

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 19.03.01 Биотехнология, профиль Биотехнология
 Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы Обеззараживание воды импульсной обработкой электронным пучком на ускорителе «АСТРА-М»
--

УДК 628.166.085

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Д81	Асадова Виктория Тимуровна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Н.М. Кижнера	Чубик М.В.	к.м.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов М.А.	д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Черемискина М.С.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП 19.03.01 Биотехнология	Лесина Ю.А.	к.х.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

по направлению 19.03.01 Биотехнология

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-2	Способность и готовность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ОПК(У)-3	Способность использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы
ОПК(У)-4	Способность понимать значения информации в развитии современного информационного общества, сознание опасности и угрозы, возникающей в этом процессе, способность соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-5	Владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией

ОПК(У)-6	Владение основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
Код компетенции	Наименование компетенции
Дополнительно сформированные общепрофессиональные компетенции университета	
ДОПК(У)-1	Способность разрабатывать технологическую и конструкторскую документацию
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров биотехнологических процессов, свойств сырья и продукции
ПК(У)-2	Способность к реализации и управлению биотехнологическими процессами
ПК(У)-3	Готовность оценивать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)-4	Способность обеспечивать выполнение правил техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и охраны труда
ПК(У)-8	Способность работать с научно-технической информацией, использовать российский и международный опыт в профессиональной деятельности
ПК(У)-9	Владение основными методами и приемами проведения экспериментальных исследований в своей профессиональной области; способность проводить стандартные и сертификационные испытания сырья, готовой продукции и технологических процессов
ПК(У)-10	Владение планированием эксперимента, обработки и представления полученных результатов
ПК(У)-11	Готовность использовать современные информационные технологии в своей профессиональной области, в том числе базы данных и пакеты прикладных программ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 19.03.01 Биотехнология
 Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 19.03.01 Биотехнология
 _____ Лесина Ю.А.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
4Д81	Асадовой Виктории Тимуровне

Тема работы:

Обеззараживание воды импульсной обработкой электронным пучком на ускорителе «АСТРА-М»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 02.02.2022 №33-32/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является вода, зараженная кишечной палочкой.
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none"> • Обзор литературы по теме исследования • Объекты и методы исследования • Описание экспериментальной части • Результаты и обсуждение проведенного исследования • Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение • Социальная ответственность • Заключение
Перечень графического материала	-
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов М.А., профессор ОСГН
Социальная ответственность	Черемискина М.С., старший преподаватель ООД

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент НОЦ Н.М. Кижнера	Чубик М.В.	К.М.Н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Д81	Асадова Виктория Тимуровна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4Д81	Асадова Виктория Тимуровна

Школа		Отделение школы (НОЦ)	НОЦ Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Биотехнология

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Оклад руководителя – 35120 рублей Оклад студента – 4650 рублей</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Премимальный коэффициент 30 %; Доплаты и надбавки 20 %; Дополнительная заработная плата 15 %; Накладные расходы 16 %; Районный коэффициент 1,3.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды 27,1 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Определение потенциального потребителя результатов исследования, анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ разработанной стратегии.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Определение структуры работы, расчёт трудоёмкости выполнения работ и разработка графика выполнения исследования (диаграмма Ганта). Расчёт бюджета исследования.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение показателей финансовой эффективности, ресурсоэффективности и эффективности вариантов исполнения. Расчёт сравнительной эффективности проекта.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	04.03.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОСГН	Гасанов М.А.	Д.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Д81	Асадова Виктория Тимуровна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
4Д81		Асадовой Виктории Тимуровне	
Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	НОЦ Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	19.03.01 Биотехнология

Тема ВКР:

Обеззараживание воды импульсной обработкой электронным пучком на ускорителе «АСТРА-М»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения 	<p>Объектом исследования является метод обеззараживания воды с применением импульсной обработки электронным пучком.</p> <p>Область применения: очистка сточных вод, экология, биотехнология.</p> <p>Рабочая зона: лаборатория НОЦ Н.М. Кижнера, ТПУ, 3 корпус, аудитория 025.</p> <p>Размер помещения 15,4 м².</p> <p>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: термостат, ламинарный шкаф, электрическая плитка, аналитические весы, автоклав, холодильник.</p> <p>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: посев микроорганизмов на твердые питательные среды, приготовление суспензий микроорганизмов различной концентрацией, определение количества колониеобразующих единиц микроорганизмов, приготовление питательных сред и стерилизация используемого оборудования.</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 22.11.2021) 2. Федеральный закон от 19.06.2000 N 82-ФЗ (ред. от 06.12.2021) "О минимальном размере оплаты труда" 3. Федеральный закон от 24.07.1998 N 125-ФЗ (ред. от 30.12.2021) "Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний" 4. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. 5. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Вредные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - заражение патогенными микроорганизмами - отклонение параметров микроклимата - попадание в организм веществ, обладающих острой токсичностью по воздействию на организм <p>Опасные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - опасность взрыва оборудования, работающего под избыточным давлением - опасность поражения электрическим током - опасность работы с легковоспламеняющимися жидкостями - опасность ожога мягких тканей

	Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: халат, перчатки, огнетушители и другие средства тушения, заземление оборудования.
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения	Воздействие на литосферу; загрязнение почвы бытовыми отходами. Воздействие на гидросферу: слив нестерилизованных отходов в канализацию. Воздействие на атмосферу: выбросы летучих органических веществ и биологических частиц.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения	Возможные ЧС: -техногенного характера: взрывы, пожары, внезапное обрушение здания; -природного характера: землетрясения; Наиболее типичная ЧС: -пожар; -взрыв автоклава.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
7.02.2022	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Д81	Асадова Виктория Тимуровна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 87 с., 2 рис., 3 фото, 25 табл., 36 источников, 0 прил.

Ключевые слова: *Escherichia coli*, обеззараживание, сточные воды, ионизирующее излучение, импульсный пучок электронов, ускоритель электронов, бактериальная суспензия.

Объектом исследования является вода, зараженная кишечной палочкой.

Цель работы – исследование метода обеззараживания воды обработкой импульсным электронным пучком.

В процессе исследования готовили бактериальные суспензии кишечной палочки известной концентрации, подвергали их импульсному ионизирующему излучению на ускорителе электронов «АСТРА-М». Отбирали пробы облученной воды, инокулировали отобранные пробы на плотную питательную среду и определяли эффективность данного метода обеззараживания вод путем просмотра чашек с посевами.

В результате исследования изучили бактерицидную активность импульсного электронного пучка по отношению к кишечной палочке.

Область применения: очистка сточных вод, биотехнология, фармацевтические производства.

