

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
Оценка риска возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях	

УДК 614.8:621.221

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
IE81	Шарапова Юлия Станиславовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вторушина А.Н.	к.х.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

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	Авдеева И.И.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вторушина А.Н.	к.х.н.		

Томск – 2022 г.

Планируемые результаты освоения образовательной программы по направлению 20.03.01 Техносферная безопасность

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 учитывать современные тенденции развития техники и технологий в области обеспечения техносферной безопасности, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Способность использовать основы экономических знаний при оценке эффективности результатов профессиональной деятельности
ОПК(У)-3	Способность ориентироваться в основных нормативно-правовых актах в области обеспечения безопасности
ОПК(У)-4	Способность пропагандировать цели и задачи обеспечения безопасности человека и окружающей среды
ОПК(У)-5	Готовность к выполнению профессиональных функций при работе в коллективе
ДОПК(У)-1	Способность ориентироваться в основных методах и системах обеспечения техносферной безопасности, обоснованно выбирать известные устройства, системы и методы защиты человека и окружающей среды от опасностей
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-9	Готовность использовать знания по организации охраны труда, охраны окружающей среды и безопасности в чрезвычайных ситуациях на объектах экономики
ПК(У)-10	Способность использовать знание организационных основ безопасности различных производственных процессов в чрезвычайных ситуациях
ПК(У)-11	Способность организовать, планировать и реализовать работу исполнителей по решению практических задач обеспечения безопасности человека и окружающей среды
ПК(У)-12	Способность применять действующие нормативные правовые акты для решения задач обеспечения объектов защиты
ПК(У)-14	Способность определять нормативные уровни допустимых негативных воздействий на человека и окружающую среду
ПК(У)-15	Способность проводить измерения уровней опасностей в среде обитания, обрабатывать полученные результаты, составлять прогнозы возможного развития ситуации
ПК(У)-16	Способность анализировать механизмы воздействия опасностей на человека, определять характер взаимодействия организма человека с опасностями среды обитания с учетом специфики механизма токсического действия вредных веществ, энергетического воздействия и комбинированного действия вредных факторов
ПК(У)-17	Способность определять опасные, чрезвычайно опасные зоны, зоны приемлемого риска
ПК(У)-18	Готовность осуществлять проверки безопасного состояния объектов различного назначения, участвовать в экспертизах их безопасности, регламентированных действующим законодательством Российской Федерации

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
20.03.01 Техносферная безопасность
_____ А.Н. Вторушина
04.02.2022 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
1E81	Шараповой Юлии Станиславовне

Тема работы:

Оценка риска возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях

Утверждена приказом директора (дата, номер) 12.01.2022 №12-30/с

Срок сдачи студентом выполненной работы: 02.06.2022 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Гидроэлектростанция, расположенная на севере Красноярского края. Режим работы непрерывный, так как работа осуществляется круглосуточно.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Аналитический обзор литературных источников по условиям безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений ГЭС и причинам аварийных ситуаций на объектах такого типа. Составление вариационной модели развития ЧС на исследуемом объекте. Проведение расчетов с целью определения масштаба последствий в результате образования прорана в теле и/или основании плотины. Предложение инженерно-технических мероприятий направленных на предупреждение ЧС.
Перечень графического материала	Таблицы, рисунки
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов Магеррам Али оглы
Социальная ответственность	Авдеева Ирина Ивановна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной 04.02.2022 г.

квалификационной работы по линейному графику	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вторушина А.Н.	к.х.н.		04.02.2022 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1E81	Шарапова Юлия Станиславовна		04.02.2022 г.

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
Уровень образования бакалавриат
Отделение контроля и диагностики
Период выполнения весенний семестр 2021/2022 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	02.06.2022 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
07.03.2022 г.	Разработка раздела «Обзор литературы», подбор литературы, проведение теоретических обоснований	20
21.03.2022 г.	Разработка раздела «Объект и методы исследования», рассмотрение методов оценки рисков	10
04.04.2022 г.	Раздел «Практическая часть», возможные аварийные ситуации и их расчет	15
18.04.2022 г.	Раздел «Практическая часть», оценка рисков на основе полученных результатов	15
09.05.2022 г.	Раздел «Практическая часть», предложение инженерно-технических мероприятий	10
20.05.2022 г.	Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
02.06.2022 г.	Оформление и представление ВКР	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вторушина А.Н.	к.х.н.		04.02.2022

