

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт электронного обучения
Направление подготовки (специальность) «Химическая технология»
Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики
БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Направленность трансформации молекулярного состава органических соединений при термическом воздействии

УДК

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д2С3	Кононенко Павел Константинович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент кафедры ХТТ и ХК	Дучко М.А.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	Криницына З. В.	к.т.н, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Гусельников М.Э	к.т.н, доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ХТТиХК	Юрьев Е.М.	к.т.н, доцент		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ООП 18.03.01)

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1), СДИО(п. 1.1, 4.1, 4.3, 4.8)
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-7,11,17,18, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2), СДИО (п. 1.1, 3.2, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии	Требования ФГОС (ПК-1,5,8,9, ОК-2,3), Критерий 5 АИОР (пп.1.2), СДИО (1.2, 2.1, 4.5)
P4	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды	Требования ФГОС (ПК-11,26,27,28), Критерий 5 АИОР (п.1.3) СДИО (п.1.3, 4.4, 4.7)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий	Требования ФГОС (ПК-4,21,22,23,24,25, ОК-4,6), Критерий 5 АИОР (п.1.4), СДИО (п. 2.2)
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, выводить на рынок новые материалы , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,10,12,13,14,15, ОК-6,13,15), Критерий 5 АИОР (п.1.5) СДИО (п. 4.1, 4.7, 4.8, 3.1, 4.6)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5,9,10,11), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5), СДИО (п. 2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,7,8,12), Критерий 5 АИОР (2.6), СДИО (п. 2.4)
P9	Активно владеть иностраным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-14), Критерий 5 АИОР (п.2.2), СДИО (п. 3.2, 3.3)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве , ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3) СДИО (п. 4.7, 4.8, 3.1)

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
 высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт электронного обучения
 Направление подготовки (специальность) «Химическая технология природных
 энергоносителей и углеродных материалов»
 Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) Юрьев Е. М.
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д2С3	Кононенко Павлу Константиновичу

Тема работы:

Направленность трансформации молекулярного состава органических соединений при термическом воздействии
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01 июня 2016 г.
--	------------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объекты исследования: исходный низинный торф болота Кирек, торф, подвергнутый термолизу при температурах 200 и 350°С.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Введение: актуальность проведения термолиза торфа. 2) Аналитический обзор: процесс термолиза торфа, характеристика болота Кирек, краткое описание процесса образования торфа, состав биомаркеров торфа, газовая хроматография-масс спектрометрия как метод исследования торфа. 3) Экспериментальная часть: проведение термолиза, пробоподготовка торфа методом

	экстракции, условия хроматографирования, обработка хроматограмм. 4) Результаты и их обсуждение. 5) Заключение. 6) Список используемой литературы.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1) Результаты исследований (таблицы, графики).
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Креницына З. В., к.т.н., доцент Кафедры менеджмента
Социальная ответственность	Гусельников М. Э., к.т.н., доцент Кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15 ноября 2015 г.
---	--------------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ХТТ и ХК	Дучко М.А.			15.11.2015 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д11	Кононенко Павел Константинович		15.11.2015 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 88 страниц, 22 рисунка, 22 таблицы и 47 литературных источников.

Ключевые слова: торф, биомаркеры торфа, газовая хроматография-масс-спектрометрия, термолиз, n-алканы, полициклоароматические углеводороды.

Объектом исследования является исходный низинный торф болота Кирек, торф, подвергнутый термолизу при температурах 200 и 350⁰С..

Цель работы – направленность трансформации молекулярного состава органических соединений при термическом воздействии.

В результате исследования проводился эксперимент по термическому воздействию на низинный торф в проточном режиме в токе азота при $t=200$ ⁰С и 350 ⁰С. Групповой и индивидуальный состав органических соединений исходного торфа и торфа после проведения термолиза определяли методом газовой хроматографии-масс-спектрометрии.

В результате эксперимента было установлено, что при термическом воздействии на торф происходит трансформация молекулярного состава органических соединений.

Степень внедрения: полученные результаты используются

Область применения: химическая промышленность.

Экономическая эффективность работы выражена в возможности образования из торфа жидких углеводородных флюидов.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	10
1.1. Термолиз торфа	10
1.2. Групповой состав торфа.....	12
1.3 Биомаркеры торфа.....	14
1.4. Газовая хроматография-масс спектрометрия как метод исследования торфа	18
2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	28
3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ... Ошибка! Закладка не определена.	
3.1 Состав n-алканов торфа до и после пиролиза..... Ошибка! Закладка не определена.	
3.2 Состав ароматических соединений торфа до и после пиролиза.... Ошибка! Закладка не определена.	
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	30
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	30
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	30
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	30
4.1.3 SWOT-анализ.....	31
4.2 Планирование научно исследовательских работ.....	32
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	32
4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования	34
4.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	36
4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ	36
4.3.2. Основная заработная плата исполнителей темы	37
4.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	41

4.3.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	42
4.3.5. Расчет затрат на научные и производственные командировки	42
4.3.6 Накладные расходы	43
4.3.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ...	43
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	44
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	Ошибка! Закладка не определена.
5.1 Производственная санитария.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.1.1 Описание свойств опасных веществ, применяемых в производстве	Ошибка! Закладка не определена.
5.1.2 Метеорологические условия и их нормирование в производственных помещениях	Ошибка! Закладка не определена.
5.2 Методы и средства защиты работников от производственных опасностей	Ошибка! Закладка не определена.
5.3 Опасные факторы	Ошибка! Закладка не определена.
5.3.1 Пожаровзрывобезопасность	Ошибка! Закладка не определена.
5.3.2 Электробезопасность.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.4 Охрана окружающей среды	Ошибка! Закладка не определена.
5.4.1 Отходы при производстве продукции, сточные воды, выбросы в атмосферу, методы их утилизации, переработки	Ошибка! Закладка не определена.
5.5 Чрезвычайные ситуации	Ошибка! Закладка не определена.
ЗАКЮЧЕНИЕ	Ошибка! Закладка не определена.
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	Ошибка! Закладка не определена.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ГК	Гуминовые кислоты
УВ	углеводороды
ВР	водорастворимый
ЛГ	легкогидролизуемый
ПАУ	полициклоароматические углеводороды
ГХ-МС	газовая хроматография - масс-спектрометрия
ГЖХ	Газожидкостная хроматография

ВВЕДЕНИЕ

Состав и свойства торфа изменяются в широких пределах, что определяется многообразием растений-торфообразователей, уровнем распада органического вещества и условиями торфонакопления. В связи с этим, для оценки качества торфа как сырья многоцелевого использования следует применять комплекс общетехнических, агрономических, химических и физико-химических показателей.

В настоящее время важная роль отводится вопросам применения торфа в качестве перспективного химического сырья. При этом рациональное использование существенно зависит от степени изученности.

Для определения возможности образования из торфа жидких углеводородных флюидов, способности эмиграции их из продуцировавшей толщи, выявления особенностей состава этих жидких продуктов и отличительных признаков по отношению к исходному торфу был поставлен эксперимент по термическому воздействию на низинный торф.

Цель работы – направленность трансформации молекулярного состава органических соединений при термическом воздействии.