Экономическая эффективность работы состоит в том, что данный метод обеззараживания воды не требует дополнительных затрат на покупку химических реагентов, а также не оказывает негативного влияния на окружающую среду.

Оглавление

Введение	12
1 Литературный обзор.....	14
1.1 Источники загрязнений сточных вод	14
1.2 Методы обеззараживания вод.....	15
1.3 Обеззараживание ионизирующим излучением	18
1.3.1 Прямое воздействие ионизирующего излучения на микробную клетку.....	19
1.3.2 Косвенное воздействие ионизирующего излучения на микробную клетку.....	20
1.4 Обоснование выбора модельного микроорганизма для изучения эффекта обеззараживания импульсным электронным пучком	21
2 Объект и методы исследования	23
3 Экспериментальная часть	30
3.1 Приготовление питательной среды.....	30
3.2 Поддержание чистой суточной культуры <i>E. coli</i>	30
3.3 Приготовление суспензии, содержащей микроорганизм <i>E. coli</i>	31
3.4 Обеззараживание воды на электронном ускорителе АСТРА-М	34
3.5 Определение общего микробного числа после обеззараживания загрязненной воды	36
3.6 Бактерицидное действие пероксида водорода.....	36
4 Результаты проведенного исследования.....	38
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	42
5.1 Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения научного исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	42
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	42
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	43
5.1.3 SWOT-анализ разработанной стратегии	45
5.2 Планирование и формирование бюджета научных исследований	48
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	48

5.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ	49
5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	50
5.3 Бюджет научно-технического исследования	54
5.3.1 Расчёт материальных затрат	54
5.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных работ	55
5.3.3 Основная заработная плата исполнителя темы	57
5.3.4 Расчёт дополнительной заработной платы	60
5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды	61
5.3.6 Накладные расходы.....	61
5.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	62
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ..	63
Выводы по разделу.....	66
6 Социальная ответственность	67
Введение	67
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	68
6.1.1 Правовые нормы трудового законодательства, характерные для рабочей зоны	68
6.1.2 Компоновка рабочей зоны	69
6.2 Производственная безопасность	70
6.3 Экологическая безопасность	76
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	77
6.4.1 Анализ возможных чрезвычайных ситуаций.....	77
6.4.2 Анализ наиболее вероятных чрезвычайных ситуаций	77
Выводы по разделу.....	78
Заключение	80
Список использованных источников	82

Введение

Согласно исследованиям Всемирной организации здравоохранения, более 500 млн человек по всему миру страдают от болезней, вызванных употреблением некачественной питьевой воды. При этом, количество чистой воды, пригодной для питья без предварительной очистки, постоянно уменьшается и составляет сейчас 1 % от общего мирового запас вод. Данное явление получило название «водный голод». Оно возникло в результате стремительного масштабирования промышленного, сельскохозяйственного и коммунального водопользования в последние десятилетия. Отработанная вода возвращается в водные источники в менее чистом состоянии, так как не всегда удается достичь полной очистки воды от внесенных загрязнений.

Следствием некачественной очистки вод является их заражение патогенными микроорганизмами. Для предотвращения передачи через воду возбудителей инфекционных заболеваний и тем самым обеспечения эпидемиологической безопасности воды её необходимо подвергать обеззараживанию на последних этапах очистки. При этом существуют различные методы очистки сточных вод, каждая из которых имеет не только весомые преимущества, но и серьёзные недостатки.

Объектом исследования является вода, зараженная кишечной палочкой.

Предметом исследования является метод обеззараживания воды с применением импульсного облучения электронным пучком.

Практическая значимость результатов работы заключается в том, что разработанный метод может широко применяться для очистки вод на водоочистных станциях, а также на фармацевтических и биотехнологических предприятиях.

Цель работы: исследование метода обеззараживания воды обработкой импульсным электронным пучком.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Разработать методику обеззараживания воды обработкой импульсным электронным пучком на установке АСТРА-М.
2. Провести опыты по обеззараживанию воды различной степени загрязненности.
3. Провести оценку экономической эффективности, социальной ответственности и безопасности проекта.

1 Литературный обзор

1.1 Источники загрязнений сточных вод

«Сточные воды – это пресные воды, изменившие свои физико-химические свойства после использования в бытовой и производственной деятельности человека и требующие отведения, а также воды, стекающие с территории населенных пунктов и промышленных предприятий в результате выпадения атмосферных осадков или поливки улиц» [1]. Из приведённого определения следует, что состав загрязнений сточных вод многообразен, так как отходы, попадающие в сточные воды, имеют различное происхождение: от нефтепродуктов до бытовых отходов и смывов с площадей водосборов.

Для удобства исследования состава сточных вод их компоненты условно делятся на следующие категории: минеральные, органические, бактериальные или биологические [1].

Минеральные загрязнения – это глина, песок, минеральные масла и соли. Их наличие в сточных водах обусловлено работой стекольных, горнорудных, химических и других предприятий.

Органические загрязнения – это продукты жизнедеятельности живых существ и растений.

Большой интерес вызывают бактериальные или биологические загрязнения. К ним относят содержащиеся в стоках патогенные и непатогенные микроорганизмы, которые способны оказывать существенное влияние на качество и безопасность вод. В основном они появляются из бытовых стоков, но существуют предприятия, которые используют микроорганизмы для производства продукции, к ним относят биотехнологические и кожевенные заводы, иногда фармацевтические предприятия. Также источниками биологического заражения могут выступать выделения больных животных и людей и канализационные воды. Особую опасность несут воды предприятий, занимающихся переработкой животного сырья [2].

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что сточные воды содержат в себе множество примесей различной природы. Перед сбросом сточных вод в водоёмы необходимо проводить их очистку не только от взвешенных примесей, таких как песок, глина, органические вещества, но и подвергать воды обеззараживанию, так как они могут содержать в себе патогенные бактерии, способные вызывать эпидемии населения.

1.2 Методы обеззараживания вод

Очистка сточных вод проводится в несколько этапов. Рассмотрим последовательность этапов очистки [3]:

1. Механическая очистка. Проводится с целью удаления крупных загрязнений, таких как песок, глина, мелкий мусор. Основные методы – отстаивание, процеживание, фильтрование.

2. Биологическая очистка. Проводится для удаления из водных масс растворенных органических примесей и биогенного мусора.

3. Физико-химическая очистка. Проводится для удаления мелкодисперсных взвесей путем добавления в очищаемую воду реагентов (флокулянтов или коагулянтов).

4. Дезинфекционная очистка.

