

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
СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЛАМЕННЫМ РЕАКТОРОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ УПРАВЛЯЕМОЙ КООРДИНАТЫ ПЛОТНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГАЗА

УДК 621.384.647:681.51.01

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0711	Васильев В.Г.		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По научно-техническим вопросам

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Главный приборист АО «СХК»	Савитский О.П.			

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	<p>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.</p>
P2	<p>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.</p>

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.
Р4	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.
Р5	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.
Р6	Применять основные законы естественнонаучных дисциплин, математический аппарат, вычислительную технику, современные методы исследований процессов и объектов для формализации, анализа и выработки решения профессиональных задач.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р7	Уметь самостоятельно повышать уровень знаний в области

	<p>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.</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</p>

	<p>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 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 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 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:

Дипломного проекта

Студенту:

Группа	ФИО
0711	Васильеву В.Г.

Тема работы:

Тема ВКР в соответствии с приказом

Утверждена приказом директора ФТИ
--

от 31.10.2016 № 9286/с

Дата сдачи студентом выполненной работы	26 января 2017 г.
--	-------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Пламенный реактор фторирования. Состав технологического газа на выходе пламенного реактора: N ₂ , HF, F ₂ , UF ₆ , O ₂ . Программный комплекс моделирования двух технологических линий производства гексафторида урана. Динамическая математическая модель пламенного реактора.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Анализ технологической схемы получения гексафторида урана. Анализ методов и приборов измерения плотности смеси газов. Адаптация динамической модели УФ для расчета плотности как его выходной координаты. Математическое описание динамики пламенного реактора при условии, что выходной координатой является плотность газа. Синтез контура по отклонению САУ ПР с применением плотности в качестве управляемой координаты. Адаптация блока идентификации параметров модели с применением плотности в качестве управляемой координаты. Адаптация блока компенсации основного возмущающего воздействия при условии применения плотности в качестве управляемой координаты.
---	--

Перечень графического материала	
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Научно-технические вопросы	Савитский О.П.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент, канд. филос. наук Меньшикова Е.В.
Социальная ответственность	ассистент Акимов Д.В.

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дядик В.Ф.	канд. техн. наук, доцент		03.10.16

Задание принял к исполнению студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0711	Васильев В.Г.		03.10.16

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 140 с., 18 рис., 31 табл., 43 источника, 3 прил.

ПЛАМЕННЫЙ РЕАКТОР, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ, УПРАВЛЯЕМАЯ КООРДИНАТА, ПЛОТНОСТЬ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ГАЗ, МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Объектом исследования является узел высокотемпературного фторирования получения гексафторида урана.

Цель работы – синтез САУ ПР с использованием в качестве управляемой координаты плотности технологического газа.

В процессе исследования проводилось моделирование процессов происходящих в узле фторирования на статических и динамических моделях. По полученным переходным процессам, определены динамические модели ПР и рассчитаны их параметры.

В результате исследования синтезирована система автоматического управления пламенным реактором с управляемой координатой – плотность технологического газа.

Область применения: оптимизация технологического процесса.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в возможности оптимизации технологического процесса путем замены управляемой координаты в САУ ПР, измерение которой менее дорогостоящее, а также исключением стадии очистки готового гексафторида урана от органических примесей.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 7.9–95 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация. Общие требования

ГОСТ 7.32–2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления

ГОСТ 8.417–2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

масс-спектрометр: прибор для исследования вещества, принцип действия которого основан на определении отношения массы к заряду ионов, образующихся при ионизации представляющих интерес компонентов пробы.

В данной работе применены следующие сокращения:

гексафторид урана; ГФУ.

пламенный реактор; ПР.

получение гексафторида урана; ПГУ.

узел высокотемпературного фторирования; УФ.

система автоматического управления; САУ.

тетрафторидурана; ТФУ.

закись окись урана; ЗОУ.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	16
1 Аналитический обзор	18
1.1 Технологическая схема производства гексафторида урана	18
1.2 Узел высокотемпературного фторирования	22
1.3 Анализ основных характеристик газовых смесей	236
2 Моделирование узла фторирования	31
2.1 Определение характера связи объемной концентрации фтора и плотности смеси технологических газов на выходе ПР и диапазонов изменения плотности технологического газа	31
2.2 Методы и приборы измерения плотности смеси газов	38
2.3 Выбор типа вибрационного плотномера для технологической линии сублиматного производства	43
2.4 Математическое описание динамики узла фторирования при условии, что выходной координатой является плотность газа	45
2.4.1 Математическая модель узла фторирования	45
2.4.2 Определение динамических характеристик узла фторирования на компьютерной модели	49
3 Синтез и адаптация системы автоматического управления пламенного реактора	55
3.1 Действующая САУ ПР	55
3.2 Синтез одноконтурной САУ ПР	56
3.3 Определение аналитических зависимостей параметров динамической модели узла фторирования от расходов сырьевых продуктов ...	71
3.4 Алгоритм адаптации коэффициента передачи модели ПР к изменению физико-механических характеристик полупродукта	75
3.5 Контур компенсации влияния неустойчивости расхода технического фтора на плотность	79

