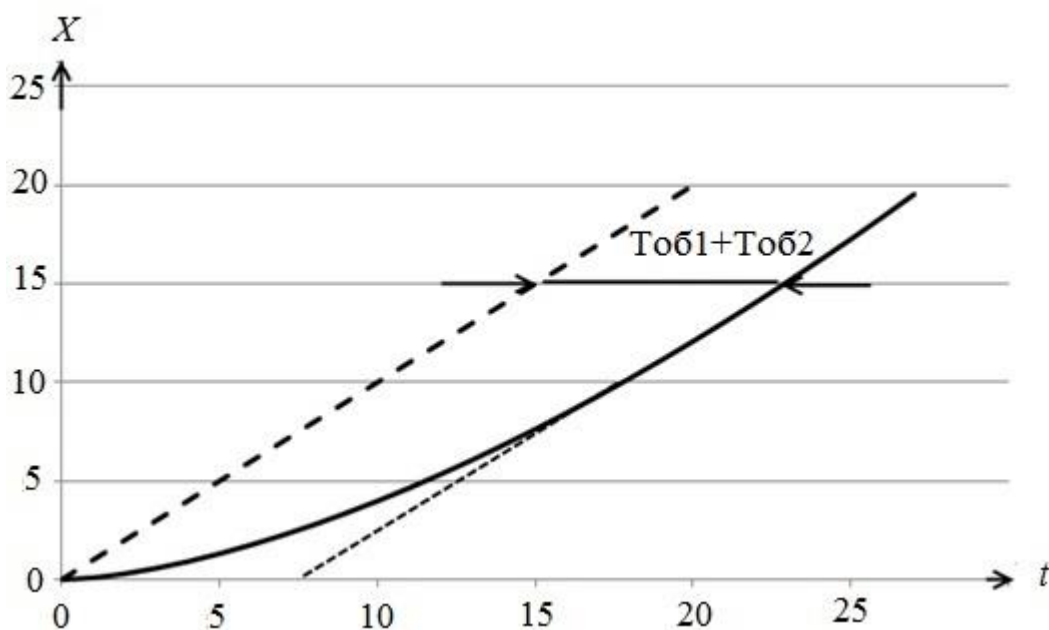


Рисунок 2 – Переходная функция элемента, состоящего из двух апериодических и интегрирующих звеньев, соединённых последовательно

## 1.2 Типовые законы регулирования

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 (первичных датчиков);
- типами выходных сигналов управления (исполнительных устройств);
- способом задания уставки регулирования;
- дополнительными возможностями (дополнительные функции, дополнительные входы/выходы).

В таблице 3 представлены уравнения и передаточные функции типовых идеальных регуляторов.

Таблица 3 – Типовые идеальные регуляторы

Тип регулятора	Уравнение идеального регулятора	Передаточная функция идеального регулятора
П	$r(t) = k_R \cdot \varepsilon(t)$	$W_{\text{П}}(s) = k_R$
ПД	$r(t) = k_R [\varepsilon(t) + T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt}]$	$W_{\text{ПД}}(s) = k_R (T_d s + 1)$
И	$r(t) = \frac{k_R}{T_i} \int_0^t \varepsilon(t) dt$	$W_{\text{И}}(s) = \frac{k_R}{T_i s}$
ПИ	$r(t) = k_R [\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(t) dt]$	$W_{\text{ПИ}}(s) = k_R \frac{T_i s + 1}{T_i s}$
ПИД	$r(t) = k_R [\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(t) dt + T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt}]$	$W_{\text{ПИД}}(s) = k_R \frac{T_d T_i s^2 + T_i s + 1}{T_i s}$

Все расчёты выполняются для аналогового регулятора. Так же комплекс позволяет интерактивно задаваться параметрами настройки, но при этом существует также ряд ограничений:

- коэффициент регулятора и объекта управления должны совпадать по знаку;
- время предварения и изодрома, должны быть всегда положительными в виду линейности времени протекания процесса.

### 1.3 Расчет параметров настройки типовых регуляторов для статических объектов управления

Существует большое количество методов расчета настройки типовых регуляторов, ниже приведены используемые при создании ПМ для каждого объекта.

1) Методы расчета параметров настройки типовых регуляторов для модели статического объекта первого порядка без запаздывания  $W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{T_{об}s + 1}$ . В таблице 4 представлен метод, основанный на критерии оптимального модуля [2].

Таблица 4 – Метод, основанный на критерии оптимального модуля, для статического объекта 1-го порядка без запаздывания

Тип регулятора	Значения параметров настройки регуляторов
П	$k_R = \frac{22}{k_{об}}$
ПИ	$k_R = \frac{1}{k_{об}}; T_i = \frac{2T_{об}}{3}$

2) Методы расчёта параметров настройки типовых регуляторов для модели статического объекта первого порядка с запаздыванием  $W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{T_{об}s + 1} \cdot e^{-\tau_{об}s}$ . В таблице 5 представлен метод, основанный на критерии оптимального модуля [2].

Таблица 5 – Метод, основанный на критерии оптимального модуля, для статического объекта 1-го порядка с запаздыванием

Тип регулятора	Относительные значения параметров	Значения параметров настройки регуляторов
П	$K = \frac{T^2}{2T + 1}$ ; где $T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}$	$k_R = \frac{K}{k_{об}}$

Продолжение таблицы 5

ПИ	$K = \frac{6T^3 + 6T^2 + 3T + 1}{4(3T^2 + 3T + 1)};$ $\frac{1}{I} = \frac{6T^2 + 6T + 3}{6T^3 + 6T^2 + 3T + 1}; \text{ где } T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}$	$k_R = \frac{K}{k_{об}};$ $T_i = I \cdot \tau_{об}$
ПИД	$K = \frac{1}{\frac{2}{I}(T+1) - 2};$ $\frac{1}{I} = \frac{15(2T+1)(6T^2+3T+1)}{180T^4+240T^3+135T^2+42T+7};$ $D = \frac{60T^4+60T^3+27T^2+7T+1}{180T^4+240T^3+135T^2+42T+7}; \text{ где } T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}$	$k_R = \frac{K}{k_{об}};$ $T_i = I \cdot \tau_{об};$ $T_d = D \cdot \tau_{об}$
ПД	$K = \frac{(6T+1)(12T^2-1)}{2(48T^2+30T+5)};$ $D = \frac{4T+1}{4(3T+1)}; \text{ где } T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}$	$k_R = \frac{K}{k_{об}};$ $T_d = D \cdot \tau_{об}$
И	$\frac{K}{I} = \frac{1}{2(T+1)}; \text{ где } T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}$	$k_R = \frac{K}{k_{об}};$ $T_i = I \cdot \tau_{об}$

В таблице 6 приведены формулы расчёта методом, основанным на критерии апериодической устойчивости для модели статического объекта первого порядка с запаздыванием [2].

В таблице 7 приведены формулы расчёта методом максимальной степени устойчивости для модели статического объекта первого порядка с запаздыванием [3]: Параметры настройки идеального регулятора по методу Куна, передаточная функция которого аппроксимируется апериодическим звеном первого порядка с запаздыванием, рассчитаны по формулам таблицы 8. В таблице 9 приведены формулы расчёта методом Копеловича для модели статического объекта первого порядка с запаздыванием [4].