Дезинфекционная очистка является завершающим этапом очистки сточных вод. Обеззараживание ранее очищенных сточных вод проводится с целью уничтожения оставшихся в них патогенных бактерий и устранения опасности заражения водоемов, в которые ведётся сброс вод [4]. Санитарно-эпидемиологическая безопасность воды обеспечивается только при условии её обеззараживания [5].

Условно методы обеззараживания делят на:

- химические с применением дополнительных реагентов (хлор и хлорсодержащие соединения, озон, известь, перманганат калия и др.).

Действие данных методов основано на окислении клеточных оболочек микроорганизмов, что приводит к их гибели.

- физические (УФ-обработка, кипячение, радиационное облучение и др.).

Иногда для повышения эффективности применяется комбинация из нескольких методов (УФ-обработка + ультразвук, УФ-обработка + водные растения).

Рассмотрим химические методы обеззараживания более подробно.

1. Хлорирование – самый распространённый способ обеззараживания вод в России [1]. Для хлорирования может применяться хлорная известь, гипохлорит кальция/натрия, сжиженный хлор. Данный метод позволяет удалять из воды болезнетворные микроорганизмы и вирусы.

Достоинствами хлорирования являются: доступность реагентов, невысокие затраты, продолжительное бактерицидное последствие. Но у данного метода имеются существенные недостатки. Так как хлор является активным реагентом, то при хлорировании он взаимодействует с оставшимися в воде органическими соединениями, например, фенолом, образуя токсичные хлорсодержащие органические вещества (хлорфенолы, тетрахлорметаны, хлорамины и др.), которые представляют опасность для окружающей среды, водных обитателей и человека, т.к. являются мутагенными веществами. Также хлорирование – это недостаточно эффективный способ обеззараживания вод от энтеровирусных инфекций. «Вода, содержащая представителей рода энтеровирусов, после обеззараживания хлором продолжает оставаться опасной в плане распространения заболеваний, вызываемых данными вирусами» [1].

Несмотря на то, что хлор применяется повсеместно на территории РФ, в последние годы всё же наблюдается тенденция к поиску альтернативных и более щадящих экологию методов обеззараживания сточных вод. Таким является озонирование.

2. Озонирование – процесс обеззараживания вод с использованием озono-воздушной смеси, которая вызывает окисление минеральных и органических веществ. Озонирование является более экологичным методом с точки зрения использования реагентов, так как для генерации озона (O_3) используется только кислород (O_2) из воздуха и нет необходимости в транспортировке и хранении дополнительных дезинфектантов. При этом озон является наиболее быстрым по скорости действия веществом и уничтожает микроорганизмы в 300-3000 раз быстрее других реагентов для обеззараживания. Однако данный способ также имеет недостатки. Так, материальные затраты для проведения процесса озонирования сточных вод значительно больше, чем для хлорирования, так как себестоимость производства O_3 выше, чем хлора [6]. Также в рабочей зоне при проведении процесса озонирования очищенных сточных вод существует опасность взрыва озона. Несмотря на то, что озон – высокоактивный компонент и способен образовывать высокотоксичные побочные продукты, зачастую из-за высокой скорости распада не удаётся провести полное обеззараживание вод [1].

Из-за негативного влияния методов обеззараживания с применением дополнительных химических реагентов на окружающую среду на водоочистных сооружениях активно внедряются установки для применения физических методов удаления патогенной микрофлоры, населяющей сточные воды. Примером может служить УФ-обработка сточных вод.

УФ-облучение является перспективным способом обеззараживания из-за большого количества преимуществ. Оно оказывает воздействие не только на живые формы микроорганизмов, но и на споры и вирусы. Коротковолновые излучения пагубно влияют на микроорганизмы, они погибают в течение нескольких секунд. При этом, после проведения процесса в обеззараженной воде отсутствуют токсичные соединения, которые способны оказывать отрицательное воздействие на окружающую среду. Также необходимо отметить, что в отличие от реагентных методов обеззараживания, УФ-облучение не требует затрат на покупку дополнительных дезинфектантов, в

процессе используются только лампы. При этом, следует выделить тот факт, что УФ-лампы нужно заменять при истечении эксплуатационного срока годности, так как они постепенно снижают эффективность обеззараживания. Вторым недостатком данного метода являются высокие требования к степени очистки воды. Содержание механических примесей должно быть минимальным для возможности проникновения УФ-лучей в воду и оказания дезинфицирующего эффекта.

Также к физическим методам обеззараживания сточных вод относят кипячение, пропускание электрического импульсного заряда, виброакустический метод и радиационное (ионизирующее) излучение.

1.3 Обеззараживание ионизирующим излучением

Ионизирующее излучение (ИИ) – это вид излучения, приводящий к возникновению токов в среде, т.е. её ионизации. К нему относят электромагнитные и корпускулярные излучения. Губительное действие ИИ в последние годы стало широко применяться в различных отраслях промышленности: в медицине для стерилизации термолабильных инструментов, в сельском хозяйстве для обеззараживания зерновых культур низкими дозами гамма-излучений (радуризация) и т.д.

Гибель микроорганизмов под действием ионизирующих излучений связана:

- с инаktivацией клеточных ферментов и разрушением нуклеиновых кислот;
- с образованием в облучаемой среде веществ, обладающих высокой реакционной способностью (перекись водорода, озон, свободные радикалы, атомарный водород и т.д.) [7].

Таким образом, можно сделать вывод, что следует различать два механизма воздействия ИИ на микробную клетку:

1) Прямое действие – изменения в молекулах вызваны непосредственным поглощением потока высокоэнергетических частиц (электронов) органеллами. Активные ионы и радикалы вступают в химические реакции внутри клетки;

2) Косвенное действие – клеточные структуры бактерий повреждаются реакционноспособными радиационными продуктами, образовавшимися во внешней среде после поглощения энергии излучения (продукты распада воды при протекании процесса радиолиза).

Рассмотрим эти механизмы более подробно.

1.3.1 Прямое воздействие ионизирующего излучения на микробную клетку

1) Воздействие ионизирующего излучения на белки микробной клетки

Ионизирующее излучение способно оказывать разрушительное влияние на первичную структуру белка путём выборочного разрушения аминокислот или изменения в их структуре. Ферменты, имеющие белковую структуру, также подвержены воздействию ИИ. Разрушение активного центра приводит к невозможности протекания многих важнейших реакций, которые происходят только в присутствии ферментов.

При высоких дозах облучения белки могут денатурировать, т.е. изменять свою трехмерную конформацию, что приводит к потере естественных свойств белка. Поддержание определенной конформации белка обусловлено наличием различных связей между аминокислотными остатками в белке (водородные и дисульфидные связи, гидрофобные взаимодействия). Наиболее уязвимым местом считаются дисульфидные мостики, которые быстро разрушаются при действии потоков высокоэнергетических частиц.