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вторушина А.Н.	к.х.н.		04.02.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1E81	Шараповой Юлии Станиславовне

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	Отделение контроля и диагностики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

Тема ВКР:

Оценка риска возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение	<i>Объект исследования:</i> Крановщик мостового крана грузоподъемностью 525 тонн, который находится в машинном зале гидроэлектростанции. <i>Область применения:</i> энергетика, гидроэлектростанции. <i>Рабочая зона:</i> производственное помещение. <i>Размеры помещения:</i> 331*29 м. <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> Гидроагрегат – 9 шт., мостовой кран – 2 шт., сосуда под давлением – 18 шт. <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> Строительно-монтажные и ремонтные работы в период эксплуатации гидроэлектростанции.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:	Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения», утвержденные приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 ноября 2020г. № 461; ТК РФ Статья 351.6. Особенности регулирования труда работников в сфере электроэнергетики, сфере теплоснабжения, в области промышленной безопасности, области безопасности гидротехнических сооружений; Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда».
2. Производственная безопасность при эксплуатации:	Опасные факторы: 1. Действие силы тяжести в тех случаях, когда оно может вызвать падение работающего с высоты; 2. Электрический ток, вызываемый разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий; 3. Короткое замыкание в электроустановке; 4. Ударные волны воздушной среды; Вредные факторы: 1. Повышенный уровень локальной вибрации; 2. Повышенный уровень шума; 3. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; 4. Производственные факторы, связанные с аномальными

	микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего; 5. Монотонность труда, вызывающая монотонию; 6. Активное наблюдение за ходом производственного процесса; 7. Длительное сосредоточенное наблюдение. Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: виброизолирующие рукавицы, перчатки, виброизолирующая обувь, беруши, наушники, защитная каска.
3. Экологическая безопасность при эксплуатации:	Воздействие на селитебную зону: катастрофическое затопление территории. Размеры и границы санитарно-защитной зоны в северном направлении - 200 м, в северо-восточном направлении - 130 м, в юго-восточном направлении - 75 м, в южном направлении - 35 м, в юго-западном направлении - 200 м, в остальных направлениях – 1м. Воздействие на литосферу: смыв плодородного слоя почвы. Воздействие на гидросферу: ухудшение условий существования флоры и фауны реки. Воздействие на атмосферу: -
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации:	Возможные ЧС: Природные катастрофы (наводнения, ураган и т.д.); Геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.); Техногенные аварии (отказ систем безопасности; недостаточная пропускная способность водосбросов, потеря внешнего электропитания, пожар, разрушение основания плотины, нарушение водонепроницаемости противодиффузионного элемента плотины) Наиболее типичная ЧС: разрушение основания плотины.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Авдеева И. И.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Е81	Шарапова Юлия Станиславовна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1E81	Шараповой Юлии Станиславовне

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	Отделение контроля и диагностики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценка конкурентоспособности НИ*
2. *Матрица SWOT*
3. *Диаграмма Ганта*
4. *Бюджет НИ*
5. *Основные показатели эффективности НИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

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
1E81	Шарапова Юлия Станиславовна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 97 страниц, 14 рисунков, 34 таблицы, 36 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, гидроэлектростанция, оценка риска, затопление нижнего бьефа, чрезвычайная ситуация.

Объектом исследования является гидроэлектростанция с установленной мощностью 2997 МВт и производством электроэнергии 17,6 млрд. кВтч в год, объёмом водохранилища – 58220 тыс. м³, площадью водохранилища 2326 км².

Цель работы – оценка риска возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях.

В процессе исследования проводился анализ возможных потенциальных опасностей на гидротехнических сооружениях гидроэлектростанции, которые могут вызвать затопление нижнего бьефа. На основании анализа была построена вероятностная модель затопления нижнего бьефа. Оценена степень разрушения зданий в городе, железнодорожного и автомобильного мостов и дорог с гравийным, асфальтовым и бетонным покрытием при образовании прорана в теле и/или основании плотины.