4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	84
4.1	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	85
4.2	SWOT-анализ	86
4.3	Оценка готовности проекта к коммерциализации	88
4.4	Инициация проекта.....	90
4.5	План проекта	91
4.6	Бюджет научного исследования.....	93
4.7	Основная заработная плата.....	93
4.8	Расчет потребляемой электроэнергии	95
4.9	Затраты на спецоборудование	96
4.10	Группировка затрат по статьям.....	97
4.11	Реестр рисков исследования	99
4.12	Оценка сравнительной эффективности исследования.....	99
5	Социальная ответственность	103
5.1	Введение	103
5.2	Анализ вредных и опасных факторов.....	105
5.3	Электробезопасность	106
5.4	Требования безопасности при работе с ПК.....	109
5.4.1	Эргономика и организация рабочего места	109
5.5	Нормы естественного и искусственного освещения.....	109
5.6	Мероприятия по борьбе с производственным шумом.....	112
5.7	Мероприятия по выполнению норм вентиляции и отопления	113
5.8	Мероприятия по пожарной безопасности	113
5.9	Мероприятия по охране окружающей природной среды.....	114
5.10	Выводы по разделу	115
	Заключение	116
	Список публикаций студента	118
	Список использованных источников	120

Приложение А. Результаты компьютерного эксперимента на статической модели ПР	125
Приложение Б. Результаты компьютерного эксперимента на динамической модели ПР	138
Приложение В. Презентация.	на отдельных листах
Титульный лист	
Актуальность работы	
Цели и задачи	
Узел высокотемпературного фторирования	
Основные характеристики газовых смесей	
План компьютерного эксперимента для определения характера связи объемной концентрации фтора и плотности газовой смеси технологических газов	
Зависимость объемной концентрации фтора и плотности газа при изменении загрузки уран содержащих продуктов	
Диапазоны изменения плотности технологического газа	
Диапазоны изменения плотности технологического газа	
Методы измерения плотности газов	
Вибрационные плотномеры	
Математическая модель узла фторирования	
Динамические характеристики узла фторирования	
Динамические характеристики узла фторирования	
Структурная схема САУ ПР	
Синтез одноконтурной САУ ПР	
Зависимость параметров динамической модели узла фторирования от расходов сырьевых продуктов	
Адаптация коэффициента передачи модели ПР	
Контур компенсации влияния неустойчивости расхода технического фтора	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	

Результаты работы

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

643.ФЮРА00001-01 81 01 Пояснительная записка ВКР. Файл

Васильев_ВКР.doc

Презентация к ВКР. Файл Васильев_ВКР_презентация.pptx

ВВЕДЕНИЕ

Качественная работа локальных систем автоматического управления (САУ) – основа промышленной безопасности, долговечности и достижимости экономических показателей, обеспечиваемых АСУ ТП в целом. В химической промышленности для автоматического управления процессов, протекающих в газовой фазе, в качестве управляемой координаты как правило используется содержание одного из компонентов газовой смеси на выходе процесса. В действующей САУ ПР измерение управляемой координаты (избыточной концентрации фтора) осуществляется с помощью системы, включающей в себя отбор пробы, ее транспортировку и анализ масс-спектрометром МТИ-350-ГС.

Изменение управляемой координаты в САУ ПР необходимо для:

- уменьшения затрат на эксплуатацию и обслуживание масс-спектрометров, измеряющих управляемую координату, и линий пробоотбора;
- уменьшения величины запаздывания изменений управляемой координаты САУ ПР от момента подачи входных воздействий на технологический объект управления;
- исключения необходимости очистки гексафторида урана от фторуглеродистых соединений на разделительном заводе.

Продуктом процесса фторирования является технологический газ, представляющий собой смесь гексафторида урана, фтора, фтороводорода, кислорода и азота.

Газовая смесь может быть описана различными характеристиками, определяющими ее состав и свойства, а именно: массовыми, объемными или мольными долями, плотностью смеси и так далее. Из формулы плотности смеси газов следует, что по изменению плотности газа можно судить об изменении концентрации одного из компонентов смеси.

643.ФЮРА.00004-01 81 01				
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Васильев</i>		
<i>Провер.</i>		<i>Дядик</i>		
<i>Консульт</i>		<i>Савитский</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Ефремов</i>		
<i>Утверд</i>		<i>Горюнов</i>		
Введение				
		<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
		ТПУ	ФТИ	
		Группа	0711	

В работе [1] в качестве альтернативной характеристики газовой смеси на выходе ПР предложено использовать ее плотность. Поэтому целью данной работы является синтез САУ ПР с использованием в качестве управляемой координаты плотности технологического газа.

Достижение поставленной цели предполагает решение следующих задач:

- определения характера связи объемной концентрации фтора и плотности технологического газа на выходе ПР;
- анализа методов и приборов измерения плотности смеси газов;
- адаптации динамической модели узла фторирования для расчета плотности как его выходной координаты;
- математического описания динамики пламенного реактора при условии, что выходной координатой является плотность газа;
- синтеза контура по отклонению САУ ПР с применением плотности в качестве управляемой координаты;
- адаптации блока идентификации параметров модели с применением плотности в качестве управляемой координаты;
- адаптации блока компенсации основного возмущающего воздействия при условии применения плотности газовой смеси в качестве управляемой координаты.