Для выполнения цели были поставлены следующие задачи:

1. сравнить содержание биомаркеров торфа до и после термолиза;
2. по данным хромато-масс-спектрометрического исследования оценить направленность трансформации молекулярного состава торфа, подвергнутого термолизу при температурах 200 и 350°С.

В качестве объекта исследования был выбран низинный торф болота Кирек, а также торф, подвергнутый термолизу при температурах 200 и 350°С.

Предмет исследования: процесс трансформации молекулярного состава органических соединений при термическом воздействии.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Термолиз торфа

Болотный седиментогенез является важной составляющей современного континентального осадконакопления и одним из проявлений периодически активизирующегося углегенерирующего тектонического режима на протяжении фанерозоя. Торфообразование и торфонакопление — составляющие современного планетарного процесса органогенного седименто- и литогенеза, приводящие к образованию современных углеродных формаций с их разнообразным исходным материалом.

Преобразование и накопление органического вещества (ОВ) является неотъемлемой частью формирования осадочного покрова планеты. Не все ОВ, преобразовываясь, захороняется и образует залежи горючих ископаемых. В современных условиях преобразование и накопление ОВ происходит в болотно-торфяных комплексах. Процессы, приводящие к развитию болотных комплексов, болотные биоценозы и их изменения при накоплении органического вещества изучаются географами, биологами, геологами более ста лет [1].

Торф представляет собой смесь продуктов неполного превращения остатков наземных и болотных растений, видимых невооруженным глазом, с продуктами более глубокого превращения исходных растений, имеющих вид однородной аморфной массы. Разрушение органического вещества растений характеризуется степенью разложения, т.е. отношением количества бесструктурной части к общему количеству торфа. Она является важнейшим показателем качественной характеристики торфа и колеблется в пределах 5–70%.

Разработка торфяных месторождений в общем процессе природопользования должна быть не только рациональной, но и биосферно-совместимой. Главное здесь — не допустить разбалансирования биосферных процессов и круговорота веществ и энергии на региональных уровнях. Экологические приоритеты должны в обязательном порядке иметь

верховенство над экономическими подходами, особенно теперь, при реконструкции мелиоративных систем и разработке торфяных месторождений.

Торф по химическому составу занимает промежуточное положение между растительным сырьём и твёрдыми горючими ископаемыми, и чем меньше его степень разложения, тем он ближе по свойствам к растениям-торфообразователям [2].

Основным источником накопления торфа являются болотные растения. Торф образуется в результате биохимического превращения растительных остатков в переувлажнённых условиях при ограниченном доступе воздуха. Скопление торфа на определённой площади в виде пластов называют торфяными залежами. Болотные растения развиваются в условиях атмосферного или грунтового питания. При атмосферном питании развиваются олиготрофные, а при обильном грунтовом минеральном – эвтрофные группировки растительности, при отмирании которых образуются торфяные месторождения верхового и низинного типов. Растительный покров торфяных месторождений верхового типа отличаются бедностью видов вследствие скудного минерального питания. На месторождениях низинного типа с более богатым минеральным питанием растительность многообразнее. Состав и свойства торфа определяются химическими особенностями исходного растительного материала.

Наиболее характерным свойством органического вещества торфа является его термическая неустойчивость. При температурном воздействии без доступа кислорода происходит конверсия органического вещества - термической деструкция (термолиз). В результате этого процесса образуются твердые, жидкие и газообразные продукты. Причем процесс термолиза торфа протекает в несколько стадий. Эти стадии характеризуются определенным рядом однотипных групп реакций со специфическими кинетическими закономерностями.

Каждая составная часть органического вещества торфа имеет свои особенности при термическом разложении, определяемые их природой, и накладывает в зависимости от содержания в органическом веществе вполне определенный отпечаток на ход его термического разложения.

Так как состав торфа, равно как и других твердых горючих ископаемых, достаточно сложен, проблематично конкретизировать процессы, протекающие при термическом воздействии на них. Поэтому принято идти по более простому пути - процесс термолиза сложной смеси рассматривается при поведении термического воздействия на ее отдельные составляющие. Вещества, выделяемые из торфа горячими органическими растворителями при температуре около 353 К при атмосферном давлении называют битумами А. Если оставшуюся массу торфа обработать соляной или серной кислотой, с последующей экстракцией битума органическим растворителем, получается битум С. Битум В выделяется органическими растворителями под давлением больше атмосферного и при температуре 473...493 К [3].

Рядом исследователей [4] отмечалось, что при нагревании торфа до температур низкотемпературного пиролиза (порядка 573 К) и саморазогревании его в штабелях [5] при хранении происходит изменение группового состава остатка по сравнению с групповым составом исходного торфа. Эти результаты, несколько противоречивы, однако они показывают, что при нагревании торфа в твердом продукте увеличивается выход веществ, извлекаемых органическими растворителями и гуминовых кислот, и падает содержание остальных групповых составляющих.

1.2. Групповой состав торфа

Торф представляет особый интерес тем, что может быть сравнительно простым путем разделен на группы соединений, обладающих отличными друг от друга и характерными химическими свойствами [6]. Это дало

возможность достаточно подробно изучить кинетику и механизм термического разложения торфа в целом, на примере поведения его отдельных составных частей.

Торф состоит из тех же групп веществ, что и растения-торфообразователи, но к ним добавляется новый класс соединений – гуминовые вещества. Процесс накопления последних в торфе является наиболее характерным для торфообразования, а переход растений в торф называют гумификацией.

В зависимости от методики выделения отдельных групп компонентов органически подразделяется на следующие группы.

Водорастворимые (ВРВ) и легкогидролизуемые вещества (ЛГВ), извлекаемые из торфа холодной и горячей водой, а также растворяющиеся в воде после гидролиза в присутствии минеральных кислот (2%-й HCl): сахара, пектиновые вещества и гемицеллюлоза.

Полисахариды (в основном целлюлоза) достаточно быстро разлагаются микроорганизмами, причем из них образуется набор продуктов средней молекулярной массы различного агрегатного состояния: газы (CO, CO₂), вода, моно- и олигосахариды, твердые высокомолекулярные соединения непостоянного состава. Газообразные и водорастворимые фрагменты удаляются из формирующегося угольного пласта, а твердые вещества переходят в состав вещества угля. При этом в макромолекулах сохраняются гетероциклические и функциональные группировки атомов. Последние частично участвуют в реакциях конденсации, за счет которых постепенно увеличивается средняя молекулярная масса соединений угля, а доля гетероатомов падает.

По своему генезису гуминовые вещества (ГВ) представляют особую предельную стадию физического, химического и микробиологического процессов трансформации органического вещества в природе. Уникальность их свойств и строения определяют почвообразовательные процессы и плодородие почв, а также разложение горных пород и минералов,

связывание, фиксацию, концентрацию, рассеяние и переотложение химических элементов [7]. Природные ГВ регулируют процессы роста растений, улучшают физико-химические свойства почвы, активизируют деятельность микроорганизмов, влияют на миграцию питательных веществ, стимулируя процессы дыхания, синтеза белков и углеводов, ферментативную активность.