В результате исследования были предложены мероприятия, направленные на предупреждение возникновения чрезвычайной ситуации и повышение уровня безопасности исследуемого объекта.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ГТС - гидротехническое сооружение;

ЧС - чрезвычайная ситуация;

ГЭС – гидроэлектростанция;

КНП – каменно-набросная плотина;

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

АСР - аварийно-спасательные работы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Реферат	9
Список сокращений	10
Введение	13
1. Обзор литературы	16
1.1. Характеристики гидротехнических сооружений (объектов).....	16
1.2. Обзор крупнейших аварий на гидротехнических сооружениях, ГЭС и их последствий.....	20
1.3. Основные причины аварий на гидротехнических сооружениях, ГЭС	23
2. Объект и методы исследования	28
2.1. Объект исследования	28
2.2. Методы исследования.....	30
3. Практическая часть	32
3.1. Анализ основных причин реализации ЧС на гидротехнических сооружениях ГЭС	32
3.2. Моделирование типовых сценариев развития ЧС	38
4. Результаты и их обсуждение.....	41
4.1 Экспертная оценка факторов и событий, приводящих к ЧС	41
4.2. Расчет вероятных зон действия поражающих факторов	46
4.3. Разработка рекомендаций по снижению вероятности реализации ЧС	49
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	51
5.1. Предпроектный анализ	51
5.2. Планирование научно-исследовательских работ.....	58
5.3. Бюджет затрат.....	63
5.4. Определение эффективности исследования.....	69
5.5. Вывод по разделу финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	71
6. Социальная ответственность	73
6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	73
6.2. Производственная безопасность.....	75
6.3. Экологическая безопасность.....	81

6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	82
6.5. Вывод.....	83
Заключение	84
Список литературы	86
Приложение А	90
Приложение Б	92
Приложение В.....	94

ВВЕДЕНИЕ

Гидротехнические сооружения находятся в сложных условиях эксплуатации. Это обусловлено тем, что на них оказывает большое воздействие воздушная и водная среда, а в частности: волны, лед, атмосферные осадки, повышенная или пониженная температура, землетрясения и так далее. Возможные аварии на ГТС и их тяжелые катастрофические последствия предъявляют повышенные требования к их эксплуатации.

Функционирование надежно запроектированного и качественно построенного ГТС со временем может быть нарушено, это может стать результатом нарушения правил технической эксплуатации или постепенного износа сооружения под воздействием непредвиденных стихийных и природных факторов.

Разрушение ГТС представляет угрозу населению, природным и хозяйственным объектам, инфраструктуре и др. Рост опасности повреждения и разрушения гидросооружений заставляет обратить внимание на важность их эксплуатации [1].

Аварии и катастрофы на потенциально опасных объектах ежегодно уносят десятки тысяч жизней и требуют не только экстренных мер по их ликвидации, но, главное, знаний и умений каждого, решительных и осмысленных действий руководящего состава всех уровней в сложившихся ЧС [2].

Работа посвящена актуальной проблеме снижения вероятности реализации ЧС на гидротехнических сооружениях ГЭС.

Целью работы является оценка риска возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд **задач**:

1. Проанализировать основные причины реализации ЧС на гидротехнических сооружениях ГЭС;

2. Оценить вероятности реализаций основных причин, приводящих к ЧС на гидротехнических сооружениях ГЭС;

3. Провести моделирование возможных сценариев развития ЧС;

4. Рассчитать вероятные зоны действия поражающих факторов.

Объект исследования - гидроэлектростанция с установленной мощностью 2997 МВт и производством электроэнергии 17,6 млрд. кВтч в год, объёмом водохранилища – 58220 тыс. м³, площадью водохранилища 2326 км².

Предмет исследования - риск возникновения ЧС на гидротехнических сооружениях ГЭС.

Девять синхронных гидрогенераторов, которые расположены в здании ГЭС являются источником выработки электрической энергии. Сырьем для выработки электрической энергии является вода. Бетонная и каменно-набросная плотины обеспечивают аккумулярование воды в водохранилище, за счет боковой приточности рек, впадающих в основное русло реки Ангара и попусков воды вышестоящих ГЭС Ангарского Каскада. За счет разности уровней воды в верхнем и нижнем бьефах создается напор (потенциальная энергия воды) необходима для обеспечения вращения гидротурбины.

За прошедший век в мире зафиксировано более 1000 аварий на крупных ГТС. Проанализировав данные аварии, можно увидеть, что основными причинами являются: недостаточная пропускная способность водосбросов и разрушение основания. К примеру, в период с 1902 по 1977 гг., согласно статистике, приходится около 300 аварий на ГТС в разных странах. Перелив через плотину фиксируется как основная причина аварий (35 процентов случаев). Статистика аварийности на ГТС говорит о необходимости применения эффективных мер для безопасного функционирования ГТС, этим и обусловлена актуальность данной темы.