Таблица 6 – Метод апериодической устойчивости для статического объекта 1-го порядка с запаздыванием

Тип регулятора	Относительные значения параметров	Значения параметров настройки регуляторов
П	$r_k = -\left(1 + \frac{1}{T}\right); K = Te^{r_k}; \text{ где } T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}$	$k_R = \frac{K}{k_{об}}$
ПИ	$r_k = \sqrt{2 + \left(\frac{1}{2T}\right)^2} - \left(2 + \frac{1}{2T}\right); K = 2T \left[ \sqrt{2 + \left(\frac{1}{2T}\right)^2} - 1 \right] e^{r_k};$ $I = \frac{1 + \left(\frac{1}{2T}\right)^2}{\left[ 3 + \frac{1}{2T} + 4\left(\frac{1}{2T}\right)^2 + \left(\frac{1}{2T}\right)^3 \right] - \left[ 2 + \left(\frac{1}{2T}\right)^2 \right] \sqrt{2 + \left(\frac{1}{2T}\right)^2}};$ <p style="text-align: center;">где <math>T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}</math></p>	$k_R = \frac{K}{k_{об}};$ $T_i = I \cdot \tau_{об}$
ПД	$r_k = -\left(2 + \frac{1}{T}\right); K = (1 + 4T)e^{r_k}; D = \frac{1}{4 + \frac{1}{T}}; \text{ где } T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}$	$k_R = \frac{K}{k_{об}};$ $T_d = D \cdot \tau_{об}$
И	$r_k = \sqrt{1 + \left(\frac{1}{2T}\right)^2} - \left(1 + \frac{1}{2T}\right); \frac{K}{I} = 2T \left( \sqrt{1 + \left(\frac{1}{2T}\right)^2} - 1 \right);$ <p style="text-align: center;">где <math>T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}</math></p>	$k_R = \frac{K}{k_{об}};$ $T_i = I \cdot \tau_{об}$
ПИД	$r_k = \sqrt{3 + \left(\frac{1}{2T}\right)^2} - \left(3 + \frac{1}{2T}\right);$ $K = 2T \left\{ \left(6 + \frac{1}{2T}\right) \sqrt{3 + \left(\frac{1}{2T}\right)^2} - \left[9 + \frac{1}{2T} + \left(\frac{1}{2T}\right)^2\right] \right\} e^{r_k};$	$k_R = \frac{K}{k_{об}};$ $T_i = I \cdot \tau_{об};$ $T_d = D \cdot \tau_{об}$

Продолжение таблицы 6

Тип регулятора	Относительные значения параметров	Значения параметров настройки регуляторов
ПИД	$I = \frac{\left(6 + \frac{1}{2T}\right) \sqrt{3 + \left(\frac{1}{2T}\right)^2} - \left[9 + \frac{1}{2T} + \left(\frac{1}{2T}\right)^2\right]}{\left[21 + 6\frac{1}{2T} + \left(\frac{1}{2T}\right)^2\right] \sqrt{3 + \left(\frac{1}{2T}\right)^2} - \left[36 + 9\frac{1}{2T} + 6\left(\frac{1}{2T}\right)^2 + \left(\frac{1}{2T}\right)^3\right]}$ $D = \frac{\sqrt{3 + \left(\frac{1}{2T}\right)^2} - 1}{2 \left\{ \left(6 + \frac{1}{2T}\right) \sqrt{3 + \left(\frac{1}{2T}\right)^2} - \left[9 + \frac{1}{2T} + \left(\frac{1}{2T}\right)^2\right] \right\}};$ <p style="text-align: center;">где <math>T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}</math></p>	

Параметры настройки идеального регулятора по методу Копеловича-Шаркова промышленного объекта, передаточная функция которого аппроксимируется аperiodическим звеном первого порядка с запаздыванием, приведены в таблице 10 [5,6].

В таблице 11 приведены формулы расчёта методом Скогестада для модели статического объекта первого порядка с запаздыванием [7]. Параметры настройки регулятора по методу Амиго промышленного объекта приведены в таблице 12 [8].

Таблица 7 – Метод максимальной степени устойчивости для статического объекта 1-го порядка с запаздыванием

Тип регулятора	Метод Борисова (аппроксимации)
ПИ	$k_R = \frac{1}{k_{об}} \left( -0,231 + 0,461 \frac{T_{об}}{\tau_{об}} + 0,366 \cdot e^{-0,9 \frac{T_{об}}{\tau_{об}}} \right);$ $k_i = \frac{1}{\tau_{об} k_{об}} \left( 0,191 + 0,079 \frac{T_{об}}{\tau_{об}} + 0,35 \cdot e^{-1,2 \frac{T_{об}}{\tau_{об}}} \right);$ $T_i = \frac{k_R}{k_i}$
ПИД	$k_R = \frac{1}{k_{об}} \left( -0,186 + 0,784 \frac{T_{об}}{\tau_{об}} + 0,435 \cdot e^{-1,4 \frac{T_{об}}{\tau_{об}}} \right);$ $k_i = \frac{1}{\tau_{об} k_{об}} \left( 0,287 + 0,21 \frac{T_{об}}{\tau_{об}} + 0,385 \cdot e^{-1,5 \frac{T_{об}}{\tau_{об}}} \right);$ $k_d = \frac{\tau_{об}}{k_{об}} \left( -0,103 + 0,206 \frac{T_{об}}{\tau_{об}} + 0,128 \cdot e^{-1,1 \frac{T_{об}}{\tau_{об}}} \right);$ $T_i = \frac{k_R}{k_i};$ $T_d = \frac{k_d}{k_R}$

Таблица 8 – Метод Куна для статического объекта 1-го порядка с запаздыванием

Тип регулятора	Оптимальные параметры регуляторов при апериодическом процессе с кратчайшей продолжительностью		Оптимальные параметры регуляторов при процессе с 20-процентным перерегулированием с кратчайшей продолжительностью	
	Возмущение по заданию	Возмущение по нагрузке (вход в объект)	Возмущение по заданию	Возмущение по нагрузке
П	$k_{об}k_R = \frac{0,3T_{об}}{\tau_{об}}$	$k_{об}k_R = \frac{0,3T_{об}}{\tau_{об}}$	$k_{об}k_R = \frac{0,7T_{об}}{\tau_{об}}$	$k_{об}k_R = \frac{0,7T_{об}}{\tau_{об}}$
ПИ	$k_{об}k_R = \frac{0,35T_{об}}{\tau_{об}};$ $T_i = 1,2 \tau_{об}$	$k_{об}k_R = \frac{0,6T_{об}}{\tau_{об}};$ $T_i = 4 \tau_{об}$	$k_{об}k_R = \frac{0,6T_{об}}{\tau_{об}};$ $T_i = \tau_{об}$	$k_{об}k_R = \frac{0,7T_{об}}{\tau_{об}};$ $T_i = 2,3 \tau_{об}$
ПИД	$k_{об}k_R = \frac{0,6T_{об}}{\tau_{об}};$ $T_i = \tau_{об};$ $T_d = 0,5 \tau_{об}$	$k_{об}k_R = \frac{0,95T_{об}}{\tau_{об}};$ $T_i = 2,4 \tau_{об};$ $T_d = 0,42 \tau_{об}$	$k_{об}k_R = \frac{0,95T_{об}}{\tau_{об}};$ $T_i = 1,35 \tau_{об};$ $T_d = 0,47 \tau_{об}$	$k_{об}k_R = \frac{1,2T_{об}}{\tau_{об}};$ $T_i = 2 \tau_{об};$ $T_d = 0,42 \tau_{об}$



Таблица 9 – Метод Копеловича для статического объекта 1-го порядка с запаздыванием