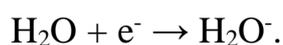
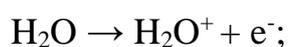
2) Воздействие ионизирующего излучения на нуклеиновые кислоты микробной клетки

Хранение и передача генетической информации живых организмов происходит благодаря высокомолекулярным органическим соединениям, которые по своей структуре являются полимерами, состоящими из остатков нуклеотидов – нуклеиновых кислотам. Бактериальная «хромосома» обычно представлена одной двухцепочечной молекулой ДНК, которая закручена в спираль и свернута в кольцо. При действии ионизирующего излучения на нуклеиновые кислоты происходят однонитевые разрывы и двухнитевые разрывы, разрывы водородных связей и частичная денатурация ДНК, повреждение нуклеотидов (пуриновых и пиримидиновых оснований, окисление спиртовых групп, разрывы С-С связей) и возникновение межмолекулярных сшивок (ДНК-ДНК, ДНК-белок) [10].

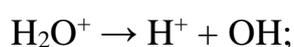
Из этих примеров следует, что воздействие ионизирующего излучения способно приводить к гибели микроорганизмов из-за нарушения функционирования их клеточных структур ещё на молекулярном уровне. Помимо разрушающих действий внутри клетки, вокруг неё облучению также подвергается среда (вода).

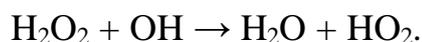
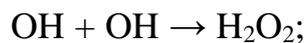
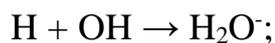
1.3.2 Косвенное воздействие ионизирующего излучения на микробную клетку

Процессы, протекающие в воде при воздействии ионизирующего излучения:



Получившиеся в результате распада молекулы воды ионы претерпевают дальнейшие изменения, также распадаются и образуют вторично-радикальные продукты, которые вступают в реакцию друг с другом и образуют соединения с высокой окислительной способностью:





Образующиеся вещества обладают мощным дезинфицирующим свойством. Например, перекись водорода, выделяющаяся при протекании процесса радиолиза воды, является высоко реактивным веществом. При соприкосновении микробной клетки с молекулой перекиси происходит химическая реакция на поверхности клеточной стенки. Атомы кислорода H_2O_2 взаимодействуют с электронами молекул, образующих клеточную стенку микроорганизма. Это приводит к их разрушению и гибели клетки.

Говоря о косвенном воздействии ИИ, необходимо также упомянуть наличие молекул липидов в воде. Несмотря на то, что их содержание в воде сведено к минимуму, на этапе обеззараживания сточных вод они ещё присутствуют в воде. Липиды выступают в качестве инициаторов повреждений: под действием ИИ липиды выделяют свободные радикалы, дающие начало процессам перекисного окисления липидов [11].

1.4 Обоснование выбора модельного микроорганизма для изучения эффекта обеззараживания импульсным электронным пучком

Контроль качества очистки воды от живых форм микроорганизмов определяется ее соответствием нормативам по микробиологическим показателям, представленным в таблице 1. Данные таблицы взяты из МУ 2.1.5.800-99 [12], которые определяют состав сточных вод после их обеззараживания:

Таблица 1 – Микробиологические критерии эффективности обеззараживания [12]

Показатели	Допустимые остаточные уровни				
	сточные воды				шахтные воды
	отводимые в водные объекты	используемые для орошения	используемые в промышленном водоснабжении		
			системы		
закрытые			открытые		
Общие колиформные бактерии (КОЕ/100 мл), не более	100	1000	100	10	10

Выбор модельного микроорганизма *Escherihia coli* (кишечной палочки) для дальнейших исследований проводился на основе вышеприведенных данных. Кишечная палочка является представителем колиформных бактерий. «Бактерии группы *E. coli* дольше, чем патогенные микроорганизмы, сохраняют жизнеспособность во внешней среде, более устойчивы к воздействию хлора, чем возбудители большинства инфекций» [13]. Положительный результат роста микроорганизмов *E. coli* при проведении экспериментов по определению эффективности обеззараживания сточных вод свидетельствует о недостаточной степени очистки стоков. Поэтому было принято решение использовать суспензии *E. coli* разной концентрацией в качестве санитарно-показательных микроорганизмов. Модельная суспензия кишечной палочки в исследовании выступает как сточная вода, подвергшаяся очистке от химических и механических загрязнений, но не прошедшая стадию обеззараживания.

2 Объект и методы исследования

Объект исследования

Объектом исследования является вода, зараженная кишечной палочкой. В работе использован непатогенный штамм *Escherichia coli*, предоставленный Кафедрой микробиологии и вирусологии СибГМУ. Характеристика кишечной палочки представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика *Escherichia coli*

Таксономическое положение	Тип <i>Proteobacteria</i> Класс <i>Gammaproteobacteria</i> Порядок <i>Enterobacteriales</i> Семейство <i>Enterobacteriaceae</i> Род <i>Escherichia</i>
Морфология	Форма слегка изогнутой палочки с закругленными концами. Размеры: длина 2-6 мкм, ширина до 0,6 мкм. Обычно располагаются одиночно, но могут образовывать нитевидные скопления. Некоторые штаммы обладают перитрихально расположенными жгутиками и капсулой. Спор не образуют.
Окрас по Граму	Грамотрицательные, окрашиваются в розовый цвет
Культуральные свойства	Оптимальная температура роста 35-37 °С. Растут как на обычных средах (МПА, МПБ и др.), так и на селективных (среда Эндо, Левина и др.) из-за способности ферментировать лактозу. На ГРМ-агаре образуют небольшие колонии белого цвета и серым блеском, круглые с ровными краями
Биохимические свойства	Обладают высокой биохимической активностью по отношению к сахарам. Ферментируют глюкозу, лактозу, мальтозу, маннит и другие сахара с образованием кислоты и водорода.
Место обитания	Дистальный отдел кишечника млекопитающих, птиц, пресмыкающихся, рыб. Сохраняют долгую жизнеспособность в окружающей среде.

Оборудование

Обеззараживание загрязненной воды проводили на частотном импульсном ускорителе электронов «АСТРА-М», представленном на Фото 1.



Фото 1 – Ускоритель электронов «АСТРА-М» (Фото автора)

Аппарат был создан в стенах Томского политехнического университета, расположен в Научно-производственной лаборатории «Импульсно-пучковых, электроразрядных и плазменных технологий» Инженерной школы новых производственных технологий ТПУ. Основу конструкции составляет генератор высоковольтных импульсов. Длительность импульсов, генерируемых ускорителем электронов, достигает 1 мкс, а поддерживаемая частота не более 100 имп/с.