В данной работе планируется рассмотреть сценарии возможных аварий на ГТС ГЭС, такие как: образование прорана в теле плотины и затопление нижнего бьефа; разрушение гидроагрегата, затопление машинного зала, прекращение выработки электроэнергии; перелив через гребень плотины и подтопление нижнего бьефа и другие. Будет проведён анализ их причин возникновения и последствия реализации ЧС. Также планируется рассчитать

вероятные зоны действия поражающих факторов при реализации самого вероятного сценария развития ЧС и оценить степень разрушения зданий, сооружений, дорог в близлежащих населенных пунктах, расположенных вниз по течению реки. На основании проведенного анализа будут предложены наиболее эффективные мероприятия по снижению вероятности реализации ЧС на рассматриваемом объекте.

Таким образом, в результате проведенных исследований будет оценен риск реализации ЧС и предложен перечень мероприятий по снижению вероятности реализации ЧС на ГЭС гидроэлектростанции.

1.ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1.Характеристики гидротехнических сооружений (объектов)

Гидротехнические сооружения - плотины, здания гидроэлектростанций, водосбросные, водоспускные и водовыпускные сооружения, туннели, каналы, насосные станции, судоходные шлюзы, судоподъемники; сооружения, предназначенные для защиты от наводнений, разрушений берегов и дна водохранилищ, рек; сооружения (дамбы), ограждающие хранилища жидких отходов промышленных и сельскохозяйственных организаций; устройства от размывов на каналах, а также другие сооружения, здания, устройства и иные объекты, предназначенные для использования водных ресурсов и предотвращения негативного воздействия вод и жидких отходов, за исключением объектов централизованных систем горячего водоснабжения, холодного водоснабжения и (или) водоотведения [3], предусмотренных [4].

Согласно [5] предусмотрено деление ГТС на 4 класса опасности:

I класс - чрезвычайно высокой опасности;

II класс - высокой опасности;

III класс - средней опасности;

IV класс - низкой опасности.

Классификация осуществляется в зависимости от:

- **высоты и типа грунта оснований** (таблица 1);

Таблица 1 - Класс ГТС в зависимости от высоты и типа грунта основания

Тип ГТС	Тип грунта	Высота ГТС (м)			
		I	II	III	IV
1. Плотины из грунтовых материалов, сооружения, предназначенные для использования водных ресурсов и предотвращения негативного воздействия вод и жидких отходов объектов тепловой энергетики	A	> 80	50-80	20-50	< 20
	Б	> 65	35-65	15-35	< 15
	В	> 50	25-50	15-25	< 15
2.Плотины бетонные, железобетонные, подводные конструкции зданий гидроэлектростанций, судоходные шлюзы, судоподъемники и другие сооружения, участвующие в создании напорного фронта	A	> 100	60-100	25-60	< 25
	Б	> 50	25-50	10-25	< 10
	В	> 25	20-25	10-20	< 10
3. Подпорные стены	A	> 40	25-40	15-25	< 15
	Б	> 30	20-30	12-20	< 12

	В	> 25	18-25	10-18	< 10
4.Береговые укрепления, струенаправляющие и наносоудерживающие дамбы и другие	А, Б, В		> 15	15 и <	-
5.Ограждающие сооружения хранилищ жидких отходов	А, Б, В	> 50	20-50	10-20	< 10
6.Оградительные сооружения, ледозащитные сооружения	А, Б, В	> 25	5-25	< 5	-
7. Сухие и наливные доки, наливные док-камеры	А	-	> 15	15 и <	-
	Б, В	-	> 10	10 и <	-

Примечания: 1. Грунты подразделяются на:

А - скальные;

Б - песчаные, крупнообломочные и глинистые в твердом и полутвердом состоянии;

В - глинистые водонасыщенные в пластичном состоянии.

2. Высота ГТС и оценка его основания определяются по проектной документации.

3. В позиции 6 вместо высоты ГТС принимается глубина акватории у основания ГТС.