Группа соединений, извлекаемых органическими растворителями, получила термин «битумы торфа». Они состоят из восков, парафинов, смол и содержат парафиновые, терпеновые и ароматические углеводороды, а также такие кислородсодержащие соединения, как спирты, кислоты, эфиры. Их количество колеблется в пределах от 1.2 до 17.7%. [8].

1.3 Биомаркеры торфа

Молекулярные биологические маркеры, или биомаркеры – это природные соединения, устойчивые к разложению, для которых известен их природный источник. Наиболее эффективные биомаркеры имеют ограниченное число биологических предшественников, не поддаются геохимическим изменениям и легко идентифицируются в природных образцах. Биомаркеры широко применяются для экологических исследований [9], а также для получения информации о структурных и изотопных изменениях, происходивших с органическим веществом осадков в ходе разложения.

Н-Алканы

Длинноцепочечные алканы нормального строения являются одними из наиболее широко используемых растительных биомаркеров. Поскольку они не содержат боковых заместителей, эти соединения являются особенно стабильными и могут сохраняться в неизменном виде в осадочной органической материи десятки миллионов лет [10].

Распределение n-алканов часто используется в качестве биомаркера для определения палеоклиматических условий формирования верховых торфяных месторождений. Несмотря на то, что распределения n-алканов сильно отличаются между различными видами растений, эти соединения содержатся практически во всех растениях. Для правильной интерпретации важно понимать, что в различных видах растений содержание n-алканов отличается, а также что при преобразовании растительных остатков в торф происходят определенные изменения. В частности, поскольку молекулярные маркеры особенно ценны при исследовании торфа с высокой степенью разложения, где растительные остатки уже трудно идентифицировать, важно учитывать влияние разложения торфа на характер распределения n-алканов.

Наибольшим содержанием алканов (до 70%) характеризуются легкие нефти из мезозойских и палеозойских отложений, залегающие на глубинах более 2000 м. С увеличением общего количества алканов, как правило, растет отношение n-алканов к изо-алканам. Содержание n-алканов в нефтях может достигать 50 %, при этом в максимальных концентрациях обычно присутствуют n-алканы C_5H_{12} — C_9H_{20} . В тяжелых нефтях с низким общим содержанием n-алканов максимум на кривой их распределения находится в области C_{18} — C_{20} и выше.

Специфической характеристикой распределения n-алканов, широко используемой в органической геохимии, является коэффициент нечетности. Нормальные n-алканы $C_{18}H_{38}$ и выше составляют основную массу парафинов. В природных условиях n-алканы средних и высших фракций могут легко окисляться некоторыми микроорганизмами, особенно в аэробных условиях.

Изопреноидные n-алканы средних и высших фракций битумоидов относятся к числу хемофоссилий, генетически связанных с липидами и пигментами живого вещества. Остальные n-алканы преимущественно являются продуктами различных процессов катагенетического преобразования исходных биологических молекул, протекающего с изменением их углеродного скелета.

На основании концентраций индивидуальных n-алканов можно рассчитать некоторые индексы, которые могут оказаться очень полезными при реконструкции условий торфообразования. К таким показателям относятся: средняя длина углеродной цепочки (ACL=Average Chain Length), коэффициент нечетности (CPI=Carbon Preference Index), Значения ACL можно рассчитать по формуле [11]:

$$ACL = \frac{23 * C_{23} + 25 * C_{25} + 27 * C_{27} + 29 * C_{29} + 31 * C_{31} + 33 * C_{33}}{C_{23} + C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33}}$$

Степень преобладания молекул с нечетным числом атомов углерода можно оценить с помощью индекса CPI – коэффициента нечетности, который представляет собой весовое отношение нечетных гомологов к четным. Коэффициент нечетности (CPI) можно рассчитать по формуле [12]:

$$CPI = \frac{2 * (C_{21} + C_{23} + C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31})}{(C_{20} + C_{22} + C_{24} + C_{26} + C_{28} + C_{30}) + (C_{22} + C_{24} + C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32})}$$

Значение CPI наземных растений может достигать 20, а образцы, содержащие заметное количество вещества наземного происхождения, будут обладать значениями CPI, значительно превышающими 1.

Полициклоароматические углеводороды

Полициклические ароматические углеводороды — органические вещества, основные элементы которых — углерод и водород — образуют бензольные кольца, незамещенные или замещенные, способные полимеризоваться. Для этих соединений характерна низкая растворимость в воде, высокая способность к сорбции и устойчивость в компонентах среды, особенно почвах.

Кроме незамещенных ПАУ, существует большое количество полициклических структур, содержащих функциональную группу либо в бензольном кольце, либо в боковой цепи. А именно галоген-, amino-, сульфо,

нитропроизводные, в том числе спирты, альдегиды, эфиры, кетоны, кислоты, хиноны и другие соединения ароматического ряда [13].

Все незамещенные структуры ПАУ можно рассматривать как производные молекул простейших поликонденсированных соединений — нафталина и дифенила.

Процессы загрязнения атмосферы и других природных сред ПАУ связаны главным образом с термической переработкой углеводородного сырья. Максимальная эмиссия ПАУ наблюдается при пиролизе угля, нефти и газа [14].

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ, полиарены) продуцируются в результате разнообразных природных и техногенных процессов и встречаются в различных компонентах ландшафта. ПАУ относят к приоритетным загрязнителям, так как многие из них обладают канцерогенной активностью и представляют опасность для здоровья человека. В связи с этим научный интерес к ПАУ не ослабевает в течение последних десятилетий. Наиболее распространенным способом образования ПАУ считается температурное воздействие на органическое вещество. Пирогенные процессы широко представлены в окружающей среде. Так, ежегодно значительные площади повреждаются лесными, степными и торфяными пожарами, что рассматривается как один из источников ПАУ в ландшафтах. Кроме того, ПАУ образуются при температурной трансформации материалов растительного происхождения, связанной с деятельностью человека - бытовом сжигании древесины; возгорании углей в породных отвалах. Вместе с тем, характер аккумуляции пирогенных ПАУ в ландшафтах, в особенности, в почвах, как депонирующей среде, практически не изучен. Недостаточно данных о составе, количестве и распределении в почвах полиаренов, поступающих из пирогенных источников. Поэтому существует необходимость детального исследования этих вопросов. Важно установить характер накопления в почвах полиаренов, образованных в разных условиях горения материалов растительного происхождения. Весьма

актуальной географической задачей представляется рассмотрение особенностей аккумуляции пирогенных ПАУ в почвах разного генезиса и в различных ландшафтных условиях.

Полициклоароматические углеводороды обычно содержатся в незначительных количествах в битумах. Кроме того, их выделение затруднено. Вероятно, они являются переходной фракцией от масел к смолам. Основным структурным элементом этих углеводородов являются, по-видимому, конденсированные системы типа нафталина, которые также могут входить в состав гибридных структур, состоящих из трех и более циклов [15].

1.4. Газовая хроматография-масс спектрометрия как метод исследования торфа

Хроматографический метод был предложен в 1903 году русским ученым М.С. Цветом. Он писал: «При фильтрации смешанного раствора через столб адсорбента пигменты... расслаиваются в виде отдельных, различно окрашенных зон. Подобно световым лучам в спектре, различные компоненты сложного пигмента закономерно распределяются друг за другом в столбе адсорбента и становятся доступными качественному определению. Такой расцвеченный препарат я назвал хроматограммой, а соответствующий метод анализа хроматографическим методом. Работы М.С.Цвета послужили фундаментом для развития остальных видов хроматографии для разделения как окрашенных, так и неокрашенных соединений, осуществляемых в любых средах.