Микроконтроллерная система управления позволяет наблюдать за рабочими параметрами установки, вывод информации происходит на персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением. Это позволяет работать с ускорителем «АСТРА-М» как в ручном, так и в автоматическом режиме.

Ускоритель электронов «АСТРА-М» является сборкой из модулей электрических устройств, которые в комплексе образуют единую станину, применяемую для генерации ионизирующего излучения.

Функционально ускоритель электронов «АСТРА-М» разделен на следующие элементы:

- источник питания электрофизических нагрузок;
- генератор высоковольтных импульсов;
- вакуумный пост;
- вакуумный диод;
- система автоматики и самодиагностики;
- пульт управления.

Технические характеристики установки приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики импульсного ускорителя электронов «АСТРА-М»

№ п. п.	Наименование параметра	Значение параметра
Источник питания электрофизических нагрузок		
1.	Род питающего напряжения	переменное
2.	Напряжение питания, В	3×380
3.	Чистота питающей сети, Гц	50
4.	Максимальная мощность источника (изолированный выход ИНП), кВт	8
5.	Род напряжения на выходе	импульсное, однополярное
6.	Максимальное напряжение, кВ	регулируемое, до 40
7.	Число изолированных выходов	2
8.	Отклонение напряжение на выходе	± 0,5 %
Генератор высоковольтных импульсов		
9.	Максимальная мощность генератора, кВт	8
10.	Напряжение питания, кВ	импульсное, до 40
11.	Максимальное напряжение на выходе, кВ	до 500
12.	Род напряжения на выходе	импульсное, однополярное
13.	Максимальная чистота, имп./с	50

Исследование по обеззараживанию загрязненной воды проводилось при энергии пучка 10 Дж и частоте импульса 5 имп./с. Давление в вакуумной

камере составило 1,5 атм. Перечисленные параметры были подобраны сотрудниками научно-производственной лаборатории ИПЭПТ в результате проведения дополнительных исследований.

Методы исследования

Для проведения эксперимента по обеззараживанию воды, загрязненной микроорганизмами, выделяли чистую культуру кишечной палочки. Для этого готовили питательную среду ГРМ-агар согласно инструкции на упаковке и подвергали её стерилизации в автоклаве Tuttnauer 2340 МК. Затем подготавливали скошенный агар для посева кишечной палочки из коллекции микроорганизмов и выделения чистой суточной культуры. Посев проводили путём отбора небольшого количества биомассы клеток кишечной палочки из коллекции и посевом отобранного материала на подготовленный скошенный агар. Маркировали посеvy и оставляли на 18-24 ч при температуре 37 °С в термостате WiseCube WIG-155.

Все работы, которые выполнялись с использованием живых форм микроорганизмов, проводили в боксе биологической безопасности II класса Esco Streamline SC2-4A1 с соблюдением техники безопасности. Также для дополнительного обеспечения стерильности зоны работы с кишечной палочкой, посев проводился над пламенем горелки, что предотвращает осаждение микроорганизмов извне в радиусе 15-20 сантиметров.

Через сутки термостатирования приступали к приготовлению суспензии, зараженной кишечной палочкой, для проведения экспериментов по обеззараживанию загрязненной воды. Для этого делали смыв суточной культуры микроорганизмов со скошенного агара и определяли концентрацию смыва визуально по методике, представленной в ГФ РФ XIX [14]. Для приготовления модельной суспензии кишечной палочки объемом 100 мл получали смыв концентрацией $0,6 \times 10^9$ клеток/мл и далее по заранее рассчитанным методикам разводили полученный смыв до необходимой концентрации (от 10^3 до 10^6 клеток/мл) стерильной дистиллированной водой.

После приготовления модельной суспензии объемом 100 мл, содержащую кишечную палочку, делали контрольный посев на плотную питательную среду ГРМ-агар в чашку Петри методом поверхностного посева. Оставляли культивироваться на сутки в термостате при 37 °С.

Эксперименты по обеззараживанию воды проводили на частотном импульсном ускорителе электронов «АСТРА-М». Перед проведением опытов тракт обеззараживали и заполняли водопроводной водой объемом 4500 мл. Эксперимент проводили следующим образом. Сначала включали насос и запускали циркуляцию чистой водопроводной воды по тракту, через 20 минут отбирали пробу. Далее включали ускоритель электронов, запускали импульсный режим облучения и порционно каждые 20 минут добавляли небольшое количество суспензии в тракт. Перед добавлением новой порции суспензии брали пробу. Схема загрузки суспензии и последовательность отбора проб представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Последовательность отбора проб

Общее количество отобранных проб составило 8, из них две пробы (01 и 02) являются контрольными и были отобраны для проверки чистоты водопроводной воды и стерильности тракта соответственно. Пробы отбирали стерильным медицинским шприцом объемом 5 мл. Общая длительность эксперимента составляла 2 часа, объем облученной воды 4600 мл.

Схема загрузки бактериальной суспензии в тракт ускорителя разработана сотрудниками научно-производственной лаборатории ИПЭПТ в

результате проведения дополнительных исследований. Бак, в который наливали суспензию, представлен на Фото 2.



Фото 2 – Тракт с загрязненной водой (Фото автора)

После проведения эксперимента высеивали полученные пробы на ГРМ-агар согласно методике, приведенной в МУ 2.1.5.800-99 [12] на плотную питательную среду поверхностным методом посева в чашки Петри. Чашки маркировали и оставляли в термостате на сутки при температуре 37 °С.

Спустя сутки просматривали чашки с посевами, проводили подсчет выросших колоний и фиксировали результат. Эксперимент по облучению одной концентрации микроорганизмов проводили трижды. Таким образом, было проведено 15 экспериментов.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Разработка научного исследования (НИ) производится группой работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента (бакалавра).

Предмет исследования: метод обеззараживания воды импульсным пучком электронов.

Цель: определение конкурентоспособности, перспективности и экономической целесообразности исследования, а также оценка его эффективности.

Задачи:

1. Оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки НИ;
2. Осуществить планирование этапов выполнения исследования;
3. Рассчитать бюджет затрат на исследования;
4. Произвести оценку исследования с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

5.1 Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения научного исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для того, чтобы проанализировать потребителей результатов исследования, необходимо изучить целевой рынок и провести групповую дифференциацию покупателей по некоторым критериям, т.е. сегментировать рынок.

Потенциальными потребителями результатов исследования могут являться фармацевтические и биотехнологические производства, а также водоочистные станции.

Выбранные критерии для сегментирования рынка – отрасль и размер производств, в которых возможно применение разработанной технологии очистки вод.