1 Аналитический обзор

1.1 Технологическая схема производства гексафторида урана

ПГУ является неотъемлемой частью ЯТЦ. Большая часть АЭС, эксплуатируемых в настоящее время в мире, в качестве сырья используют ядерное топливо, обогащенное изотопом ^{235}U . Для обогащения урана по изотопу ^{235}U методом центрифугирования, используют ГФУ, так как при сравнительно низких температурах его можно перевести в газообразное состояние.

Современное промышленное производство гексафторида урана основано на газификации тетрафторида урана или оксидов урана согласно уравнениям (1) по технологическим схемам, включающим три основные стадии (рисунок 1): высокотемпературное фторирование урансодержащих соединений, десублимацию UF_6 в твердую форму и улавливание фторсодержащих газовых компонентов (F_2 , HF и UF_6) на исходном сырье [3–8].

В качестве исходного сырья может выступать как закись-окись урана, так и тетрафторид урана. Исторически сложилось, что за рубежом ГФУ преимущественно получают по тетрафторидной схеме (из ТФУ), а в России, как по оксидной (из ЗОУ), так и по тетрафторидной [3].

В основе технологии получения UF_6 лежат высокоэкзотермичные гетерогенные химические реакции газ – твердое, кинетические закономерности которых определяют полноту их протекания, а аппаратурное оформление – интенсивность процессов.

Современное промышленное ПГУ основано на взаимодействии газообразного фтора с оксидами и фторидами урана, согласно уравнениям (1).

					<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>Васильев</i>			<i>Введение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Дядик</i>						
<i>Консульт</i>		<i>Савитский</i>						
<i>Н. Контр.</i>		<i>Ефремов</i>						
<i>Утверд</i>		<i>Горюнов</i>						
						<i>ТПУ</i>	<i>ФТИ</i>	
						<i>Группа</i>	<i>0711</i>	

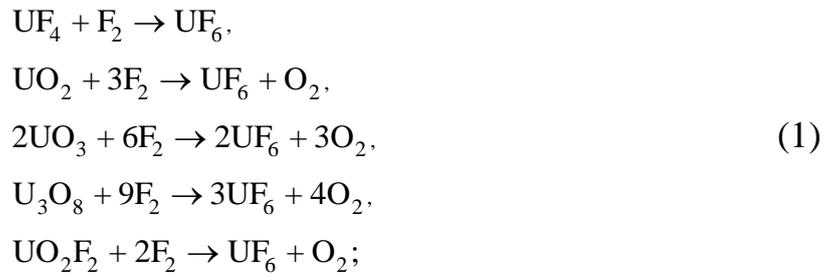


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема производства

Образующиеся на стадии улавливания твердые продукты улавливания направляются затем на стадию фторирования. Фторирование проводят в пламенных реакторах в нисходящей прямоточной газовой смеси, высокие коэффициенты тепло- и массообмена в которой позволили интенсифицировать процесс синтеза UF_6 за счет перевода его в высокотемпературную область. Однако, для полноты извлечения урана из-за незначительного времени пребывания газовой смеси в реакционной зоне необходимы повышенные над стехиометрией избытки фтора – от 10 до 20 об. %. Так, при фторировании оксидных продуктов улавливания технологические газы после стадии десублимации UF_6 содержат значительные количества фтора (до 30 об. %), гексафторид урана (от 1 до 3 об. %) и фтористый водород (до 20 об. %),

поступающий в ПР с техническим фтором. Концентрация этих компонентов в газовой фазе, направляемой на стадию улавливания, через которую пропускается все исходное сырье, определяет состав твердых продуктов улавливания в виде связанного фтор-иона. Его количество и физико-химические свойства получаемых продуктов улавливания влияют на режим их фторирования в ПР и прежде всего на состав реакционных газов, поэтому стадии улавливания и фторирования функционально зависимы друг от друга. Это классический пример рециркуляционной технологической схемы, где в качестве рециркулянта выступает связанный фтор-ион (m), что позволяет обеспечивать почти 99 % использование дорогостоящих урана и фтора [9].

Тетрафторидная схема получения UF_6 над оксидной имеет следующие преимущества:

- удельный расход фтора в 2–3 раза ниже, чем при фторировании оксидов;
- количество выделяющегося при фторировании тепла значительно ниже, что облегчает охлаждение реактора фторирования;
- концентрация гексафторида урана в реакционном газе гораздо выше, что позволяет более полно выделить его при десублимации.

Но вместе с тем улавливание ценных компонентов из хвостовых газов на ТФУ малоэффективно, по сравнению с ЗОУ [2].

Основные преимущества оксидного сырья перед тетрафторидом:

- сокращение технологической схемы получения гексафторида урана. В этом случае исключаются стадии восстановления высших оксидов до диоксида и гидрофторирования диоксида до тетрафторида;
- отсутствие в системе промежуточных фторидов урана. Большинство промежуточных фторидов способны при температуре свыше $450^\circ C$ давать плавкие системы. При нарушении теплового режима в реакторе фторирования возможно превращение пластов в «настыли», что приводит к серьезным последствиям вплоть, до остановки реактора для удаления «настылей» [21].

В связи с необходимостью повышения производительности по ГФУ без изменения производственных мощностей по фтору, на СЗ СХК в 2014 году запущена дополнительная технологическая линия, что позволило одновременно перерабатывать ЗОУ и ТФУ. Структурная схема модернизированного ПГУ приведена на рисунке [2].