Хроматография – это метод разделения и определения веществ, основанный на распределении компонентов между двумя фазами – подвижной и неподвижной. Неподвижной (стационарной) фазой служит твердое пористое вещество (часто его называют сорбентом) или пленка жидкости, нанесенная на твердое вещество. Подвижная фаза представляет

собой жидкость или газ, протекающий через неподвижную фазу, иногда под давлением.

Несмотря на многочисленные разработки в области аналитической химии, газовая хроматография остается одним из наиболее часто используемых методов анализа. Ее применение охватывает огромный спектр областей, таких как медицина, биология, экология, промышленные производства. Никакой другой метод не может сочетать такую разрешающую способность со скоростью анализа и чувствительностью.

При условии, что образец обладает достаточной летучестью и термической стабильностью в заданном интервале температур, газовая хроматография является предпочтительным методом. Кроме качественной и количественной информации, содержащейся в хроматограмме, газовая хроматография (ГХ) легко сочетается со спектрометрическим прибором для подтверждения структуры или селективного детектирования (масс-спектрометрия).

При классификации вариантов методов газовой хроматографии предполагается, что подвижная фаза (газ-носитель) абсолютно инертна к неподвижной фазе и разделяемым соединениям.

Таким образом, классификация вариантов основывается только на особенностях неподвижной фазы.

В качестве неподвижной фазы в газовой хроматографии используется или твердый адсорбент, или жидкость, нанесенная в виде тонкой пленки на адсорбционно-инертный твердый носитель.

В соответствии с типом используемых неподвижных фаз газохроматографические методы подразделяются на газо-адсорбционный и газо-жидкостный. Разделение компонентов анализируемой смеси в газо-адсорбционном варианте основано на различии разделяемых веществ в величинах адсорбции на поверхности адсорбента, а в случае газожидкостной хроматографии на различии в растворимости компонентов анализируемой смеси в неподвижной жидкой фазе.

В том случае, если используемый твердый носитель неподвижной жидкой фазы проявляет адсорбционные свойства, реализуется промежуточный вариант газовой хроматографии – газо-жидко-твердофазная хроматография.

Каждый из вариантов характеризуется своими положительными чертами и недостатками, которые обязательно следует учитывать при выборе оптимального метода разделения каждой конкретной смеси [16].

Оборудование, используемое для газовой хроматографии обычно состоит из устройства ввода пробы на одном конце металлической колонки, заполненной материалом подложки и детектором на другом конце колонны. Газ-носитель продвигает образец вниз по колонке. Техник использует расходомеры и манометры для поддержания постоянного потока газа. Газ, который не вступает в реакцию с образцом или с материалом колонки столбца имеет важное значение для получения надежных результатов. По этой причине, газами-носителями являются, как правило, аргон, гелий, водород, азот или водород. Многие аналитики используют гелий, поскольку он инертен. Водород обычно является хорошим газом-носителем, но он может вступить в реакцию с образцом и превратить его в другое вещество. Окончательный выбор газа-носителя может зависеть от типа используемого детектора.

Для обеспечения надлежащего разделения, образец необходимо ввести в колонку в прочной компактной упаковке. Обычно образец помещают в устройство ввода пробы с помощью иглы и шприца, способного измерять объем образца. Игла вставляется в сменную неопреновую или силиконовую резиновую перегородку, покрывающую место ввода пробы. В устройстве ввода пробы поддерживается температура, при которой образец мгновенно испаряется. В идеале образец равномерно распределяется по поперечному сечению колонны, образуя пробку [17].

Колонка представляет собой металлическую трубку, часто заполненную кремнеземом, так как это подходящий материал для

обеспечения максимального разделения. Готовые колонки, как правило, заказывают у поставщиков. При движении образца через колонку, различные молекулярные характеристики определяют, как каждое из веществ в образце взаимодействует с поверхностью колонки и ее наполнителем. Таким образом, образец в колонке сам разделяется на отдельные составляющие его вещества.

Вещества, которые не взаимодействуют с материалом колонки или ее наполнителем, перемещаются вниз по колонке довольно быстро. Такие вещества с трудом, но в конце концов вымываются из колонки. В идеале, различные компоненты образца разделяются еще перед выходом из колонки.

В газовом хроматографе используется детектор для измерения концентраций различных соединений при их выходе из колонки. Среди доступных детекторов используются детектор ионизации аргона, пламенно – ионизационный детектор, пламенно- излучательный детектор, детектор смешанного типа, детектор по теплопроводности и детектор электронного захвата. Выбор подходящего детектора зависит от его использования. Предполагается, что пламенные детекторы уничтожают образец, детекторы по теплопроводности универсально чувствительны, а детектор ионизации аргона требует аргон в качестве газа-носителя. Хроматограммы, как правило, хранятся в электронном виде и выводятся на монитор.

Площадь спектрального пика пропорциональна количеству вещества, которое достигает детектора в газовом хроматографе. Не существует такого детектора, который реагировал бы одинаково на различные соединения. Результаты, полученные с помощью одного детектора, возможно будут отличаться от результатов, полученных с использованием другого детектора. Поэтому, сравнивая результаты анализов по таблице экспериментальных данных, полученных с помощью различных детекторов, нельзя обеспечить надежной идентификации образца.

"Коэффициент чувствительности" должен быть рассчитан для каждого вещества с особым детектором. Коэффициент чувствительности

получают экспериментально, анализируя известное количество вещества в газовом хроматографе и измеряя площадь соответствующего пика. Экспериментальные условия (температура, давление, скорость потока газ-носителя) должны быть идентичны тем, которые использовались для анализа образца. Коэффициент чувствительности равен площади спектрального пика, разделенной на массу или объем образца, введенного в прибор. Если техник делает все правильно, вводя стандартный образец до и после ввода исследуемого вещества, определение коэффициента чувствительности не требуется.

Масс- спектрометрический анализ широко используется в расследованиях при поджоге, анализе выхлопных газов двигателя, анализе нефтепродуктов, а также для мониторинга состояния крови в хирургии. Масс- спектрометрия позволяет идентифицировать вещества путем передачи электрического заряда молекулам образца, придания им ускорения при пропускании через магнитное поле, разрушая молекулы на заряженные фрагменты и определяя различные заряды. Участок спектра отображает массу каждого фрагмента.

Для проведения масс- спектрометрического анализа требуется чистый газообразный образец. В устройстве ввода пробы поддерживается высокая температура до $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($752\text{ }^{\circ}\text{F}$), для того, чтобы образец остался в газообразной форме. Затем образец попадает в ионизационную камеру. Пучок электронов ускоряется высоким напряжением. Молекулы образца распадаются на четко определенные фрагменты при столкновении с электронами высоких напряжений. Каждый фрагмент заряжен и движется в ускорителе, как отдельная частица.