Закон регулирования	Параметры настройки	Оптимальный переходный процесс с минимальным временем регулирования при отсутствии перерегулирования	Оптимальный переходный процесс с минимальным временем первого полупериода затухающих колебаний при 20-процентном перерегулировании	Оптимальный переходный процесс с минимальной интегральной квадратичной оценкой
П	$k_R$	$\frac{0,3T_{об}}{k_{об}\tau_{об}}$	$\frac{0,7T_{об}}{k_{об}\tau_{об}}$	$\frac{0,9T_{об}^*}{k_{об}\tau_{об}}$
И	$k_R$	$\frac{1}{4,5k_{об}T_{об}}$	$\frac{1}{1,7k_{об}T_{об}}$	$\frac{1}{1,7k_{об}T_{об}}$
ПИ	$k_R$	$\frac{0,6T_{об}}{k_{об}\tau_{об}}$	$\frac{0,7T_{об}}{k_{об}\tau_{об}}$	$\frac{T_{об}}{k_{об}\tau_{об}}$
	$T_i$	$0,6 T_{об}$	$0,7 T_{об}$	$T_{об}$
ПИД	$k_R$	$\frac{0,95T_{об}}{k_{об}\tau_{об}}$	$\frac{1,2T_{об}}{k_{об}\tau_{об}}$	$\frac{1,4T_{об}}{k_{об}\tau_{об}}$
	$T_i$	$2,4 \tau_{об}$	$2 \tau_{об}$	$1,3 \tau_{об}$
	$T_d$	$0,4 \tau_{об}$	$0,4 \tau_{об}$	$0,5 \tau_{об}$

\*Для П-регулятора – переходный процесс с 40-процентным перерегулированием.

Таблица 10 – Метод Копеловича-Шаркова для статического объекта 1-го порядка с запаздыванием

Тип регулятора	Апериодический	$\sigma_{max} = 20 \%$	$\min I_2$
П	$k_R = \frac{0,3}{k_{об}\tau_{об}/T_{об}}$	$k_R = \frac{0,7}{K_{об}\tau_{об}/T_{об}}$	$k_R = \frac{0,9}{K_{об}\tau_{об}/T_{об}}$
И	$k_R = \frac{1}{4,5k_{об}T_{об}}$	$k_R = \frac{1}{1,7k_{об}T_{об}}$	$k_R = \frac{1}{1,7k_{об}T_{об}}$
ПИ	$k_R = \frac{0,6}{k_{об}\tau_{об}/T_{об}}$	$k_R = \frac{0,7}{k_{об}\tau_{об}/T_{об}}$	$k_R = \frac{1,0}{k_{об}\tau_{об}/T_{об}}$
	$T_i = 0,8 \tau_{об} + 0,5T_{об}$	$T_i = \tau_{об} + 0,3 T_{об}$	$T_i = \tau_{об} + 0,35 T_{об}$
ПИД	$k_R = \frac{0,95}{k_{об}\tau_{об}/T_{об}}$	$k_R = \frac{1,2}{k_{об}\tau_{об}/T_{об}}$	$k_R = \frac{1,4}{k_{об}\tau_{об}/T_{об}}$
	$T_i = 2,4 \tau_{об}$	$T_i = 2,0 \tau_{об}$	$T_i = 1,3 \tau_{об}$
	$T_d = 0,4 \tau_{об}$	$T_d = 0,4 \tau_{об}$	$T_d = 0,5 \tau_{об}$

Таблица 11 – Метод Скогестада для статического объекта 1-го порядка с запаздыванием

Тип регулятора	Параметры настройки регулятора
ПИ	$k_R = \frac{T_{об}}{2 \cdot k_{об} \cdot \tau_{об}} ;$ $T_i = T_{об}$

Таблица 12 – Метод Амиго для статического объекта 1-го порядка с запаздыванием

Тип регулятора	Параметры настройки регулятора
ПИ	$k_R = \frac{0,15}{k_{об}} + \frac{\left(0,35 - \frac{T_{об} \cdot \tau_{об}}{(T_{об} + \tau_{об})^2}\right) \cdot T_{об}}{k_{об} \cdot \tau_{об}};$ $T_i = 0,35 \cdot \tau_{об} + 13 \cdot \tau_{об} + 12 \cdot \tau_{об} \cdot T_{об} + 7 \cdot \tau_{об}^2$
ПИД	$k_R = \frac{1}{k_{об}} \cdot \left(0,2 + 0,45 \cdot \frac{T_{об}}{\tau_{об}}\right); T_i = \frac{0,4 \cdot \tau_{об}^2 + 0,8 \cdot T_{об} \cdot \tau_{об}}{\tau_{об} + 0,1 \cdot T_{об}};$ $T_d = \frac{0,5 \cdot \tau_{об} \cdot T_{об}}{0,3 \cdot \tau_{об} + T_{об}}$

3) Методы расчета параметров настройки типовых регуляторов для статического объекта 2-го порядка с одинаковыми постоянными времени без запаздывания  $W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{(T_{об}s + 1)^2}$ . В таблице 13 представлен метод, основанный на критерии оптимального модуля.

Таблица 13 – Метод оптимального модуля для статического объекта 2-го порядка с одинаковыми постоянными времени без запаздывания

Тип регулятора	Значения параметров настройки регуляторов
ПИ	$k_R = \frac{1}{k_{об}}; T_i = \frac{4T_{об}}{3}$
ПИД	$k_R = \frac{2}{k_{об}}; T_i = \frac{8T_{об}}{5}; T_d = \frac{T_{об}}{4}$

4) Методы расчёта параметров настройки типовых регуляторов для статического объекта 2-го порядка с одинаковыми постоянными времени с запаздыванием. Методы расчета, используемые для этой модели объекта,

адаптированы от других моделей. Метод оптимального модуля для моделей объекта 2-го порядка является частным случаем  $n$ -го порядка, а метод апериодической устойчивости применяется после приведения объекта 2-го порядка к эквивалентному объекту 1-го порядка.

5) Методы расчёта параметров настройки типовых регуляторов для статического объекта второго порядка с разными постоянными времени без запаздывания

$$W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{(T_{об1}s + 1) \cdot (T_{об2}s + 1)}. \text{ В таблице 14 показан метод,}$$

основанный на критерии оптимального модуля [2].

Таблица 14 – Метод оптимального модуля для статического объекта 2-го порядка с разными постоянными времени без запаздывания

Тип регулятора	Значения параметров настройки регулятора
ПИ	$k_R = \frac{1}{k_{об}}; T_i = \frac{2(T_{об1} + T_{об2})}{3}$
ПИД	$k_R = \frac{2}{k_{об}}; T_i = \frac{4(T_{об1} + T_{об2})}{5}; T_d = \frac{(T_{об1} + T_{об2})}{8}$

б) Методы расчёта параметров настройки типовых регуляторов для статического объекта второго порядка с разными постоянными времени с запаздыванием

$$W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{(T_{об1}s + 1) \cdot (T_{об2}s + 1)} e^{-\tau_{об}s}. \text{ В таблице 15 предложен}$$

метод расчёта, основанный на критерии оптимального модуля [2].

В таблице 16 приведены формулы расчёта методом Скогестада для модели статического объекта первого порядка с запаздыванием [7].