Таблица 6 – Карта сегментирования рынка

		Отрасль производства		
		Фармацевтические производства	Биотехнологические производства	Водоочистные сооружения
Масштабы производства	Мелкие			
	Средние			
	Крупные			

Исходя из составленной карты сегментирования рынка, можно сделать вывод, что наиболее перспективными направлениями применения разработанного метода обеззараживания вод являются мелкие и средние водоочистные сооружения, а также средние и крупные фармацевтические производства.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Для проведения анализа с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения составляется оценочная карта (табл. 6.2), которая служит наглядным и структурированным инструментом для оценки сравнительной эффективности научного исследования и определения направления для её будущего повышения.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения проводился путём сравнения разрабатываемого решения (Био) с широко применяемыми методами обеззараживания на очистных станциях – обеззараживание химическим методом (Бх) и обеззараживание физическим методом (Бф).

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Оценочная карта для сравнения технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Био	Бх	Бф	Кио	Кх	Кф
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Эффективность	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
2. Безопасность	0,2	4	1	3	0,4	0,2	0,6
3. Экологичность	0,2	5	1	4	1	0,2	0,8
4. Экономия ресурсов	0,1	5	2	4	0,5	0,2	0,4
5. Универсальность	0,1	4	2	2	0,4	0,2	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
6. Бюджет разработки	0,1	5	3	4	0,5	0,4	0,3
7. Конкурентоспособность	0,1	4	4	4	0,4	0,3	0,3
Итого	1	31	17	25	4,0	2,3	3,4

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \times B_i; \quad (6.1)$$

где K – конкурентоспособность вида;

V_i – вес критерия (в долях единицы);

B_i – балл i-го показателя.

Опираясь на рассчитанные значения конкурентоспособности рассматриваемых методов, можно сделать вывод о том, что наиболее конкурентноспособным, перспективным и эффективным методом является разработанный метод обеззараживания вод импульсным облучением. Самые значимые конкурентные преимущества этого метода – экологичность, экономичность и относительно небольшие затраты.

5.1.3 SWOT-анализ разработанной стратегии

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

Первый этап SWOT-анализа заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Для этого предварительно разрабатывается матрица SWOT (таблица 8).

Таблица 8 – Матрица SWOT

Сильные стороны	Возможности
С1. Экологичность метода (отсутствие отходов). С2. Экономичность (затраты только на покупку электронного ускорителя). С3. Применение метода в разных отраслях промышленности (фармацевтические производства, очистные сооружения, биотехнологическая промышленность).	В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В2. Получение патента на разработку и доход от использования патента. В3. Снижение спроса на конкурентные разработки. В4. Разработка и модернизация научного исследования.
Слабые стороны	Угрозы
Сл 1. Высокая стоимость ускорителя электронов. Сл 2. Подвергание облучению работников. Сл 3. Невозможность применения метода для стерилизации сильно загрязненных вод.	У1. Выход из строя электронного ускорителя. У2. Отсутствие спроса ввиду новизны разработанного метода.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Для этого составляют интерактивную матрицу проекта (таблица 9). Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие).

Таблица 9 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта			Слабые стороны проекта		
		С1	С2	С3	Сл1	Сл2	Сл3
Возможности	В1	-	-	-	+	+	-
	В2	+	+	+	-	-	-
	В3	+	+	+	-	-	-
	В4	-	-	-	+	-	+
Угрозы	У1	-	-	-	-	-	-
	У2	+	+	+	+	-	-

На третьем этапе сделанные выводы оформляются в общую таблицу (таблица 10).

Коррелирующие сильные стороны с возможностями и угрозами проекта (таблица 9): В2С1С2С3, В3С1С2С3, У2С1С2С3.

Коррелирующие слабые стороны с возможностями и угрозами проекта (таблица 9): В1Сл1Сл2, В4Сл1Сл3.

Таблица 10 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны: С1. Экологичность метода (отсутствие отходов). С2. Экономичность (затраты только на покупку электронного ускорителя). С3. Применение метода в разных отраслях промышленности (фармацевтические производства, очистные сооружения, биотехнологическая промышленность).</p>	<p>Слабые стороны: Сл 1. Высокая стоимость ускорителя электронов. Сл 2. Подвержение облучению работников. Сл 3. Невозможность применения метода для стерилизации сильно загрязненных вод.</p>
<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В2. Получение патента на разработку и доход от использования патента. В3. Снижение спроса на конкурентные разработки. В4. Разработка и модернизация научного исследования.</p>	<p>Сильные стороны разработанной технологии обеззараживания позволяют получить патент на проведенное исследования, так как оно является перспективным и эффективным. Это даст возможность получать дополнительный доход от использования патента и тем самым расширять бюджет для проведения дальнейших исследований.</p>	<p>В качестве площадки для проведения работ по обеззараживанию вод возможно использовать лабораторию Научного парка ТПУ, что позволит сэкономить на покупке оборудования. Лаборатория оснащена защитой от воздействия ионизирующего излучения, что снижает негативный фактор воздействия излучения на персонал.</p>
<p>Угрозы: У1. Выход из строя электронного ускорителя. У2. Отсутствие спроса ввиду новизны разработанного метода.</p>	<p>Сильные стороны разработанной технологии обеззараживания позволяют дают большие конкурентные преимущества на рынке и иметь высокий спрос на пользование разработанной технологии.</p>	<p>Для минимизации угрозы выхода из строя ускорителя необходимо проводить техническое обслуживание оборудования и соблюдать правила эксплуатации.</p>

5.2 Планирование и формирование бюджета научных исследований

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа. Рабочая группа состоит из двух человек: исполнителем является студент (бакалавр) Асадова В. Т., руководителем – кандидат медицинских наук, доцент НОЦ Н.М. Кижнера Чубик М. В.