В камере ускорения скорости заряженных частиц увеличиваются под влиянием ускоряющего напряжения. При каждом значении напряжения только частица с определенной массой ускоряется настолько, чтобы достичь детектора. Ускоряющее напряжение меняется, чтобы покрыть весь диапазон масс, для того, чтобы все фрагменты в итоге достигли детектора.

Заряженные частицы движутся к детектору по кривой траектории. Когда отдельные заряженные частицы сталкиваются с поверхностью детектора, несколько электронов (также заряженных частиц) выбиваются с поверхности детектора. Затем эти электроны ускоряются до столкновения с другой поверхностью, выбивая еще больше электронов, которые бомбардируют другую поверхность. Каждый электрон несет заряд. В конце концов, многочисленные столкновения со многими поверхностями генерируют тысячи электронов, которые излучаются последней поверхностью. В результате происходит усиление первоначального заряда через каскад электронов, приходящих на коллектор. В этот момент прибор измеряет заряд и фиксирует массу фрагмента, которая пропорциональна обнаруженному заряду.

Масс-спектрометр выводит полученные данные в виде массива пиков на графике, "масс-спектр". Каждый пик представляет собой значение для массы осколка. Высота пика растет с увеличением числа обнаруженных фрагментов с одной конкретной массой. Как и в случае с детекторы в газовой хроматографии, пики могут отличаться по высоте в зависимости от чувствительности детектора.

Каждое вещество имеет характерный масс-спектр при определенных контролируемых условиях. Специалист может идентифицировать образец путем сравнения масс-спектра образца со спектрами известных соединений. Количественный анализ возможен при измерения относительной интенсивности масс-спектров.

Обычно масс-спектр отражает пик нефрагментированной молекулы образца. Это обычно самый массивный осколок с "родительской массой." Как картинка на коробке с головоломкой, родительская масса используется для того, чтобы собрать вместе фрагменты, исходя из других пиков в масс-спектре. Родительская масса отражает массу молекулы, в то время как другие пики указывают на ее структуру.

Определение родительского пика и, следовательно, молекулярной массы образца, является наиболее трудной частью масс-спектрометрического анализа. Определение родительской массы выходит за границы настоящей статьи. Если предположить, что специалист может правильно определить молекулярную массу, он делает обоснованное предположение об идентичности образцов и сравнивает масс-спектры для подтверждения. Масс-спектры более крупных молекул, содержащих углерод, являются сложными и требуют утомительных вычислений, в которых могут быть ошибки. Для спектрального анализа широко используются компьютеры.

Ионы алкановой серии образуются непосредственно из M^+ при разрывах любой из C-C-связей, или результате отщепления молекулы олефина из первичного алкильного иона. По правилу Стивенсона заряд в результате фрагментации остается на том фрагменте, энергия ионизации которого ниже. Максимальными в спектрах, практически всегда, являются пики ионов m/z 43 ($C_3H_7^+$), 57 ($C_4H_9^+$), 71 ($C_5H_{11}^+$), поскольку энергии ионизации соответствующих алкильных радикалов минимальны составляют 7,55, 6,93, 6,94 эВ соответственно. Следует отметить, что даже в случае алканов нормального строения указанные фрагменты представляют собой изомеризованные структуры, так как вторичные третичные карбокатионы значительно стабильнее, а, следовательно, процессы изомеризации термодинамически выгодны. В общем случае процессы рандомизации и скрамблинга, т. е. полного смешения атомов водорода углерода, очень характерны для парафинов. В связи этим установить структуру сильно разветвленных алканов по их масс спектрам электронного удара практически невозможно. Для нормальных алканов характерно экспоненциальное уменьшение интенсивностей пиков ионов алкановой серии, что позволяет однозначно подтверждать структуру этих соединений. При этом пик $[M-CH_3]^+$ либо полностью отсутствует, либо имеет крайне низкую интенсивность. Задача структурного анализа разрешима и для алканов

одним-двумя разветвлениями. Для этих соединений разрыв С-С-связей в месте разветвления более благоприятен по сравнению разрывом соседних связей, поскольку образуется вторичный, т. е. более устойчивый, ион [18].

Ионизация ароматических углеводородов преимущественно протекает за счет удаления π -электронов. Поэтому характер фрагментации ароматических углеводородов определяется способностью ароматического цикла стабилизировать заряд. Стабильность M^+ возрастает в ряду: бензол < нафталин < антрацен < фенантрен < пирен.

Масс-спектры ароматических углеводородов в отличие от спектров алифатических и алициклических углеводородов содержат незначительное число интенсивных характеристических пиков.

Молекулярные ионы углеводородов ряда бензола, полифениленов, полифенилалканов и конденсированных полициклических ароматических соединений становятся менее стабильными, чем M^+ незамещенных углеводородов. Характерные пути фрагментации алкилароматических соединений во многих случаях позволяют уверенно устанавливать их структуру.

В молекулярных ионах алкенилароматических соединений двойная связь может мигрировать, поэтому масс-спектры изомеров таких соединений часто похожи и не позволяют определять положение кратной связи. В их спектрах можно встретить пики, характерные для распада алкилароматических углеводородов.

Газовая хроматография—масс-спектрометрия (ГХ-МС) — метод количественного и качественного анализа широкого круга соединений, открывающий большие перспективы во многих областях, таких как токсикология, медицина, промышленность. ГХ-МС — комбинация двух мощных аналитических инструментов: газовой хроматографии, обеспечивающей высокоэффективное разделение компонентов сложных смесей в газовой фазе, и масс-спектрометрии, позволяющей иден-

тифицировать как известные, так и неизвестные компоненты смеси. Варианты использования газового хроматографа в качестве системы разделения и ввода пробы в масс-спектрометр были предложены еще в конце 50-х годов XX века [19]. Исторически известны несколько типов интерфейсов ГХ-МС, однако в результате развития высокопроизводительной вакуумной техники и практически полного вытеснения ГХ с насадочными колонками (с большими потоками газа-носителя) подавляющее большинство производителей в настоящее время применяет так называемый прямой ввод пробы, т. е. непосредственный вывод конца колонки в область ионизации масс-спектрометра. Применяемый в качестве газа-носителя гелий является легким газом, и избыток его легко удаляется вакуумной системой прибора.

ГХ-МС высокоспецифично характеризует вещества по газохроматографическим индексам удерживания и масс-спектрам. Вещества с перекрывающимися хроматографическими пиками различают по их масс-спектрам. С другой стороны, изомеры с похожими или идентичными масс-спектрами различают по индексам удерживания. Таким образом, ГХ и МС дополняют друг друга при анализе смесей. Сфера применения метода ГХ-МС определяется списком аналитов, которые могут быть разделены методом газовой хроматографии. Это относительно низкомолекулярные и термически стойкие аналиты, несущественно распадающиеся при нагреве в инжекторе хроматографа и имеющие среднюю или низкую полярность. Для анализа соединений другого типа необходим альтернативный метод анализа, например ВЭЖХ-МС. Наиболее распространенным вариантом ГХ-МС был и остается анализ с применением ионизации электронным ударом (ЭУ) [20]. При проведении скрининга спектры, полученные при нормированных условиях ионизации (70 эВ), сравниваются с библиотечными масс-спектрами. Для повышения селективности применяют альтернативные методы ионизации, чаще всего — химическую ионизацию с детектированием положительных (ПХИ) или отрицательных ионов (ОХИ). К сожалению, стандартизация спектров ХИ затруднена и является в основном специфич

ной для каждого прибора. Тем не менее воспроизводимость спектров на конкретном приборе, как правило, удовлетворительна и позволяет успешно проводить качественный (по молекулярному иону) и количественный анализ конкретных компонентов. ХИ редко применяется как скрининговый метод, чаще всего она используется для целевого определения аналитов или их групп [21].