Таблица 15 – Метод оптимального модуля для статического объекта 2-го порядка с разными постоянными времени с запаздыванием

Тип регулятора	Относительные значения параметров	Значения параметров настройки регуляторов
П	$K = \frac{T_2^2 + T_1^2}{2T_1T_2 + 2(T_1 + T_2) + 1}; \text{ где } T_1 = \frac{T_{об1}}{\tau_{об}}; T_2 = \frac{T_{об2}}{\tau_{об}}$	$k_R = \frac{K}{k_{об}}$
И	$\frac{K}{I} = \frac{1}{2(T_1 + T_2 + 1)}; \text{ где } T_1 = \frac{T_{об1}}{\tau_{об}}; T_2 = \frac{T_{об2}}{\tau_{об}}$	$\frac{k_R}{T_i} = \frac{K}{k_{об}\tau_{об}}$
ПИД	$K = \frac{360T_1^2T_2^2(T_2^3 + 3T_1T_2^2 + 3T_2T_1^2 + T_1^3) + 360T_1T_2(T_2^4 + 5T_1T_2^3 + 8T_1^2T_2^2 + 5T_1^3T_2 + T_1^4) + 180(T_2^5 + 7T_1T_2^4 + 16T_1^2T_2^3 + 16T_1^3T_2^2 + 7T_1^4T_2 + T_1^5) + 60(7T_2^4 + 25T_1T_2^3 + 36T_1^2T_2^2 + 25T_1^3T_2 + 7T_1^4) + 5(75T_2^3 + 177T_1T_2^2 + 177T_1^2T_2 + 75T_1^3) + 3(59T_2^2 + 98T_1T_2 + 59T_1^2) + 49(T_1 + T_2) + 7}{720(T_1 + T_2)^2T_1^2T_2^2 + 720(T_1 + T_2)T_1T_2(T_2^2 + 3T_1T_2 + T_1^2) + 240(T_1 + T_2)^2(T_2^2 + 6T_1T_2 + T_1^2) + 240(T_1 + T_2)(2T_2^2 + 5T_1T_2 + 2T_1^2) + 336(T_1 + T_2)^2 + 112(T_1 + T_2) + 16};$ $\frac{1}{I} = \frac{2K + 1}{2K[T_1 + T_2 + 1]};$ $D = \frac{4K[3(T_1 + T_2)(2T_2 + T_1 + 1) + 1] - 3(T_1 + T_2)[2(T_2^2 + T_1^2) + 3] - 6(T_2^2 + T_2T_1 + T_1^2) - 1}{12K[(T_1 + T_2)(T_1 + T_2 + 2) + 1]};$ <p style="text-align: center;">где <math>T_1 = \frac{T_{об1}}{\tau_{об}}; T_2 = \frac{T_{об2}}{\tau_{об}}</math></p>	$k_R = \frac{K}{k_{об}};$ $T_i = I \cdot \tau_{об};$ $T_d = D \cdot \tau_{об}$

Продолжение таблицы 15

Тип регулятора	Относительные значения параметров	Значения параметров настройки регуляторов
ПИ	$K = \frac{3 \left[ 2(T_2^3 + T_2^2 T_1 + T_1^3) + 2(T_2^2 + T_2 T_1 + T_1^2) + (T_2 + T_1) \right] + 1}{12(T_1 + T_2)(T_1 T_2 + T_1 + T_2 + 1) + 4};$ $\frac{1}{I} = \frac{2K + 1}{2K [T_1 + T_2 + 1]}; \text{ где } T_1 = \frac{T_{об1}}{\tau_{об}}; T_2 = \frac{T_{об2}}{\tau_{об}}$	$k_R = \frac{K}{k_{об}};$ $T_i = I \cdot \tau_{об}$

Таблица 16 – Метод Скогестада для статического объекта 2-го порядка с разными постоянными времени с запаздыванием

Тип регулятора	Параметры настройки регулятора	
	$T_{об1} \leq 8 \cdot \tau_{об}$	$T_{об1} > 8 \cdot \tau_{об}$
ПИД	$k_R = \frac{T_{об1}}{2 \cdot k_{об} \cdot \tau_{об}}; T_i = T_{об1}; T_d = T_{об2}$	$k_R = \frac{T_{об1}}{2 \cdot k_{об} \cdot \tau_{об}}; T_i = 8 \cdot \tau_{об};$ $T_d = T_{об2}$

При расчётах параметров настройки регуляторов для модели объекта второго порядка с разными постоянными времени, с помощью методов апериодической устойчивости, максимальной степени устойчивости, Куна, Копеловича, Копеловича-Шаркова и Амиго, объект второго порядка заменяется эквивалентным объектом первого порядка, у которого постоянная времени равна сумме постоянных времени исходного объекта.

7) Методы расчета параметров настройки типовых регуляторов для статического объекта  $n$ -го порядка с кратными корнями без запаздывания. Для расчета параметров настройки ПИД-регулятора для объекта, описываемого передаточной функцией  $W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{(T_{об}s + 1)^n}$  применяется метод максимальной степени устойчивости [3].

Таблица 17 – Метод максимальной степени устойчивости для статического объекта  $n$ -го без запаздывания

Тип регулятора	Относительные значения параметров	Значения параметров настройки регуляторов
ПИД	$k_p = \frac{1}{k_{об}} \frac{(n-2)^{n-2}}{(n+1)^{n-1}} (5n-4);$ $k_i = \frac{27n}{2T_{об}k_{об}} \frac{(n-1)(n-2)^{n-2}}{(n+1)^{n+1}};$ $k_d = \frac{nT_{об}}{2k_{об}} \left( \frac{n-2}{n+1} \right)^{n-2}$	$k_R = k_p;$ $T_i = \frac{k_R}{k_i};$ $T_d = \frac{k_d}{k_R}$

8) Методы расчёта параметров настройки типовых регуляторов для статического объекта  $n$ -го порядка с кратными корнями с запаздыванием

$W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{(T_{об}s + 1)^n} \cdot e^{-\tau_{об}s}$  используется метод, основанный на критерии оптимального модуля, формулы которого приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Метод оптимального модуля для статического объекта  $n$ -го с запаздыванием

Тип регулятора	Относительные значения параметров	Оптимальные значения параметров
П	$K = \frac{nT^2}{n(n-1)T^2 + 2nT + 1}; \text{ где } T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}$	$k_R = \frac{K}{k_{об}}$
ПИ	$K = \frac{T^3(n^3 + 3n^2 + 2n) + 3T^2(n^2 + n) + 3Tn + 1}{4[(n^3 - n)T^3 + 3T^2n^2 + 3Tn + 1]};$ $\frac{1}{I} = \frac{2K + 1}{2K(nT + 1)}; \text{ где } T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}$	$k_R = \frac{K}{k_{об}};$ $T_i = I \cdot \tau_{об}$

Продолжение таблицы 18

Тип регулятора	Относительные значения параметров	Оптимальные значения параметров
И	$\frac{K}{I} = \frac{1}{2(nT+1)}; \text{ где } T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}$	$\frac{k_R}{T_i} = \frac{\frac{K}{I}}{k_{об}\tau_{об}}$
ПИД	$K = \frac{\beta_6 T^6 + \beta_5 T^5 + \beta_4 T^4 + \beta_3 T^3 + \beta_2 T^2 + \beta_1 T + \beta_0}{\alpha_6 T^6 + \alpha_5 T^5 + \alpha_4 T^4 + \alpha_3 T^3 + \alpha_2 T^2 + \alpha_1 T + \alpha_0};$ $\beta_6 = 7n^6 + 30n^5 + 25n^4 - 30n^3 - 32n^2;$ $\beta_5 = 42n^5 + 120n^4 + 30n^3 - 120n^2 - 72n;$ $\beta_4 = 105n^4 + 180n^3 - 15n^2 - 90n; \beta_3 = 140n^3 + 120n^2 - 20n;$ $\beta_2 = 105n^2 + 30n; \beta_1 = 42n; \beta_0 = 7$ $\alpha_6 = 16n^6 - 80n^4 + 64n^2; \alpha_5 = 96n^5 - 240n^3 + 144n;$ $\alpha_4 = 240n^4 - 240n^2; \alpha_3 = 320n^3 - 80n; \alpha_2 = 240n^2;$ $\alpha_1 = 96n; \alpha_0 = 16;$ $\frac{1}{I} = \frac{2K+1}{2K(nT+1)};$ $D = \frac{4K \left[ (nT+1)^3 - nT^3 \right] - \left[ (nT+1)^3 + 3n(nT^3 + T^2) + 2nT^3 \right]}{12K(nT+1)^3};$ <p style="text-align: center;">где <math>T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}</math></p>	$k_R = \frac{K}{k_{об}};$ $T_i = I \cdot \tau_{об};$ $T_d = D \cdot \tau_{об}$

#### 1.4 Расчет параметров настройки типовых регуляторов для астатических объектов управления

1) Методы расчета параметров настройки регулятора для астатического объекта, представленного в форме идеального интегрирующего



звена  $W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{T_{об}s} \cdot e^{-\tau s}$ . При рассмотрении реального интегрирующего звена

для расчета параметров настройки, необходимо привести его к эквивалентному идеальному интегрирующему звену, как было описано ранее в разделе 1.1.2.