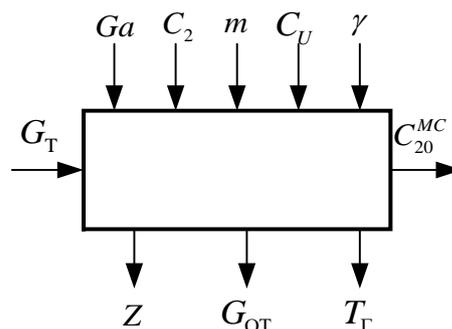
В первой линии осуществляется фторирование полупродукта, преимущественно полученного из ЗОУ (оксидная линия), во второй – из ТФУ (тетрафторидная линия).

Преимуществами действующего ПГУ над классическими схемами, используемыми на СЗ СХК ранее являются:

- повышение производительности по ГФУ на единицу затрачиваемого фтора по сравнению с ранее используемой оксидной схемой;
- обеспечение эффективного улавливания ценных компонентов на ЗОУ;
- возможность эксплуатации производства в непрерывном режиме без накопления промежуточных продуктов;
- возможность влияния на суммарную производительность двух технологических линий за счет изменения массовых расходов перерабатываемых ТФУ и ЗОУ, а также количества затрачиваемого технического фтора.

1.2 Узел высокотемпературного фторирования

Итогом анализа узла фторирования как объекта управления в работе [17, 18] явились его структурная схема, перечень и классификация технологических переменных, характеризующих процесс фторирования представленные на рисунке 2.



Возмущающие воздействия: G_a – расход анодного газа, м³/ч; C_2 – концентрация фтора в анодном газе, об. дол.; m – содержание фтор-ионов в полупродуктах, вес. дол.; C_U – содержание урана в полупродуктах, вес. дол.; γ – удельный вес полупродуктов, Н/м³.
Управляющее воздействие: G_T – расход полупродуктов, кг/ч. Управляемая переменная: C_{20}^{MC} – концентрация фтора, об. дол. Выходные переменные: Z – степень извлечения урана, отн. ед.; T_{Γ} – температура реакционных газов, К; G_{OT} – количество огарков, кг/ч.

Рисунок 2 – Структурная схема узла фторирования

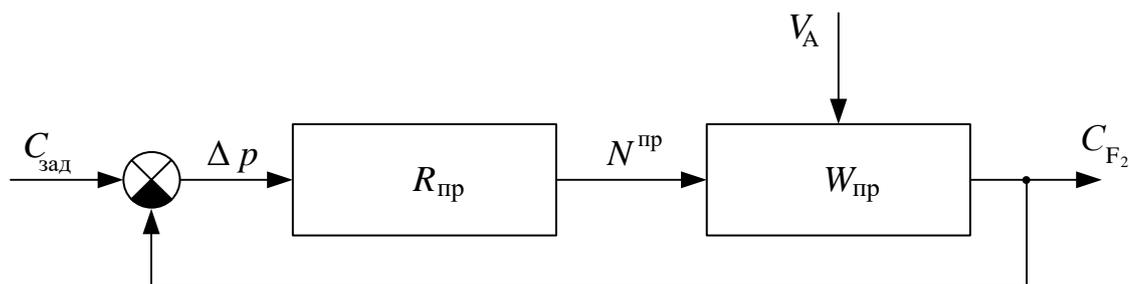
Из возможных возмущений контролируется только расход технического фтора – G_a .

Управляемой контролируемой переменной, то есть величиной по которой можно судить о соответствии процесса заданному регламенту является концентрация фтора в реакционных газах на выходе узла – C_{20}^{MC} .

Динамическая модель узла фторирования, необходимая для синтеза САУ ПР, построена на основании экспериментальных исследований [18]. Итоговая модель ПР, как объекта управления, представлена выражением (2).

$$W_{\text{ПР}}(s) = \frac{-1,1 \cdot e^{-90s}}{55 \cdot s + 1} \quad (2)$$

На основании полученной модели произведен синтез одноконтурной системы автоматической стабилизации концентрации фтора на выходе ПР, структурная схема которой представлена на рисунке 3.



$R_{\text{пр}}$ – передаточная функция регулятора САУ ПР; $C_{\text{зад}}$ – уставка на концентрацию фтора, об. %; ΔC – сигнал рассогласования, об. %; C_{F_2} – концентрация фтора на выходе ПР, об. %; $N^{\text{ПР}}$ – частота вращения шнека загрузки бункера ПР, об/мин; V_{A} – расход технического фтора, м³/ч

Рисунок 3 – Структурная схема САУ ПР

Представленные данные позволяют определить допустимые интервалы значений параметров динамической модели, необходимые для сравнения с параметрами динамической модели ПР, в которой в качестве управляемой координаты будет использована плотность технологического газа на выходе пламенного реактора.

1.3 Анализ основных характеристик газовых смесей

Газовой смесью называется смесь отдельных газов, не вступающих между собой ни в какие химические реакции. Каждый газ (компонент) в смеси независимо от других газов полностью сохраняет все свои свойства и ведет себя так, как если бы он один занимал весь объем смеси [15]. Будем считать, что технологический газ можно назвать газовой смесью, т. е. он подчиняется

выше описанным правилам. Следовательно, данный газ обладает свойствами газовой смеси.