2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объекта исследования был выбран низинный торф болота Кирек. Болото Кирек находится в Обь-Томском междуречье, занимает юго-восточный берег озера Кирек. Болото является низинным, его питание осуществляется за счет грунтовых вод, накопление торфа происходит в щелочной среде. Растительность представлена эвтрофным сосново-кедрово-елово-березовым болотнотравно-вейниково-кочкарноосоковым фитоценозом. В древесном торфе основной части залежи преобладают остатки хвойных пород, примесь образуют кочкарные (*Carex cespitosa*, *C. arproinquata*) и корневищные (*C. lasiocarpa*) осоки.

Эксперимент по термическому воздействию на низинный торф был проведен в проточном режиме в токе азота при $t=200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $350\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Групповой и индивидуальный состав органических соединений исходного торфа и торфа после проведения термолиза определяли методом газовой хроматографии-масс-спектрометрии (масс-спектрометр высокого разрешения DFS, ThermoElectron Finnigan DFS, Германия предоставлен центром коллективного пользования ТомЦКП СО РАН).

Режим работы хроматографа: кварцевая капиллярная хроматографическая колонка фирмы "Thermo Scientific" с внутренним диаметром 0.25 мм, длиной 30 м, толщина фазы 0.25 мкм, неподвижная фаза – TR-5MS; газ-носитель – гелий, температура испарителя $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура интерфейса $250\text{ }^{\circ}\text{C}$; программа нагрева термостата хроматографа: $t_{\text{нач}} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, изотерма в течение 2 минут, затем нагрев со скоростью 4 град/мин. до $t_{\text{макс}} = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Режим работы масс-спектрометра: метод ионизации – электронный удар; энергия ионизирующих электронов – 70 эВ; температура ионизационной камеры – $250\text{ }^{\circ}\text{C}$; диапазон регистрируемых масс – 50-500 а.е.м.; длительность развертки спектра – 1 сек.

Индивидуальные соединения идентифицировали по полным масс-спектрам, для этого использовали спектро-структурные корреляции

программы X-Calibur 10, имеющиеся в литературе, а также компьютерную библиотеку масс-спектров NIST, насчитывающую более 163 тыс. наименований. Содержание отдельных структур определяли по площади соответствующих пиков на хроматограммах.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В настоящее время предприятия всех отраслей промышленности, в том числе и нефтедобывающей стремятся к переоснащению производств современными средствами автоматизации, что в свою очередь открывает перспективы предприятиям-изготовителям промышленного оборудования.

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Профиль	Вид услуги		
	Проектирование	Мониторинг	Оптимизация
Нефтехимический	○		
Химический			○

Рисунок 4.1 - Карта сегментирования рынка услуг по разработке
интернет-ресурсов:



4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Проведем анализ конкурентных технических решений сравнительно разработанной продукции фирм конкурентов на основе основных технических и экономических критериев оценки эффективности. Для наглядности составим карту сравнения, представленную в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.1	5	4	3	0.5	0.4	0.3
2. Современные технологии	0.15	5	5	4	0.75	0.75	0.6
3. Энергоэкономичность	0.1	5	4	4	0.5	0.4	0.4
4. Надежность	0.2	4	4	3	0.8	0.8	0.6
5. Безопасность	0.1	5	5	4	0.5	0.5	0.4
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0.05	4	5	4	0.2	0.25	0.2
2. Уровень проникновения на рынок	0.05	1	5	4	0.05	0.25	0.2
3. Цена	0.1	3	4	5	0.3	0.4	0.5
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.1	5	5	4	0.5	0.5	0.4
5. Послепродажное обслуживание	0.05	4	4	4	0.4	0.4	0.4
Итого:	1	Суммарная оценка:			4,4	4,65	4

4.1.3 SWOT-анализ

Далее проведем SWOT-анализ проекта, для чего сначала составил базовую матрицу сильных-слабых сторон проекта и возможностей-угроз проекта. Результаты запишем в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Итоговая матрица SWOT.

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Заявленный уровень безопасности технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Высокое качество используемых материалов.</p> <p>С4. Невысокий объем оборудования.</p> <p>С5. Высокая надежность оборудования.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Ведение индивидуальных разработок для объекта.</p> <p>Сл2. Высокая стоимость конечного продукта.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Возможность расширения разработок за пределы</p>	V1B2C1C2C3C4C5	-

нефтегазовой отрасли. В2. Возможность различных комплектаций оборудования.		
Угрозы: У1. Угроза сильного повышения цен на комплектующие. У2. Отсутствие в исходной системе требуемых каналов под новое оборудование.	-	У1Сл2

Опираясь на результаты проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

Сильные стороны разработанного проекта практически полностью совпадают с возможностями, что положительно показывает перспективность проекта;

Угроза повышения цен на комплектующие может усугубить и без того высокую цену на конечный продукт.

Для исключения негативного влияния угроз на проект, необходимо в ближайшей перспективе снизить цены на конечный продукт.

4.2 Планирование научно исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Выполним планирование комплекса предполагаемых работ, для этого определим основные этапы работ, а также их содержание и продолжительность. Определим участников каждого вида работ, результаты занесем в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя	Продолжительность работ		
				Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение тех. задания	Руководитель темы	0,9 дн.	0,9 дн.	0,9 дн.
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	2,9 дн.	3,9 дн.	4,8 дн.
	3	Проработка направлений исследования	Студент	1,9 дн.	2,9 дн.	2,9 дн.
	4	Выбор направления исследований	Руководитель	0,9 дн.	0,9 дн.	0,9 дн.
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проработка схемотехнического решения	Студент	1,9 дн.	2,9 дн.	3,9 дн.
	6	Подбор оборудования, согласно схемотехнического решения	Студент	1,9 дн.	2,9 дн.	3,9 дн.
	7	Проведение расчетов алгоритмов управления	Студент	0,9 дн.	1,9 дн.	1,9 дн.
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Студент	1,9 дн.	2,9 дн.	3,9 дн.
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Студент	0,9 дн.	1,9 дн.	1,9 дн.
<i>Проведение ОКР</i>						
Разработка технической документации	10	Разработка принципиальных схем	Студент	2,9 дн.	3,9 дн.	3,9 дн.
	11	Разработка схем соединений	Студент	2,9 дн.	3,9 дн.	3,9 дн.
	12	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Студент	1,9 дн.	1,9 дн.	1,9 дн.
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	13	Составление пояснительной записки	Студент	4,8 дн.	6,1 дн.	8,1 дн.