Метод оптимального модуля для идеального интегрирующего звена

$W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{T_{об}s} \cdot e^{-\tau s}$  показан в таблице 19.

Таблица 19 – Метод оптимального модуля для астатического объекта в форме идеального интегрирующего звена

Тип регулятора	Относительные значения параметров	Значения параметров настройки регуляторов
П	$K = \frac{T}{2}$ ; где $T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}$	$k_R = \frac{K}{k_{об}}$
ПД	$K = \frac{3T}{4}$ ; $D = \frac{1}{3}$ ; где $T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}$	$k_R = \frac{K}{k_{об}}$ ; $T_d = D \cdot \tau_{об}$
ПИ	$K \left(2 - \frac{1}{I}\right) = T$ ; где $T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}$	$k_R = \frac{K}{k_{об}}$ ; $T_i = I \cdot \tau_{об}$
ПИД	$K = \frac{T}{\frac{1}{I} + 2(D-1)}$ ; $\frac{1}{I} + 12D = 4$ ; где $T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}$	$k_R = \frac{K}{k_{об}}$ ; $T_i = I \cdot \tau_{об}$ ; $T_d = D \cdot \tau_{об}$ ;

Как видно для ПИ- и ПИД-законов регулирования в таблице 19 для астатического объекта число неизвестных переменных больше, чем количество уравнений.

Таблица 20 – Метод апериодической устойчивости для астатического объекта в форме идеального интегрирующего звена

Тип регулятора	Относительные параметры настройки регулятора	Значения параметров настройки регуляторов
П	$r_k = -1; K = T e^{-1};$ где $T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}$	$k_R = \frac{K}{k_{об}}$
ПД	$r_k = -2; K = 4T e^{-2}; D = \frac{1}{4};$ где $T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}$	$k_R = \frac{K}{k_{об}};$ $T_d = D \cdot \tau_{об}$
ПИ	$r_k = \sqrt{2} - 2; I = 3 + 2\sqrt{2}; K = 2T(\sqrt{2} - 1)e^{r_k};$ где $T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}$	$k_R = \frac{K}{k_{об}};$ $T_i = I \cdot \tau_{об}$
ПИД	$r_k = \sqrt{3} - 3; I = 2 + \sqrt{3}; D = \frac{3 + \sqrt{3}}{18}; K = 6T(2\sqrt{3} - 3)e^{r_k};$ где $T = \frac{T_{об}}{\tau_{об}}$	$k_R = \frac{K}{k_{об}};$ $T_i = I \cdot \tau_{об}$ $T_d = D \cdot \tau_{об}$

Таблица 21 – Метод Копеловича для астатического объекта в форме идеального интегрирующего звена

Вид регулятора	Параметры настройки	Оптимальный переходный процесс		
		С минимальным временем регулирования при отсутствии перерегулирования	С минимальным временем первого полупериода затухающих колебаний при 20-процентном перерегулировании	С минимальной интегральной квадратичной оценкой
П	$k_R$	$\frac{0,4}{\varepsilon_{об}\tau_{об}}$	$\frac{0,7}{\varepsilon_{об}\tau_{об}}$	-
ПИ	$k_R$	$\frac{0,4}{\varepsilon_{об}\tau_{об}}$	$\frac{0,7}{\varepsilon_{об}\tau_{об}}$	$\frac{1}{\varepsilon_{об}\tau_{об}}$
	$T_i$	$6 \tau_{об}$	$3 \tau_{об}$	$4 \tau_{об}$
ПИД	$k_R$	$\frac{0,6}{\varepsilon_{об}\tau_{об}}$	$\frac{1,1}{\varepsilon_{об}\tau_{об}}$	$\frac{1,4}{\varepsilon_{об}\tau_{об}}$
	$T_i$	$5 \tau_{об}$	$2 \tau_{об}$	$1,6 \tau_{об}$
	$T_d$	$0,2 \tau_{об}$	$0,4 \tau_{об}$	$0,5 \tau_{об}$

Таблица 22 – Метод Копеловича-Шаркова для астатического объекта в форме идеального интегрирующего звена

Тип регулятора	апериодический	$\sigma_{max} = 20 \%$	$\min I_2$
П	$k_R = \frac{0,37}{\varepsilon_{об} \tau_{об}}$	$k_R = \frac{0,7}{\varepsilon_{об} \tau_{об}}$	-
ПИ	$k_R = \frac{0,46}{\varepsilon_{об} \tau_{об}}$	$k_R = \frac{0,7}{\varepsilon_{об} \tau_{об}}$	$k_R = \frac{1,045}{\varepsilon_{об} \tau_{об}}$
	$T_i = 5,75 \tau_{об}$	$T_i = 3 \tau_{об}$	$T_i = 4,3 \tau_{об}$
ПИД	$k_R = \frac{0,65}{\varepsilon_{об} \tau_{об}}$	$k_R = \frac{1,1}{\varepsilon_{об} \tau_{об}}$	$k_R = \frac{1,365}{\varepsilon_{об} \tau_{об}}$
	$T_i = 5 \tau_{об}$	$T_i = 2,0 \tau_{об}$	$T_i = 1,6 \tau_{об}$
	$T_d = 0,23 \tau_{об}$	$T_d = 0,37 \tau_{об}$	$T_d = 0,5 \tau_{об}$

Таблица 23 – Метод Скогестада для астатического объекта в форме идеального интегрирующего звена

Тип регулятора	Значения параметров настройки регулятора
ПИ	$k_R = \frac{1}{2 \cdot \varepsilon_{об} \tau_{об}} ; T_i = 8 \tau_{об}$

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоснабжение

### 4.1 Техничко-экономическое обоснование

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.

Эффективность ПМ определяется его качеством и эффективностью процесса разработки и сопровождения. Качество программного изделия определяется тремя составляющими:

- с точки зрения специалиста-пользователя данного программного продукта;
- с позиции использования ресурсов и их оценки;
- по выполнению требований на программное изделие.

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

					643.ФЮРА.00005-01 81 01		
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
Разраб.	Намсараев				Лит.	Лист	Листов
Провер.	Криницын						
Консульт.	Меньшикова				ТПУ ФТИ		
Н контр	Ефремов				Группа 0711		
Утв.	Горюнов						

## **4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т. д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты (таблица 41) [11].

Были отобраны следующие конкурентные технические разработки:

K1 – SAR-SINTEZ – это ПМ, написанный на языке программирования FORTRAN, который работает на базе операционной системы Windows XP, предназначенный для параметрического синтеза типовых регуляторов и исследования одноконтурных САУ по отклонению.