Для вычислений, связанных с массой, давлением, температурой и объемом газов, широко применяется уравнение Менделеева-Клапейрона для идеального газа:

$$P \cdot V = \nu \cdot R \cdot T, \quad (3)$$

где ν – число молей газа;

P – давление газа, Па;

T – температура газа, К;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(К·моль).

Для того чтобы воспользоваться уравнением Менделеева-Клапейрона для смеси газов необходимо знать газовую постоянную $R_{см}$ и молярную массу смеси $M_{см}$. Для смеси, как для любого идеального газа, эти две величины связаны соотношением $R_{см} = 8314/M_{см}$ (Дж/(кг·К)). Чтобы рассчитать эти величины необходимо знать состав смеси газов, т. е. какие газы и в какой пропорции входят в смесь.

Состав смеси может быть задан массовыми, объемными или мольными долями [14].

Массовой долей g_i данного газа называется отношение его массы к массе всей смеси:

$$g_i = \frac{m_i}{m_{см}}, \quad (4)$$

где m_i – масса отдельного газа, входящего в смесь;

$m_{см}$ – общая масса смеси.

Объемной долей r_i данного газа называется отношение объема, который занимал бы данный газ при температуре и давлении смеси, к общему объему смеси:

$$r_i = \frac{V_i}{V_{\text{см}}}, \quad (5)$$

где V_i – объем данного газа при $T_{\text{см}}$ и $P_{\text{см}}$, м^3 .

Объем V_i называют парциальным объемом, это искусственно введенная величина, поскольку каждый газ, входящий в смесь, занимает весь объем смеси. Парциальный объем можно рассчитать по уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$V_i = \frac{\nu_i R T_{\text{см}}}{P_{\text{см}}} \quad (6)$$

Откуда можно получить еще одно расчетное выражение для объемной доли:

$$r_i = \frac{V_i}{V_{\text{см}}} = \frac{P_i}{P_{\text{см}}} \quad (7)$$

Также для смеси газов используется понятие мольных долей. Мольной долей называется отношение количества молей данного газа ν_i к общему количеству молей всех газов смеси $\nu_{\text{см}}$.

Количество молей определяется делением массы газа на его молярную массу:

$$\nu_i = \frac{m_i}{M_i} \quad (8)$$

Воспользовавшись уравнением Менделеева-Клапейрона для парциального и полного объемов смеси газов и введя в него количество молей, получим еще одно расчетное выражение для мольной доли [15]:

$$r_i = \frac{V_i}{V_{\text{см}}} = \frac{\nu_i}{\nu_{\text{см}}} \quad (9)$$

Существует взаимосвязь массовых и объемных долей смеси. Ее несложно получить, выразив массы газов через произведение их объемов на плотности, а отношение плотностей при одинаковых параметрах, в соответствии с законом Авогадро, заменив отношением молярных масс [14]:

$$g_i = \frac{m_i}{m_{\text{см}}} = \frac{V_i \cdot \rho_i}{V_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{см}}} = r_i \frac{M_i}{M_{\text{см}}} = r_i \frac{R_{\text{см}}}{R_i} \quad (10)$$

Также к характеристикам газовой смеси относят плотность этой смеси, по измерению которой из уравнения (11) можно сделать вывод о составе данной смеси.

Исходя из приведенных формул, описывающих свойства газовых технологических смесей следует, что изменение плотности газа может служить мерой показывающей изменение концентрации одного из компонентов технологического газа. Для расчета плотности газовой смеси в работе [16] используется формула:

$$\rho_{\text{смеси}} = \frac{273}{T_{\Gamma}} \sum \rho_i \cdot r_i, \quad (11)$$

где T_{Γ} – температура газа;

ρ_i – плотность каждого из компонентов;

r_i – объемная доля каждого компонента.

Исходя из исследований, проведенных в работе [16] и формуле (11) по найденной плотности газовой смеси можно судить об изменении концентрации компонентов смеси, что доказано в работе [1].

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Автоматизированные системы управления технологическими процессами обеспечивают повышение эффективности производства за счёт повышения производительности труда, увеличения объёма производства, улучшения качества выпускаемой продукции, рационального использования основных фондов, материалов и сырья, и уменьшения числа работающих на предприятии. Внедрение САУ отличается от обычных работ по внедрению новой техники тем, что оно позволяет перевести производственный процесс на качественно новую ступень развития. Качественное улучшение организации производства обусловлено значительным увеличением объёма обрабатываемой в САУ информации, резким увеличением скорости её обработки и применением для выработки управляющих решений более сложных методов и алгоритмов, чем те, которые использовали до внедрения автоматических систем управления технологическими процессами.

Результатом данного дипломного проекта является не сама система автоматического управления, а лишь алгоритм, который в дальнейшем планируется ввести в эксплуатацию на производстве. Алгоритм является ничем иным, как программным продуктом.

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

					643.ФЮРА.00004-01 81 01		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>	<i>Васильев</i>				Введение		
<i>Провер.</i>	<i>Дядик</i>						
<i>Консульт</i>	<i>Меньшикова</i>						
<i>Н. Контр.</i>	<i>Ефремов</i>						
<i>Утверд</i>	<i>Горюнов</i>						
					<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
					ТПУ ФТИ Группа 0711		

4.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Поскольку рынок и технологии находятся в постоянном движении и развитии, необходимо проводить детальный анализ конкурирующих разработок. Данный анализ позволит внести коррективы в развитие научного исследования, а также даст оценку сильным и слабым сторонам всем конкурентным разработкам.