4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

Для расчета длительности работ в календарных днях найдем календарный коэффициент $k_{\text{кал}}$:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,47,$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Расчет длительности работ в календарных днях произведем по формуле

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

результаты расчетов занесем в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Временные показатели проведения научного исследования.

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}						
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			$t_{\text{ожг}}$, чел-дни											
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3						Исп.1	Исп.2	Исп.3	
Составление и утверждение технического задания	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5	1,5	0,9	0,9	0,9	1	1	1	0,9	0,9	0,9	1,32(1)	1,32(1)	1,32(1)
Подбор и изучение материалов по теме	2,5	3,5	4,5	3,5	4,5	6	2,9	3,9	4,8	1	1	1	2,9	3,9	4,8	4,26(4)	5,73(6)	7,05(7)
Проработка направлений исследования	1,5	2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	1,9	2,9	2,9	1	1	1	1,9	2,9	2,9	2,79(3)	4,26(4)	4,26(4)
Выбор направления исследования	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5	1,5	0,9	0,9	0,9	1	1	1	0,9	0,9	0,9	1,32(1)	1,32(1)	1,32(1)
Проработка схемотехнического решения	1,5	2,5	3,5	2,5	3,5	4,5	1,9	2,9	3,9	1	1	1	1,9	2,9	3,9	2,79(3)	4,26(4)	5,73(6)

Подбор оборудования, согласно схемотехнического решения	1,5	0,5	1,5	0,5	2,5	2,5	1,5	0,5	1,5
Проведение расчетов алгоритмов управления	2,5	1,5	2,5	1,5	3,5	3,5	1,5	1,5	2,5
Оценка эффективности полученных результатов	3,5	1,5	3,5	1,5	3,5	3,5	1,5	1,5	3,5
Определение целесообразности проведения ОКР	2,5	1,5	2,5	1,5	3,5	3,5	1,5	1,5	2,5
Разработка принципиальных схем	4,5	3,5	4,5	3,5	4,5	4,5	3,5	3,5	4,5
Разработка схем соединений	2,9	3,9	2,9	3,9	2,9	2,9	3,9	0,9	1,9
Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	1,9	1,9	1,9	1,9	3,9	3,9	1,9	1,9	2,9
Составление пояснительной записки	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	4,8	2,9	4,8	2,9	4,8	4,8	2,9	0,9	1,9
	6,1	3,9	6,1	3,9	6,1	6,1	3,9	1,9	2,9
	8,1	3,9	8,1	3,9	8,1	8,1	3,9	1,9	3,9
	1	1	1	1	1	1	1	1,32(1)	2,79(3)
	8,96(9)	5,73(6)	8,96(9)	5,73(6)	8,96(9)	8,96(9)	5,73(6)	2,79(3)	4,26(4)
	11,9(12)	5,73(6)	11,9(12)	5,73(6)	11,9(12)	11,9(12)	5,73(6)	2,79(3)	5,73(6)

На основе таблицы 4.4 построим календарный план-график выполнения работ, результат представим в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Календарный план-график проведения НИОКР.

№	Вид работ	Исполнители	Ткд	Продолжительность вып-я работ											
				март			апрель			май			июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Постановка задачи	руководитель	2	■											
2	Составление технического задания	руководитель	4	■											
3	Подбор и изучение литературы	студент	11		■	■									
4	Разработка проекта	руководитель студент	24			■	■	■	■	■	■				
5	Формирование информационной базы	руководитель студент	32						■	■	■				
6	Набор методического пособия	студент	15									■	■	■	
7	Проверка	руководитель студент	4											■	
8	Анализ результатов	руководитель студент	4											■	
9	Апробация инструментального средства	студент	6											■	
10	Оформление отчетной документации о проделанной работе	студент	9											■	
11	Составление пояснительной записки	студент	6											■	
12	Сдача готового проекта	студент	2											■	

Условные обозначения:

■ - руководитель;

■ - студент.

4.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат включает в себя стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта, включая расходы на их приобретение и доставку.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i},$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расх\ i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Произведем расчет материальных затрат НИИ, результаты занесем в таблицу 4.6. Транспортные расходы принимаем равными 20%.

Таблица 4.6 – Материальные затраты НИИ.

Наименование	Ед. изм	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Бумага, формат А4	пачка	2	2	3	400	400	400	960	960	1440
Ручка шариковая	шт	3	4	5	50	50	50	180	240	300
Карандаш	шт	4	6	7	20	20	20	96	144	168
Картридж для принтера	шт	1	2	2	800	800	800	960	1920	1920
Набор чертежных инструментов	шт	1	1	1	1500	1500	1500	1800	1800	1800
Итого								3996	5064	5628

По результатам видно, что материальные затраты в исполнении 1 составили наименьшую сумму в 3996 рублей, больше всего затрат получено в исполнении 3.

4.3.2. Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научного и инженерно-технического работников и лаборанта, непосредственно участвующих в выполнении работ. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 30 % оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 30, на основании далее полученных значений.

Таблица 4.7 – Расчет основной заработной платы.

№	Наименование этапов	Исполнитель и по категориям			Трудоемкость, чел.-дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Составление и утверждение технического задания	Рук.	Рук.	Рук.	1	1	1	1482,53	1482,53	1482,53	1482,53	1482,53	1482,53
2	Подбор и изучение материалов по теме	Ст.	Ст.	Ст.	3	4	5	856,57	856,57	856,57	2569,71	3426,28	4282,85
3	Проработка направлений исследования	Ст.	Ст.	Ст.	2	3	3	856,57	856,57	856,57	1713,14	2569,71	2569,71
4	Выбор направления исследований	Ст.	Ст.	Ст.	1	1	1	856,57	856,57	856,57	856,57	856,57	856,57
5	Проработка схмотехнического решения	Ст.	Ст.	Ст.	2	3	4	856,57	856,57	856,57	1713,14	2569,71	3426,28
6	Подбор оборудования, согласно схмотехнического решения	Ст.	Ст.	Ст.	2	3	4	856,57	856,57	856,57	1713,14	2569,71	3426,28
7	Проведение расчетов алгоритмов управления	Ст.	Ст.	Ст.	1	2	2	856,57	856,57	856,57	856,57	1713,14	1713,14
8	Оценка эффективности полученных результатов	Ст.	Ст.	Ст.	2	3	4	856,57	856,57	856,57	1713,14	2569,71	3426,28
9	Определение целесообразности проведения ОКР	Ст.	Ст.	Ст.	1	2	2	856,57	856,57	856,57	856,57	1713,14	1713,14
10	Разработка принципиальных схем	Ст.	Ст.	Ст.	3	4	4	856,57	856,57	856,57	2569,71	3426,28	3426,28

1 1	Разработка схем соединений	Ст.	Ст.	Ст.	3	4	4	856,57	856,57	856,57	2569,71	3426,28	3426,28
1 2	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Ст.	Ст.	Ст.	2	2	2	856,57	856,57	856,57	1713,14	1713,14	1713,14
1 3	Составление пояснительной записки	Ст.	Ст.	Ст.	5	6	8	856,57	856,57	856,57	4282,85	5139,42	6852,56
Итого:					28	38	44				24609,92	33175,62	38315,04

Проведем расчет баланса рабочего времени согласно производственного календаря, результаты представлены в 4.8

Таблица 4.8 – Баланс рабочего времени.