K2 – Control System ToolBox – это коллекция алгоритмов MATLAB для моделирования, анализа и проектирования систем автоматического управления.

Таблица 41 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1 Повышение производительности труда пользователя	0,09	5	4	5	0,45	0,36	0,45
2 Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	5	4	1	0,5	0,4	0,1
3 Количество математических моделей объектов	0,07	5	3	5	0,35	0,21	0,35
4 Количество методов расчета параметров регулятора	0,07	5	4	2	0,35	0,28	0,14
5 Построение графиков переходного процесса	0,05	4	4	5	0,2	0,2	0,25
6 Автоматический расчет показателей качества	0,09	5	5	2	0,45	0,45	0,18
7 Автономность от среды, в которой разрабатывался продукт	0,1	5	5	1	0,5	0,5	0,1
8 Сохранение данных	0,05	1	5	4	0,05	0,25	0,2
9 Доступ к математике, используемой в продукте	0,04	5	3	2	0,2	0,12	0,08
10 Построение областей проверки на грусть	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1 Конкурентоспособность продукта	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
2 Уровень проникновения на рынок	0,01	2	3	5	0,02	0,03	0,05
3 Цена	0,12	4	4	2	0,48	0,48	0,24

Продолжение таблицы 41

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
Экономические критерии оценки эффективности							
4 Предполагаемый срок эксплуатации	0,02	5	4	5	0,1	0,08	0,1
5 Послепродажное обслуживание	0,04	4	2	1	0,16	0,08	0,04
Итого	1	65	60	45	4,11	4,04	2,83

Как видно из оценочной карты конкурентоспособности, разработанный ПМ является наиболее конкурентным на рынке, т. к. имеет наибольший коэффициент конкурентоспособности, при сравнении с аналогичными продуктами.

Уязвимость позиции конкурента К1 (SAR-SINTEZ) обусловлена:

- недостаточной производительностью, которая связана с исследованием одноконтурных САУ по отклонению только по каналу возмущения;
- недостаточным удобством в эксплуатации, т. к. интерфейс окон является менее информативным для пользователя;
- исследованием только статических объектов, порядок математической модели которой не превышает второй;
- использованием только пяти методов расчета параметров настройки регулятора;
- ограниченностью к доступу программной реализации алгоритма программного комплекса;
- построением области проверки на грость только по каналу возмущения;
- малой конкурентоспособностью, которая связана с тем, что на большинстве современных ЭВМ установленная операционная система не позднее Windows 7;



- вытеснением данного продукта более проработанным вариантом;
- малой возможностью обслуживания после продажи.

Уязвимость позиции конкурента K2(Optimization ToolBox) обусловлена:

- недостаточным удобством в эксплуатации, т. к. для использования данного математического пакета необходимо некоторое время для освоения программирования в данной среде;
- использованием только одного метода расчета параметров настройки регулятора;
- расчетом показателей качества вручную пользователем;
- использованием данного продукта только при наличии среды MatLab;
- ограниченностью к доступу программной реализации алгоритма программного комплекса;
- отсутствием функции построения области показателей качества;
- малой конкурентоспособностью, которая связана с тем, что для исследования объектов в данном пакете необходимо владеть навыками программирования;
- высокая цена среды Matlab;
- отсутствие обслуживания после продажи.

Разработанный ПМ имеет множество преимуществ перед конкурентами. В связи с тем, что требуется повысить производительность при параметрическом синтезе типовых регуляторов и исследовании одноконтурных САУ по отклонению и сделать доступным разработанное решение по цене для большего сегмента рынка, разработанный ПМ является наиболее подходящим для большего числа пользователей. В данном продукте имеется возможность:

- за малое время произвести расчет параметров настройки интересующего закона регулирования для большого числа математических моделей объектов;
- знать и понимать весь алгоритм и математику происходящих операций и расчетов;

- строить переходные процессы при подаче тестового ступенчатого воздействия по каналу управления и по каналу возмущения;
- получить результат расчетов показателей качества, который происходит автоматически;
- исследовать САУ на грубость при различных показаниях неустойчивости параметров объекта при подаче тестового ступенчатого сигнала по каналу управления и по каналу возмущения.

Как следствие всех упомянутых преимуществ данной ПМ является более адаптированным для нынешнего поколения ЭВМ и, следовательно, более конкурентоспособным на рынке. При неисправности программного комплекса имеется возможность исправить возникшие проблемы за короткий срок на протяжении всего времени пользования данным продуктом. В связи с малым количеством конкурентов и с учетом постоянной модернизации ПМ, разработанный продукт будет актуален на рынке еще долгое время.

### **4.3 SWOT-анализ**

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [11].

Таблица 42 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>C1 Простота использования и автономность от среды разработки программного обеспечения</p> <p>C2 Открытый доступ к программе и математике ПО</p> <p>C3 Обширное количество методов расчета регулятора</p> <p>C4 Возможность построения переходного процесса по каналу управления и/или по каналу возмущения и автоматический расчет показателей качества</p> <p>C5 Возможность проверки на грость по каналу управления и по каналу возмущения с цветовым сопровождением</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1 Используемый численный метод в ПО имеет высокую погрешность при исследовании объектов высокого порядка</p> <p>Сл2 Точность и быстродействие моделирования зависит от шага и постоянного времени</p> <p>Сл3 Малый срок для полной реализации всех задуманных функций ПО</p> <p>Сл4 Не предназначен для других ОС кроме Windows</p> <p>Сл5 Отсутствует функция сохранения данных в отдельном файле</p>
<p>Возможности:</p> <p>B1 Малая конкуренция</p> <p>B2 Востребованность продукта</p> <p>B3 Более 90% населения на планете используют ОС Windows, под которую и рассчитан продукт</p> <p>B4 Дальнейшая возможность использования продукта удаленно через различные гаджеты</p> <p>B5 Появление дополнительного спроса на новый продукт</p>	<p>За счет всех сильных сторон обеспечивается B1, B2, B5.</p> <p>B3 делает продукт доступным для преобладающего большинства пользователей.</p> <p>B4 делает продукт наиболее удобным для пользователей и в совокупности со всеми сильными сторонами обеспечит высокую конкурентоспособность и высокую востребованность продукта.</p>	<p>Для того, чтобы сохранить B1, B2 и B5 необходимо использовать точные численные методы, минимизировать зависимость точности и быстродействия моделирования от шага моделирования и порядка объекта, увеличить срок реализации, сделать продукт доступным для всех ОС и обеспечить возможность сохранения результата в отдельном файле.</p> <p>B3 обеспечивает пригодность продукта для преобладающего большинства потребителей.</p> <p>Для реализации B4 потребуется дальнейшая реализация удаленного доступа.</p>