Основным конкурентным решением является уже существующая САУ ПР на СЗ СХК – Бк1. Анализ конкурентных технических решений целесообразно проводить с помощью оценочной карты представленной в таблице 1.

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _Ф	Б _{К1}	К _Ф	К _{К1}
1 Способность удовлетворять требованиям тех. процесса	40 %	5	5	2,0	2,0
2 Итоговая стоимость UF ₆	15 %	5	3	0,75	0,45
3 Загрязнение органическими примесями UF ₆	15 %	5	1	0,75	0,15
4 Обслуживание при эксплуатации	10 %	4	3	0,4	0,3
5 Качество управления	10 %	3	2	0,3	0,2
6 Простота использования	5 %	3	2	0,15	0,1
7 Надежность	5 %	3	5	0,15	0,25
Итого	100 %	28	22	4,5	3,35

Как видно из таблицы 1, наиболее значимыми критериями являются способность удовлетворять требованиям технологического процесса и итоговая стоимость UF_6 . Исходя из таблицы 1 предлагаемый алгоритм управления обладает несколько большей конкурентоспособностью, так как отношение $K_{\Phi}/K_{K1} > 1$. Это достигается за счет уменьшения стоимости гексафторида урана путем замены дорогого в обслуживании измерительного прибора и персонала обслуживающего его, а также за счет отсутствия необходимости в дополнительной очистке готовой продукции.

4.2 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.

Для составления итоговой матрицы SWOT-анализа необходимо определить сильные и слабые стороны проекта, угрозы и возможности проекта, а также взаимную корреляцию между ними.

Сильными сторонами разрабатываемого проекта являются сокращение стоимости производства UF_6 , повышение качества управления.

Слабыми сторонами проекта являются возможная необходимость в чистке чувствительного элемента, а также проблемы по вводу предлагаемой САУ в эксплуатацию.

Возможностью проекта является внедрение данной САУ на других производствах по получению гексафторида урана.

Угрозой данному проекту является нахождение нового альтернативного способа анализа технологического газа, что приведет к неактуальности разрабатываемого алгоритма управления.

Корреляция между сильными и слабыми сторонами проекта с возможностями и угрозами отображена в итоговой матрице SWOT-анализа представленной в таблице 2.

Основной стратегией для данного научного проекта является синтез САУ ПР с управляемой координатой плотность технологического газа, которая могла бы применяться на СЗ СХК.

Таблица 2 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны проекта: С1 Сокращение стоимости UF ₆ С2 Повышение качества управления	Слабые стороны проекта: Сл1 Сложность ввода в эксплуатацию Сл2 Проблема очистки чувствительного элемента прибора измерения
Возможности проекта: В1 Внедрение разработанного алгоритма управления ПР на другие заводы по получению UF ₆	Доработка разработанного алгоритма управления ПР для других заводов по получению UF ₆	Получение спонсорской поддержки от других заводов по получению UF ₆ для исследования других способов анализа газа
Угрозы проекта: У1 Изменение способа анализа газа	Возможность адаптации САУ ПР к изменению управляющей координаты	Внедрение других способов анализа технологического газа на выходе ПР; Использование интервальных САУ Использование локальных фильтров для очистки газа

4.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Во время разработки научного проекта полезно оценивать степень его готовности к коммерциализации. Для этого необходимо дать балловую оценку по показателям, представленным в таблице 3, о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации.

Таблица 3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

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

Продолжение таблицы 3

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	3
Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	2
Проработаны вопросы финансирования научной разработки	1	1
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
Итого баллов	34	40

Исходя из оценок степени готовности проекта к коммерциализации видно, что проект имеет среднюю степень готовности. По вопросам маркетинговых исследований, финансирования коммерциализации, необходимо привлечение в команду проекта специалистов из данных областей.

В качестве метода коммерциализации предлагается использовать инжиниринг, который предполагает на основе договора инжиниринга предоставление комплекса инженерно-технических услуг, связанных с проектированием и вводом готового продукта в эксплуатацию, усовершенствованием имеющихся производственных процессов.

4.4 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
Сублиматный завод Сибирского химического комбината	Работоспособная САУ ПР Снижение стоимости измерения управляемой координаты
НИ ТПУ, кафедра ЭАФУ	Разработанная САУ, которую в дальнейшем планируется ввести в эксплуатацию на производстве

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

Таблица 5 – Цели и результаты разработанной модели

Цели проекта	Синтез САУ ПР с управляемой координатой - плотность технологического газа
Ожидаемые результаты проекта	Сокращение себестоимости получения UF ₆ , отсутствие необходимости в очистке UF ₆
Критерии приемки результата проекта	Работоспособность предлагаемой САУ ПР в при нестабильности параметров объекта
Требования к результату проекта	Показатели качества управления САУ ПР не хуже существующих

Рабочая группа проекта отображена в таблице 6.

Таблица 6 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, ч.
Дядик В.Ф., ТПУ, кафедра ЭАФУ, доцент	Научный руководитель	Консультирование, определение задач, контроль выполнения.	144
Васильев В.Г., ТПУ, кафедра ЭАФУ, техник	Инженер (дипломник)	Анализ литературных источников, моделирование, программирование	480

4.5 План проекта

В рамках планирования научного проекта составляется календарный график проекта, который может быть представлен в виде линейного графика.