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные дни + праздничные дни)	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	28	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	219	219

Проведем расчет основной заработной платы исполнителей:

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = (Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d)) \cdot k_p,$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{тс}$), в нашем случае руководитель 0,2, инженер 0;

k_p – районный коэффициент, равный 0,3 для Томской области.

Исп.1 $Z_{тс.р}=15000$ руб. $Z_{тс.и}=10000$ руб.

Исп.2 $Z_{тс.р}=15000$ руб. $Z_{тс.и}=10000$ руб.

Исп.3 $Z_{тс.р}=15000$ руб. $Z_{тс.и}=10000$ руб.

Месячный должностной оклад руководителя:

Исп.1 $Z_{м}=(15000*(1+0,3+0,2))*0,3=29250$ руб.

Исп.2 $Z_{м}=(15000*(1+0,3+0,2))*0,3=29250$ руб

Исп.3 $Z_{м}=(15000*(1+0,3+0,2))*0,3=29250$ руб

Месячный должностной оклад инженера:

Исп.1 $Z_{м}=(10000*(1+0,3+0))*0,3=16900$ руб.

Исп.2 $Z_{м}=(10000*(1+0,3+0))*0,3=16900$ руб.

Исп.3 $Z_{м}=(10000*(1+0,3+0))*0,3=16900$ руб.

Среднедневная заработная плата руководителя:

Исп.1 $Z_{дн}=29250*11,1/219=1482,53$ руб.

Исп.2 $Z_{дн}=29250*11,1/219=1482,53$ руб.

Исп.1 $Z_{дн}=29250*11,1/219=1482,53$ руб.

Среднедневная заработная плата инженера:

Исп.1 $Z_{дн}=16900*11,1/219=856,57$ руб.

Исп.2 $Z_{дн}=16900*11,1/219=856,57$ руб.

Исп.3 $Z_{дн}=16900*11,1/219=856,57$ руб.

Сведем расчёт основной заработной платы в таблицу 4.9.

Таблица 4.9 – Расчёт основной заработной платы.

Исполнение 1	Разряд	k_t	$Z_{тс.}$ руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	$Z_{м,}$ руб	$Z_{дн,}$ руб.	$T_p,$ раб. дн.	$Z_{осн,}$ руб. ($Z_{дн}*T_p$)
Руководитель	Вед. инж.	1	15000	0,3	0,2	0,3	29250	1482,53	1	1482,53
Инженер	2 кат	1	10000	0,3	0	0,3	16900	856,57	27	23127,39
Итого $Z_{осн}$							24609,92			
Исполнение 2		k_t	$Z_{тс.}$	$k_{пр}$	k_d	k_p	$Z_{м,}$	$Z_{дн,}$	$T_p,$	$Z_{осн,}$

	Разряд		руб.				руб	руб.	раб. дн.	руб. (Здн*Тр)
Руководитель	Вед. инж.	1	15000	0,3	0,2	0,3	29250	1482,53	1	1482,53
Инженер	2 кат	1	10000	0,3	0	0,3	16900	856,57	37	31693,09
Итого $Z_{осн}$						33175,62				
Исполнение 3	Разряд	k_t	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб. (Здн*Тр)
Руководитель	Вед. инж.	1	15000	0,3	0,2	0,3	29250	1482,53	1	1482,53
Инженер	2 кат	1	10000	0,3	0	0,3	16900	856,57	43	36832,51
Итого $Z_{осн}$						38315,04				

4.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15), примем равным 0,15.

Исп.1 $Z_{доп} = 0,15 * 24609,92 = 3691,48$ руб.

Исп.2 $Z_{доп} = 0,15 * 33175,62 = 4976,34$ руб.

Исп.3 $Z_{доп} = 0,15 * 38315,04 = 5747,25$ руб.

4.3.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды – это обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%.

Таблица 4.10 – Отчисления во внебюджетные фонды.

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель	1482,53	1482,53	1482,53	222,37	222,37	222,37
Инженер	23127,39	31693,09	36832,51	3469,1	4753,96	5524,87
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3					
Итого						
Исполнение 1	8490,42 руб.					
Исполнение 2	11445,58 руб.					
Исполнение 3	13218,68 руб.					

4.3.5. Расчет затрат на научные и производственные командировки

Согласно плану исполнения темы, командировки не предусмотрены. Расчет данного вида затрат не производим.

4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 6) \cdot k_{\text{нр}},$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$1 \text{ исп. } Z_{\text{накл}} = (3996 + 82800 + 24609,92 + 3691,48 + 8490,42) \cdot 0,16 = 19774,05$$

$$2 \text{ исп. } Z_{\text{накл}} = (5064 + 93725 + 33175,62 + 4967,34 + 11445,58) \cdot 0,16 = 23740,4$$

$$3 \text{ исп. } Z_{\text{накл}} = (5628 + 146625 + 38315,04 + 5447,25 + 13218,68) \cdot 0,16 = 33477,43$$

4.3.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Расчет бюджета затрат НТИ.

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	3996	5064	5628	Пункт 3.3.4.1.
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	82800	93725	146625	Пункт 3.3.4.2.

3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	24609,92	33175,62	38315,04	Пункт 3.3.4.3.
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	3961,48	4976,34	5747,25	Пункт 3.3.4.4.
5. Отчисления во внебюджетные фонды	8490,42	11445,58	13218,68	Пункт 3.3.4.5.
6. Затраты на научные и производственные командировки	-	-	-	Пункт 3.3.4.6.
7. Контрагентские расходы	-	-	-	-
8. Накладные расходы	19774,05	23740,4	33477,43	Пункт 3.3.4.7.
9. Бюджет затрат НИИ	143361,87	172117,94	242711,4	Сумма ст. 1- 8

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

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 34). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносится финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

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

$$I_{\text{финр } 1} = 143361,87/242711,4=0,59$$

$$I_{\text{финр } 2} = 172117,94/242711,4=0,7$$

$$I_{\text{финр } 3} = 242711,4/242711,4=1$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a , b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 4.12 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

Критерии	Объект исследования			
	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	5	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	5	5
3. Помехоустойчивость	0,15	5	5	4
4. Энергосбережение	0,20	5	5	5
5. Надежность	0,25	4	5	5
6. Материалоемкость	0,15	5	4	3
ИТОГО	1			

$$I_{p-ucn1} = 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 = 4,5;$$

$$I_{p-ucn2} = 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 4,85;$$

$$I_{p-ucn3} = 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,15 = 4,55.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad \text{и т.д.}$$

$$I_{исп.1} = 4,5 / 0,59 = 7,62$$

$$I_{исп.2} = 4,85 / 0,7 = 6,92$$

$$I_{исп.3} = 4,55 / 1 = 4,55$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}$$

Таблица 4.13– Сравнительная эффективность разработки.

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,59	0,7	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,85	4,55
3	Интегральный показатель эффективности	7,62	6,92	4,55
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,1 1,67	0,9 1,52	0,59 0,65

В результате оценки бюджета затрат избранных вариантов исполнения научного исследования и определения показателей эффективности, можно сделать вывод, что 1 вариант исполнения проекта является наиболее эффективным.