Продолжение таблицы 42

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1 Простота использования и автономность от среды разработки программного обеспечения</p> <p>С2 Открытый доступ к программе и математике ПО</p> <p>С3 Обширное количество методов расчета регулятора</p> <p>С4 Возможность построения переходного процесса по каналу управления и/или по каналу возмущения и автоматический расчет показателей качества</p> <p>С5 Возможность проверки на густь по каналу управления и по каналу возмущения с цветовым сопровождением</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1 Используемый численный метод в ПО имеет высокую погрешность при исследовании объектов высокого порядка</p> <p>Сл2 Точность и быстродействие моделирования зависит от шага и постоянного времени</p> <p>Сл3 Малый срок для полной реализации всех задуманных функций ПО</p> <p>Сл4 Не предназначен для других ОС кроме Windows</p> <p>Сл5 Отсутствует функция сохранения данных в отдельном файле</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1 Отсутствие спроса на продукт</p> <p>У2 Массовый переход с Windows на другую ОС</p> <p>У3 Плагиат программного кода сторонней организацией</p> <p>У4 Введение дополнительных требований к качеству продукции</p> <p>У5 Потеря авторства продукта</p>	<p>За счет всех сильных сторон вероятность возникновения У1 нулевая.</p> <p>При высоком спросе и отсутствии конкурентов пользователи не будут переходить на другие ОС.</p> <p>Для того, чтобы избежать У3 необходимо ограничить копирование программного кода. Имеющихся функций и возможностей продукта должно быть достаточно для требований к качеству продукта.</p> <p>Для того, чтобы У5 не повлиял на разработку проекта, необходимо оформить патент на разработку.</p>	<p>Чтобы избежать У1 необходимо использовать более точные численные методы, увеличить срок реализации всех функций и сделать продукт доступным для всех ОС.</p> <p>Чтобы избежать У2 необходимо сделать продукт доступным для всех ОС.</p> <p>Чтобы избежать У3 необходимо ограничить копирование программного кода.</p> <p>Чтобы избежать У4 необходимо использовать более точные численные методы, минимизировать зависимость точности и быстродействия моделирования от шага моделирования и порядка объекта, сделать продукт доступным для всех ОС и обеспечить сохранения результата в отдельном файле.</p> <p>Чтобы У5 не повлиял на разработку проекта, необходимо оформить патент на разработку.</p>

#### 4.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого заполняется специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта [11].

Таблица 43 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	3
Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	3
Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	1
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	1
Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	1

Продолжение таблицы 43

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	2
Проработан механизм реализации научного проекта	3	3
<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	<b>36</b>	<b>32</b>

По итогам оценки коммерциализации выявлено, что разработка считается средней перспективности, и знания разработчика также оцениваются как средние.

Для достижения перспективности проекта необходимо осуществить охрану авторских прав разработки, произвести оценку стоимости интеллектуальной собственности, нанять специалистов для маркетингового анализа рынка сбыта, разработать бизнес-план коммерциализации научного проекта, определить пути продвижения научной разработки на рынок и проработать вопрос финансирования коммерциализации научной разработки.

#### **4.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (а это, как правило, владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности), преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств для продолжения своих научных исследований и разработок (получение финансирования, оборудования, уникальных материалов, других научно-технических разработок и т. д.), одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

При этом время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации [11].

После анализа методов коммерциализации был выбран метод торговли патентными лицензиями. Данный метод был выбран потому, что получив патент на полезную модель, патентообладатель может продавать права на него частично или полностью или самому, производить продукцию на каком либо привлеченном или собственном предприятии. Патентование полезной модели проста в процедуре реализации, требует минимальных затрат и нет необходимости проверки на изобретательский уровень, что значительно экономит время.

Также, при проведении SWOT-анализа одной из угроз является потеря права собственности на разработку, следовательно, при выборе данного метода коммерциализации будет исключена упомянутая угроза.

## 4.6 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта [11].

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать [11].

Таблица 44 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Научный-руководитель	Дальнейшая доработка, направленная на обеспечение доступа пользователя к ПМ удаленно
Кафедра ЭАФУ	Разработанный ПМ, который в дальнейшем планируется внедрить в учебный практикум

Таблица 45 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработать ПМ для параметрического синтеза типовых регуляторов и исследования одноконтурных САУ по отклонению статическими и астатическими технологическими объектами.
---------------	---



Продолжение таблицы 45

Ожидаемые результаты проекта:	Высокая производительность при проведении исследований одноконтурных САУ по отклонению; значительная экономия временных ресурсов при использовании продукта.
Критерии приемки результата проекта:	Точность и эффективность, проводимых ПМ, вычислений; Производительность при использовании ПМ.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Выполнение необходимых функций с достаточной точностью и эффективностью;
	Оптимальная производительность;
	Максимальная информативность окон пользователя;

Также необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте и прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эта информация представлена в таблице 46.

Таблица 46 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- затраты, ч.
Креницын Н.С., ТПУ, кафедра ЭАФУ, старший преподаватель	Руководитель проекта	Консультирование, определение задач, контроль выполнения	32

Продолжение таблицы 46

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- затраты, ч.
Меньшикова Е.В., ТПУ, кафедра менеджмента, доцент	Эксперт проекта	Консультирование, определение задач, контроль выполнения	32
Намсараев Ю.Ц., ТПУ, кафедра ЭАФУ, техник	Исполнитель по проекту	Анализ литературных источников, программная реализация разрабатываемого ПМ	768
ИТОГО:			832

#### 4.7 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта [11].

Таблица 47 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Бюджет проекта	отсутствует
Источник финансирования	отсутствует
Сроки проекта:	16 недель

Продолжение таблицы 47

Фактор	Ограничения/ допущения
Дата утверждения плана управления проектом	26.09.2016
Дата завершения проекта	09.01.2017
Прочие ограничения и допущения*	ограничение временных ресурсов в будние дни с 18 <sup>00</sup> до 21 <sup>00</sup> у исполнителя проекта, ограничение временных ресурсов у руководителя и эксперта проекта в рабочее время

#### 4.8 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта.

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [11]. График представлен в таблице 48.

Таблица 48 – Календарный план-график проекта

Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ												
			сен.	окт.			ноя.			дек.			январ.		
			3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
Постановка задачи	Научный руководитель	3	■												
Технико-экономическое обоснование	Инженер (дипломник)	3		■											
Изучение литературы	Инженер (дипломник)	6			■										
Изучение библиотек ПМ	Инженер (дипломник)	6				■									
Разработка логики программного обеспечения	Инженер (дипломник)	9					■								
Разработка блок-схем программ алгоритмов	Инженер (дипломник), Научный руководитель	6						■							
		3							■						
Разработка основного интерфейса	Инженер (дипломник)	10								■					
Разработка дополнительного интерфейса	Инженер (дипломник)	10									■				
Разработка второго дополнительного интерфейса	Инженер (дипломник)	10										■			
Охрана труда	Инженер (дипломник)	10											■		
Экономический расчет	Инженер (дипломник)	10												■	



## 4.9 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице 49.

В данной научной разработке планируемыми расходами являются специальное оборудование для экспериментальных работ, основная заработная плата, отчисления на социальные нужды, а также расходы на электроэнергию при работе с компьютером.

Расчет стоимости специального оборудования производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (15 % от цены). Результаты по данной статье в таблице 50.

Амортизационные отчисления рассчитываются с учетом:

$$a_n = \frac{1}{4} = 0,25 \quad (13)$$

$$a_r = a_n \cdot C_{\text{эвм}} = 0,25 \cdot 52000 = 13000 \text{ р.} \quad (14)$$

$$A_o = \frac{a_r}{12} = \frac{13000}{12} = 1083,34 \text{ р.} \quad (15)$$

где  $a_n$  – годовая норма амортизации,  $\frac{1}{T}$ ;

$a_r$  – сумма ежегодных амортизационных отчислений;

$A_o$  – сумма ежемесячных амортизационных отчислений.

В статью основной заработной платы включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников. Величина расходов определяется из трудоемкости выполняемых работ. Расчет основной заработной платы представлен в таблице 51.

Основная заработная плата работника рассчитывается по следующей формуле (16):

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} \quad (16)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (17):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (17)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – оклад работника, р.,

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в год, мес.,

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

Оклад руководителя составляет 20389,99 р.

Оклад дипломника составляет 7483,58 р.