По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. Перечень этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Обзор материалов по теме	Студент
	3	Выбор направления, определение его целей и задач	Студент
	4	Календарное планирование работ в рамках исследования	Руководитель, Студент

Продолжение таблицы 11

Теоретические исследования	5	Поиск и изучение литературных источников	Студент
	6	Разработка методики оценки эффективности обеззараживания вод облучением импульсным пучком	Руководитель, Студент
Экспериментальные исследования	7	Проведение экспериментов по обеззараживанию вод и учёт результатов	Студент
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности и возможности применения разработанного метода для обеззараживания вод	Студент
Оформление отчета по НИР	9	Составление пояснительной записки	Студент

5.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, который зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож.і}$ используется следующая формула:

$$T_{ож.і} = \frac{3T_{min.і} + 2T_{max.і}}{5}; \quad (6.2)$$

где $t_{ож.і}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{min.і}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{max.і}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ по нескольким исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}; \quad (6.3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным представлением проведения научных работ является построение ленточного графика в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построение графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}; \quad (6.4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - (T_{вых} + T_{пр})}; \quad (6.5)$$

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

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

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

Расчет коэффициента календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})} = \frac{365}{365 - (104 + 14)} = 1,48$$

Таблица 12 – 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	$T_{\text{ож}}$, чел-дни			
1. Составление и утверждение технического задания	3	5	3,8	Руководитель	3,8	5,6
2. Обзор материалов по теме	7	10	8,2	Студент	8,2	12,1
3. Выбор направления, определение его целей и задач	3	4	3,4	Руководитель Студент	1,7	2,5
4. Календарное планирование работ в рамках исследования	2	3	2,4	Руководитель, Студент	1,2	1,8
5. Поиск и изучение литературных источников	14	17	15,2	Студент	15,2	22,5
6. Разработка методики оценки эффективности обеззараживания вод облучением импульсным пучком	3	5	3,8	Руководитель, Студент	1,9	2,8
7. Проведение экспериментов по обеззараживанию вод и учёт результатов	45	60	51	Студент	51	75,5
8. Оценка эффективности и возможности применения разработанного метода для обеззараживания вод	1	2	1,4	Руководитель Студент	0,7	1

Продолжение таблицы 12

9. Составление пояснительной записки	9	10	9,4	Студент	9,4	13,9
10. Написание раздела «Финансовый менеджмент»	7	10	13,7	Студент	13,7	20,3
11. Написание раздела «Социальная ответственность»	5	7	5,8	Студент	5,8	8,6
12. Оформление ВКР	7	10	17	Студент	17	25
Итого				Руководитель	9,3	13,8
				Студент	125,8	186

Для более полной иллюстрации графика и последовательности выполнения работ была составлена диаграмма Ганта, представленная в виде таблицы (таблица 13).

5.3 Бюджет научно-технического исследования

При разработке научно-технического решения необходимо планировать бюджет исследований. При формировании бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты
- затраты на специальное оборудование,
- основная и дополнительная заработная плата исполнителей,
- отчисления во внебюджетные фонды,
- накладные расходы.

5.3.1 Расчёт материальных затрат

При планировании бюджета научно-технического исследования должно обеспечиваться полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. Для этого проводится расчёт материальных затрат по формуле (6.6):

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (6.6)$$

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

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м^2 и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ м^2 и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы. Примем 3 % ($k_T = 0,03$) от стоимости оборудования.

Таблица 14 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Агар питательный сухой – ГРМ, 250 г	уп.	1	1	1	1655	1704,7	1704,7	1704,7
Колба коническая 250 мл	шт.	4	5	5	495	2039,4	2549,3	2549,3
Пробирка биологическая	шт.	20	20	20	50	1030,0	1030,0	1030,0
Наконечники 100-5000 мкл	уп.	1	1	1	1100	1133,0	1133,0	1133,0
Чашки Петри стеклянные нестерильные	шт.	8	8	8	58	477,9	477,9	477,9
Чашки Петри пластиковые стерильные	уп.	3	3	3	1380	4264,2	4264,2	4264,2
Спиртовка	шт.	1	1	1	648	667,4	667,4	667,4
Микробиологическая петля	шт.	1	1	1	30	30,9	30,9	30,9
Перчатки нитриловые, 100 шт.	уп.	1	1	1	747	769,4	769,4	769,4
Дезинфицирующее средство «Абактерил-хлор»	уп.	0	1	0	946	0	974,4	0
Гидроперит	уп.	0	0	3	72	0	0	74,1
Итого, руб.						12117	13601	12701

**исполнение 1 – обеззараживание импульсной обработкой электронным пучком, исполнение 2 – обеззараживание хлорированием, исполнение 3 – обеззараживание с применением раствора гидроперита.*

5.3.2 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных работ

В статью «Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ» включают все затраты, связанные с

приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ.

Стоимость оборудования, используемого при выполнении работ имеющегося в ТПУ, учитывается в виде амортизационных отчислений, если его стоимость больше 40 000 рублей, если меньше, то учитывается по полной стоимости.

Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле 6.7:

$$AO = \frac{C_{\text{пр}} \cdot T}{N \cdot 365}, (6.7)$$

где $C_{\text{пр}}$ – первоначальная стоимость оборудования, руб.;

T – количество дней использования оборудования (длительность эксперимента составляла 77 дней);

N – срок службы оборудования в годах.

Таблица 15 – Расчёт бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования, шт.			Цена единицы оборудования, руб.	Стоимость с учетом затрат на доставку и монтаж, руб	Срок службы, лет	Σ амортизац. отчисления, руб.
		Исп . 1	Исп . 2	Исп . 3				
1	Автоклав Tuttnauer 2340 МК	1	1	1	215 993	248 392	8	6 550
2	Бокс биологич. безопасности II класса Esco Streamline SC2-4A1	1	1	1	603 919	694 495	15	9 767

Продолжение таблицы 15

3	Термостат WiseCube WIG-155	1	1	1	163 466	187 986	5	7 931
4	Весы лабораторные KERN 440- 330N	1	1	1	23 214	26 696	8	–
5	Плитка нагревательна я HP-20D	1	1	1	21 784	25 052	3	–
Итого затраты на спец. оборудование, руб.:								75 996

5.3.3 Основная заработная плата исполнителя темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, участвующих в выполнении работ по данной теме (руководитель и бакалавр). В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от оклада. Расчет основной заработной платы участников исследования приведён в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	3,8	3579	13600,2
2	Обзор материалов по теме	Бакалавр	8,2	518	4247,6
3	Выбор направления, определение его целей и задач	Руководитель Бакалавр	3,4	3579 518	12168,6 1761,2

Продолжение таблицы 16

4	Календарное планирование работ в рамках исследования	Руководитель Бакалавр	2,4	3579 518	8589,6 1243,2
5	Поиск и изучение литературных источников	Бакалавр	15,2	518	7873,6
6	Разработка методики оценки эффективности обеззараживания	Руководитель Бакалавр	3,8	3579 518	13600,2 1968,4
7	Проведение экспериментов по обеззараживанию вод и учёт результатов	Бакалавр	51	518	26418
8	Оценка эффективности и возможности применения разработанного метода для обеззараживания вод	Руководитель Бакалавр	1,4	3579 518	5010,6 725,2
9	Составление пояснительной записки	Руководитель Бакалавр	9,4	3579 518	33642,6 4869,2
10	Написание раздела «Финансовый менеджмент»	Бакалавр	13,7	518	7096,6
11	Написание раздела «Социальная ответственность»	Бакалавр	5,8	518	3004,4
12	Оформление ВКР	Бакалавр	17	518	8806
Итого, руб.:	154625				

Статья «Заработная плата» включает основную и дополнительную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, и рассчитывается по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (6.8)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12–20 % от $Z_{осн}$), руб.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (6.9)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника, руб.;

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (данные из табл. 6.7).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (6.10)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5–дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6–дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 17).