Календарный план проведения ВКР представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Календарный план-график проведения ВКР

Вид работ	Исполнители	Тк, кал. дн.	Продолжительность выполнения работ				
			1–3 неделя	4–5 неделя	6–8 неделя	9–11 неделя	12–14 неделя
Составление технического задания	Научный руководитель	4	■				
Изучение литературы	Дипломник	20	■	■			
Изучение компьютерных моделей УФ, модернизация моделей УФ	Дипломник	20		■	■		
Проведение компьютерных экспериментов	Дипломник	10			■	■	
Выбор метод и прибора для измерения плотности	Дипломник	10				■	
Синтез и адаптация САУ ПР	Дипломник	20				■	■
Синтез и адаптация САУ ПР	Научный руководитель	20				■	■
Итого		85					

4.6 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, отчисления на социальные нужды, накладные расходы, а также расходы на электроэнергию при работе с компьютером.

4.7 Основная заработная плата

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников. Величина расходов определяется из трудоемкости выполняемых работ. Расчет основной заработной платы представлен в таблице 9.

Месячный должностной оклад работника определяется по формуле (12):

$$Z_m = Z_б \cdot k_{пр} \cdot k_p \quad (12)$$

где $Z_б$ – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент;

k_p – районный коэффициент.

Основная заработная плата работника рассчитывается по следующей формуле (13):

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} \quad (13)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата,

$Z_{\text{дн}}$ – средневзвешенная заработная плата работника,

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

Средневзвешенная заработная плата рассчитывается по формуле (14):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (14)$$

где $Z_{\text{м}}$ – оклад работника,

M – количество месяцев работы без отпуска в год,

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

Оклад руководителя составляет 23264,86 р.

Оклад дипломника составляет 7483,58 р.

Результаты расчётов основной заработной платы приведены в таблицах 8 и 9.

Средневзвешенная заработная плата руководителя определяется по формуле (15):

$$Z_{\text{дн}}^{\text{Рук}} = \frac{36293,18 \cdot 10,4}{300} = 1258,16 \quad (15)$$

Средневзвешенная заработная плата дипломника по формуле (16):

$$Z_{\text{дн}}^{\text{Дип}} = \frac{11674,38 \cdot 10,4}{300} = 404,71 \quad (16)$$

Таблица 8 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{б}}$, р.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, р.	$Z_{\text{дн}}$, р.	$T_{\text{р.}}$ раб. дн.	$Z_{\text{осн.}}$ р.
Руководитель	23264,86	1,2	1,3	36293,18	1258,16	24	30195,84
Дипломник	7483,58	1,2	1,3	11674,38	404,71	80	32376,8

Таблица 9 – Расчет заработной платы по этапам работы

Этап	Исполнитель	Трудоемкость, чел.-дн.	З/п на один чел.-дн., р.	Всего з/п, р.
Составление технического задания	Руководитель	4	1258,16	5032,64
Изучение литературы	Дипломник	20	404,71	8094,2
Изучение и модернизация компьютерных моделей УФ	Дипломник	20	404,71	8094,2
Проведение компьютерных экспериментов	Дипломник	10	404,71	4047,1
Выбор метод и прибора для измерения плотности	Дипломник	10	404,71	4047,1
Синтез и адаптация САУ ПР	Дипломник	20	404,71	8094,2
Синтез и адаптация САУ ПР	Руководитель	20	1258,16	25163,2
Итого				62572,64

4.8 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 (17).

$$C_{\text{ээ}} = 6 \cdot Д \cdot Т \cdot М \quad (17)$$

где 6 – 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.

4.9 Затраты на спецоборудование

В статью «затраты на специальное оборудование для научных работ» включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. В эту статью следует отнести персональный компьютер, который использовался непосредственно как средство разработки. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15 % от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного научного проекта и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в виде амортизационных отчислений.

Для расчета амортизационных отчислений был выбран срок полезного использования n равный 5 лет. Тогда норма амортизации a вычисляется по формуле (18):

$$a = \frac{100}{n} = \frac{100}{60} = 1,67 \% \quad (18)$$

Зная норму амортизации можно найти годовую сумму амортизации для машин и оборудования A по формуле (19), где стоимость оборудования в виде ноутбука равна 25000 р.

$$A = \frac{25000 \cdot 1,67}{100} = 416 \text{ р} \quad (19)$$

Общая стоимость оборудования будет определяться только амортизацией за период работы над проектом, так как ноутбук не покупался для выполнения проекта. Расчеты по данной статье приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Затраты на специальное оборудование для научных работ

Наименование оборудования	Кол-во ед. оборудования	Амортизация оборудования, р./мес.	Время работы оборудования, мес.	Итоговая амортизация оборудования, р.
Ноутбук DNS	1	416	4	1664

4.10 Группировка затрат по статьям

Группировка затрат по статьям отображена в таблице 11.

Весь бюджет исследования составил 89919,54 р.