Среднедневная заработная плата руководителя (формула (18)):

$$Z_{\text{д}}^{\text{рук}} = \frac{20389,99 \cdot 10,4}{300} = 706,85 \quad (18)$$

Среднедневная заработная плата дипломника (формула (19)):

$$Z_{\text{д}}^{\text{дип}} = \frac{7483,58 \cdot 10,4}{300} = 259,43 \quad (19)$$

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 (формула (20)).

Таблица 49 – Группировка затрат по статьям

Вид работ	Статьи			
	Специальное оборудование для научных работ и затраты на электроэнергию, тыс. р.	Основная заработная плата, тыс. р	Отчисления на социальные нужды, тыс. р.	Итого плановая себестоимость, тыс. р.
Все виды работ календарного план-графика проекта	$4,34+0,07=4,41$	169,88	37,69	211,98

Таблица 50 – 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 Lenovo G70	1	52	4,34



Таблица 51 – Расчет основной заработной платы

Этап	Исполнитель	Трудоемкость, чел.-д.	З/п на один чел.-д., р.	Всего з/п, тыс. р.
Постановка задачи	Научный руководитель	3	706,85	2,76
Технико-экономическое обоснование	Инженер (дипломник)	3	259,43	1,02
Изучение литературы	Инженер (дипломник)	6	259,43	2,03
Изучение библиотек ПМ	Инженер (дипломник)	6	259,43	2,03
Разработка логики программного обеспечения	Инженер (дипломник)	9	259,43	3,04
Разработка блок-схем программ и алгоритмов	Инженер (дипломник), Научный руководитель	6 3	706,85 259,43	11,31
Разработка основного интерфейса	Инженер (дипломник)	10	259,43	3,38
Разработка дополнительного интерфейса	Инженер (дипломник)	10	259,43	3,38
Разработка второго дополнительного интерфейса	Инженер (дипломник)	10	259,43	3,38

Продолжение таблицы 51

Этап	Исполнитель	Трудоемкость, чел.-д.	З/п на один чел.-д., р.	Всего з/п, тыс. р.
Экономический расчет	Инженер (дипломник)	10	259,43	3,38
Охрана труда	Инженер (дипломник)	10	259,43	3,38
Оформление отчета	Инженер (дипломник)	10	259,43	3,38
Итого				42,47

$$C_{\text{эз}} = 6 \cdot Д \cdot Т \cdot М \quad (20)$$

где 6 – 6-часовой рабочий день;

Д – продолжительность работ;

Т – тариф на электроэнергию,  $\frac{\text{р.}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$ ;

М – мощность, потребляемая ноутбуком, Вт.

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:

$$C_{\text{эз}} = 6 \cdot 1 \cdot \frac{5,8}{1000} \cdot 119,925 = 4,18 \text{ р.} \quad (21)$$

Статья отчислений на социальные нужды включает в себя затраты в пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и фонд социального страхования. Общий коэффициент отчислений на оплату во

внебюджетные фонды составляет 30 %. Отчисления на социальные нужды рассчитываются по формуле (22).

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (22)$$

$Z_{\text{осн}}$  для руководителя составляет  $706,99 \cdot 25 \cdot 1,3 = 22977,18$  р.

$Z_{\text{осн}}$  для дипломника составляет  $259,43 \cdot 25 \cdot 1,3 = 8431,48$  р.

Ежемесячные отчисления на социальные нужды составят для руководителя  $22977,18 \cdot 0,3 = 6893,16$  р., а для дипломника  $8431,48 \cdot 0,3 = 2529,44$  р.

#### **4.10 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. Информация по данному разделу отражена в таблице 52.

Таблица 52 – Реестр рисков

Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
Потеря авторства продукта	Внешнее воздействие	1	5	Средний	Оформить патент на разработку	Слияние кафедры ЭАФУ с другой кафедрой
Плагиат программного кода сторонней организацией	Внешнее воздействие	2	5	Высокий	Ограничить доступ к программе продукта	Доступ к моей учетной записи
Отсутствие спроса	Внешнее воздействие	2	3	Средний	Разработка дополнительных функций ПО	Более конкурентоспособный аналог
Повышение требования к качеству	Внутреннее воздействие	4	4	Высокий	Использование точных методов расчета	Несоответствие требованиям по качеству

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

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения.

Бюджетная эффективность характеризуется участием государства в проекте с точки зрения расходов и доходов бюджетов всех уровней [11].

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (23)$$

где  $I_{\Phi}^p$  – интегральный финансовый показатель разработки;

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

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т. ч. аналоги).

Рассмотрим вариант разработки данного ПМ в среде MatLab.

При разработке ПМ в среде MatLab, к себестоимости продукта добавится стоимость самой среды разработки. Минимальная цена MatLab составляет 1054,69 \$ или, учитывая нынешний курс доллара, 67869,30 р. Тем самым интегральный финансовый показатель разработки будет составлять

$I_{\Phi}^p = \frac{211,98}{279,85} = 0,76$ . Этот показатель отражает численное удешевление стоимости разработки в 0,76 раз.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (24)$$

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 53.

Интегральный показатель ресурсоэффективности текущего проекта составляет  $I_m^p = 4,78$ , а для аналога  $I_m^a = 4,03$ .

Таблица 53 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1
1 Повышение производительности труда пользователя	0,2	5	5
2 Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	5	5
3 Количество математических моделей объектов	0,05	5	5
4 Количество методов расчета параметров регулятора	0,05	5	5
5 Построение графиков переходного процесса	0,1	4	4
6 Автоматический расчет показателей качества	0,15	5	5
7 Автономность от среды, в которой разрабатывался продукт	0,15	5	0
8 Сохранение данных	0,03	1	1
9 Доступ к математике, используемой в продукте	0,02	5	5
10 Построение областей проверки на густь	0,15	5	5
ИТОГО	1	45	40

Интегральный показатель эффективности разработки и аналога определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a}, \quad I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} \quad (25)$$

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{4,78}{0,76} = 6,29, \quad I_{\text{финр}}^a = \frac{4,03}{1} = 4,03 \quad (26)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} \quad (27)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{ср}}$  – сравнительная эффективность проекта;

$I_{\text{тэ}}^p$  – интегральный показатель разработки;

$I_{\text{тэ}}^a$  – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 54 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Аналог	Разработка
Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,76
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,03	4,78
Интегральный показатель эффективности	4,03	6,29
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,56	



#### **4.12 Выводы по разделу**

При анализе конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсоснабжения было выявлено, что разработанный ПМ имеет достаточные преимущества перед своими конкурентами, так как имеет наивысший коэффициент конкурентоспособности. Далее при проведении SWOT-анализа были рассмотрены имеющиеся сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы разрабатываемого ПМ. В результате исследования стало известно, что сильные стороны в совокупности с возможностями делают разрабатываемый ПМ очень востребованным на рынке, а что касемо слабых сторон и угроз, то были разработаны решения, направленные на минимизацию вероятности возникновения угроз и на устранение слабых сторон разработки. Результатом оценки готовности проекта к коммерциализации является то, что разработка является средней перспективности и методом коммерциализации служит торговля патентными лицензиями.

Выявлены заинтересованные стороны проекта, составлены цели и ожидаемые результаты, составлена рабочая группа проекта и ограничения и допущения, с которыми можно столкнуться при разработке ПМ.

Также составлен календарный план-график проекта, отражающий даты начала и окончания этапов реализации проекта.

Рассчитан бюджет научного исследования, который составил 211,98 тыс. р. Идентифицированы риски проекта, наиболее опасными из которых являются повышение требования к качеству и плагиат программного алгоритма сторонней организацией.

При оценке сравнительной эффективности исследования выявлено, что выбранный и реализованный вариант решения поставленной цели лучше с точки зрения финансовой и ресурсной эффективности.