Таблица 17 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	118	118
- праздничные дни		
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	63
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	184

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p \quad (6.11)$$

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

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

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 $Z_{тс}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для г. Томск).

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	Доцент	35120	0,3	0,2	1,3	68484	3579	24,2	86611,8
Бакалавр	Инженер	4650	0,3	0,2	1,3	9067,5	518	131,3	68013,4
Итого $Z_{осн}$									154625

5.3.4 Расчёт дополнительной заработной платы

Дополнительная заработная плата учитывает 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.).

Расчёт дополнительной заработной платы осуществляется по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (6.12)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, принятый на стадии проектирования равным 0,15.

Таблица 19 – Заработная плата

Заработная плата	Руководитель	Бакалавр
Основная заработная плата $Z_{осн}$	86611,8	68013,4
Дополнительная заработная плата $Z_{доп}$	12991,8	10202
Заработная плата $Z_{зп}$	99603,6	78215,4
Итого по статье «Заработная плата»	177819	

5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления в органы государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (6.13)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). Для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	86611,8	12991,8
Бакалавр	68013,4	10202
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого во внебюджетные фонды	48188,9	

5.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов, такие как канцелярские принадлежности, печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Их величина определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \cdot k_{\text{нр}} \quad (6.14)$$

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

Принят в размере 16 %.

Накладные расходы для исполнения 1 (обеззараживание импульсной обработкой) составили:

$$Z_{\text{накл}} = (12117 + 75996 + 154625 + 23193,8 + 48188,9) \cdot 0,16 = 50\,259 \text{ руб.}$$

Накладные расходы для исполнения 2 (обеззараживание хлорированием) составили:

$$Z_{\text{накл}} = (13601 + 75996 + 154625 + 23193,8 + 48188,9) \cdot 0,16 = 50\,497 \text{ руб.}$$

Накладные расходы для исполнения 3 (обеззараживание с применением раствора гидроперита) составили:

$$Z_{\text{накл}} = (12701 + 75996 + 154625 + 23193,8 + 48188,9) \cdot 0,16 = 50\,353 \text{ руб.}$$

5.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

На основании рассчитанных величин затрат составлен бюджет ВКР «Обеззараживание воды импульсной обработкой электронным пучком на ускорителе АСТРА-М», представленный в таблице 21. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 21 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	
1. Материальные затраты НТИ	12117	13601	12701	Пункт 6.3.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	75996	75996	75996	Пункт 6.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	154625	154625	154625	Пункт 6.3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	23193,8	23193,8	23193,8	Пункт 6.3.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	48188,9	48188,9	48188,9	Пункт 6.3.5
6. Накладные расходы	50259	50497	50353	Пункт 6.3.6
7. Бюджет затрат НТИ	364379,7	366101,7	365057,7	Σ статей

5.4 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.

1. Интегральный показатель финансовой эффективности

Данный показатель научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат нескольких вариантов исполнения научно-исследовательского проекта.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется по формуле:

$$I_{\Phi}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (6.15)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта, руб.

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп1}} = \frac{364379,7}{366101,7} = 0,995;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп2}} = \frac{366101,7}{366101,7} = 1;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп3}} = \frac{365057,7}{366101,7} = 0,997$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

2. Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов

Данный показатель исполнения объекта исследования можно определить по формуле:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \times b_i \quad (6.16)$$

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 пятибалльной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведён в таблице 22.

Таблица 22 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Балльная оценка		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Эффективность	0,2	4	4	4
2. Безопасность	0,2	4	3	2
3. Экологичность	0,3	5	2	2
4. Экономия ресурсов	0,2	5	3	3
5. Универсальность	0,1	3	4	4
Итого	1	4,4	3,0	3,2

**исполнение 1 – обеззараживание импульсной обработкой электронным пучком, исполнение 2 – обеззараживание хлорированием, исполнение 3 – обеззараживание с применением раствора гидроперита.*

3. Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Данный показатель определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{испi} = \frac{I_{pi}}{I_{\phi}} \quad (6.17)$$

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{I_{\text{р-исп1}}}{I_{\text{ф}}^{\text{исп1}}} = \frac{4,4}{0,995} = 4,42;$$

$$I_{\text{исп.2}} = \frac{I_{\text{р-исп2}}}{I_{\text{ф}}^{\text{исп2}}} = \frac{3,0}{1} = 3,0.$$

$$I_{\text{исп.3}} = \frac{I_{\text{р-исп1}}}{I_{\text{ф}}^{\text{исп1}}} = \frac{3,2}{0,997} = 3,2;$$

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

4. Сравнительная эффективность проекта

Этот показатель рассчитывается по формуле:

$$Э_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп2}}}{I_{\text{исп1}}} \quad (6.18)$$

Полученные результаты расчётов показателей заносятся в таблицу 23.

Таблица 23 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,995	1	0,997
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,4	3,0	3,2
3	Интегральный показатель эффективности	5,08	2,87	3,1
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,56	0,61

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет определить, что реализация технологии в первом исполнении при помощи обработки импульсным электронным пучком, представленная в данной бакалаврской работе, является более предпочтительным решением поставленной задачи обеззараживания вод с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Выводы по разделу

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были решены следующие задачи:

1) Проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования. Были определены потенциальные потребители результатов исследования, проанализированы конкурентные технические решения и выполнен SWOT-анализ. В результате установлено, что данное исследование конкурентоспособно, его основными преимуществами являются экологичность, экономичность и относительно небольшие затраты.

2) Выполнено планирование научно-исследовательских работ, в процессе которого разработан план-график в форме диаграммы Ганта и установлена длительность работ, которая в календарных днях составила 186 дней.

3) Рассчитан бюджет исследования: для обеззараживания вод обработкой импульсным электронным пучком - 364379,7 рублей, обеззараживания хлорированием - 366101,7 рублей, обеззараживания раствором гидроперита - 365057,7 рублей.

4) Произведена оценка исследований с позиции финансовой и ресурсной эффективности: более эффективным является вариант обеззараживания вод импульсной обработкой электронным пучком по разработанной технологии.

Исследование является экономически обоснованным и востребованным, имеет актуальность и перспективу для дальнейшей разработки и реализации.