Таблица 11 – Группировка затрат по статьям

Вид работ	Основная з/п, р.	Отчисления на соц. нужды, р	Затраты на спецоборудование, р.	Прочие прямые расходы, р	Накладные расходы, р	Итого себестоимость, р
1	5032,64	1509,79	1664	22,24	503,26	7067,94
2	8094,20	2428,26		111,2	809,42	11443,08
3	8094,20	2428,26		111,2	809,42	11443,08
4	4074,10	1222,23		55,6	407,41	5759,34
5	4074,10	1222,23		55,6	407,41	5759,34
6	8094,20	2428,26		111,2	809,42	11443,08
7	25163,20	7548,96		111,2	2516,32	35339,68
Итого						89919,54

4.11 Реестр рисков исследования

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 представлена в таблице 12.

Таблица 12 – Реестр рисков

Риск	Потенциальное воздействие	Вер-ть наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Ур. риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
Изменение способа анализа газа	Потеря интереса к проекту со стороны заказчика	1	5	Сред	Адаптация САУ ПР	Разработка САУ ПР конкурентом
Разработка САУ ПР другой организацией	Потеря клиентов	1	5	Сред	Уменьшить время разработки	Отставание от сроков разработки САУ ПР
Не корректная работа САУ ПР	Отказ от дальнейшего сотрудничества	1	5	Сред	Проведение эксперимента	Заказчик при использовании выявит ошибки

4.12 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают I_{Φ}^P в ходе оценки бюджета затрат для вариантов исполнения научного исследования. Бюджет разрабатываемого алгоритма управления ПР составил 89919,54 рублей. В качестве аналога выступает действующая система

автоматического управления пламенного реактора фторирования, цена ее разработки составляет 900000 рублей.

Интегральный финансовый показатель разработки I_{Φ}^P определяется по формуле (20):

$$I_{\Phi}^P = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{89919,54}{900000} = 0,099 \quad (20)$$

Интегральный финансовый показатель аналога I_{Φ}^A по формуле (21):

$$I_{\Phi}^A = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{900000}{900000} = 1 \quad (21)$$

Показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения определяется как сумма произведений балла критерия на его оценку. Интегральный показатель ресурсоэффективности рассчитан в таблице 13.

Таблица 13 – Оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент	Текущий проект	Аналог
1 Способность удовлетворять требованиям тех. процесса	40%	5	5
2 Итоговая стоимость UF ₆	15%	4	3
3 Загрязнение органическими примесями UF ₆	15%	5	2
4 Обслуживание при эксплуатации	10%	3	3
6 Простота использования	10%	4	3
7 Надежность	10%	3	4
Итого	1	24	20

Расчет интегральных показателей ресурсоэффективности разработки и аналога приведен в формулах (22) и (23).

$$I_{\text{финр}}^p = 5 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,1 = 5,15 \quad (22)$$

$$I_{\text{финр}}^a = 5 \cdot 0,4 + 3 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 = 3,75 \quad (23)$$

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{\text{финр}}^p$ определяется по формуле (24).

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p} = \frac{5,15}{0,099} = 52,02 \quad (24)$$

Интегральный показатель эффективности аналога $I_{\text{финр}}^a$ определяется по формуле (25).

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a} = \frac{3,75}{1} = 3,75 \quad (25)$$

Сравнение интегральных показателей эффективности текущего проекта и аналога позволяет определить сравнительную эффективность проекта $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ по формуле (26).

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} = \frac{52,02}{3,75} = 13,87 \quad (26)$$

Результаты расчетов сравнительной эффективности проекта приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Сравнительная эффективность проекта

Показатели	Аналог	Разработка
Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,099
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,75	5,15
Интегральный показатель эффективности	3,75	52,02
Сравнительная эффективность проекта	13,87	

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Исследование одноконтурных САУ с различными динамическими моделями объекта управления [Электронный ресурс] / В.Г. Васильев, В.Ф. Дядик. // Физико-технические проблемы атомной науки, энергетики и промышленности VI Международной научно-практической конференции, г. Томск, 5–7 июня 2014 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. О.Ю. Долматов [и др.]. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C49/011.pdf>, [С. 23]. – Заглавие с титульного экрана. – Свободный доступ из сети Интернет.

2. Синтез одноконтурной системы автоматического управления многоёмкостным объектом с самовыравниванием [Электронный ресурс] / В.Г. Васильев, В.Ф. Дядик. // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник тезисов докладов VII Международной научно-практической конференции, г. Томск, 3–6 июня 2015 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. А.Н. Дьяченко [и др.]. – Томск: Изд-во ТПУ, 2015. URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C49/268.pdf>, [С. 301]. – Заглавие с титульного экрана. – Свободный доступ из сети Интернет.

3. Васильев В.Г. Синтез одноконтурных систем автоматического управления многоёмкостными объектами с самовыравниванием / В.Г. Васильев, В.Ф. Дядик. – Фундаментальные и прикладные исследования в технических науках в условиях перехода предприятий на импортзамещение: проблемы и пути решения. – Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Том 2. – Уфа: УГНТУ, 2015. – с. 260–262.

4. Программный комплекс для синтеза и анализа систем управления с самовыравниванием [Электронный ресурс] / В.Г. Васильев, В.Ф. Дядик. // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник тезисов докладов VIII Международной научно-практической конференции, г.

Томск, 1–3 июня 2016 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. О.Ю. Долматов [и др.]. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. URL: http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/31135/1/conference_tpu-2016-C49_p228-229.pdf, [С. 228–229]. – Заглавие с титульного экрана. – Свободный доступ из сети Интернет.