- **назначения и условий эксплуатации** (таблица 2);

Таблица 2 - Классы ГТС в зависимости от их назначения и условий эксплуатации

ГТС	Класс ГТС
1. Подпорные ГТС мелиоративных гидроузлов при объеме водохранилища, млн. м³:	
> 1000	I
200-1000	II
50-200	III
50 и меньше	IV
2. ГТС гидравлических, гидроаккумулирующих и приливных электростанций установленной мощностью, МВт:	
> 1500	I
300-1500	II
10-300	III
10 и меньше	IV
3. ГТС атомных электростанций независимо от мощности	I
4. ГТС и судоходные каналы на внутренних водных путях (кроме ГТС речных портов):	
сверхмагистральных	II
магистральных и местного значения	III

5. ГТС мелиоративных систем при площади орошения и осушения, обслуживаемой сооружениями, тыс. га:	
> 300	I
100-300	II
50-100	III
50 и меньше	IV
6. Каналы комплексного водохозяйственного назначения и ГТС на них при суммарном годовом объеме водоподачи, млн. м ³ :	
> 200	I
100-200	II
20-100	III
< 20	IV
7. Строительные и подъемно-спусковые ГТС для судов со спусковой массой, тыс. тонн:	
> 30	I
3,5-30	II
3,5 и меньше	III
8. Стационарные ГТС средств навигационного оборудования	I
9. Временные ГТС, используемые на стадиях строительства, реконструкции и капитального ремонта постоянных ГТС	III
10. Берегоукрепительные ГТС	III

Примечания: 1. Класс ГТС установленной мощностью менее 1500 МВт, указанных в позиции 2, повышается на единицу в случае, если электростанции изолированы от энергетических систем.

2. Класс ГТС, указанных в позиции 6, повышается на единицу для каналов, транспортирующих воду в засушливые регионы в условиях сложного гористого рельефа.

3. Класс ГТС участка канала от головного водозабора до первого регулирующего водохранилища, а также участков канала между регулирующими водохранилищами, предусмотренных позицией 6, понижается на единицу в случае, если водоподача основному водопотребителю в период ликвидации последствий аварии на канале может быть обеспечена за счет регулирующей емкости водохранилищ или других источников.

4. Класс ГТС, указанных в позиции 7, повышается на единицу в зависимости от сложности строящихся или ремонтируемых судов.

- **максимального напора на водоподпорное сооружение (таблица 3);**

Таблица 3 - Классы защитных ГТС в зависимости от максимального напора на водоподпорное сооружение

Защищаемые территории и объекты	Максимальный расчетный напор (м)			
	I	II	III	IV
1. Селитебные территории с плотностью жилого фонда на территории возможного частичного или полного разрушения при аварии на водоподпорном сооружении, 1 м ² на 1 га:				
> 2500	> 5	3-5	до 3	-
2100-2500	> 8	5-8	2-5	до 2
1800-2100	> 10	8-10	5-8	до 5
< 1800	> 15	10-15	8-10	до 8
2. Объекты оздоровительно-рекреационного и санитарного назначения (не попадающие в позицию 1)	-	> 15	10-15	до 10
3. Объекты с суммарным годовым объемом производства и/или стоимостью единовременно хранящейся продукции, млрд. рублей:				
> 5	> 5	2-5	до 2	-
1-5	> 8	3-8	2-3	до 2
< 1	> 8	5-8	3-5	до 3
4. Памятники культуры и природы	> 3	до 3	-	-

- последствий возможных гидродинамических аварий (таблица 4).

Таблица 4 - Классы ГТС в зависимости от последствий возможных гидродинамических аварий

Класс ГТС	Число постоянно проживающих людей, которые могут пострадать от аварии ГТС (человек)	Число людей, условия жизнедеятельности которых могут быть нарушены при аварии ГТС (человек)
I	> 3000	> 20000
II	500-3000	2000-20000
III	до 500	до 2000
IV	-	-

По цели использования и характеру существуют следующие виды ГТС: водно-энергетические, для водоснабжения, мелиоративные, канализационные, воднотранспортные, декоративные, лесоплавильные, спортивные, рыбохозяйственные [6].

По условиям использования все ГТС мелиоративных систем, гидроэлектростанций и речного транспорта, согласно [7], разделяются на постоянные и временные.

Постоянные — это ГТС, которые используются при непрерывной эксплуатации объекта. В свою очередь, к временным можно отнести сооружения, которые применяются при временной эксплуатации, строительстве или ремонта объекта.

На рисунке 1 представлена схема классификации ГТС по функциональному назначению.

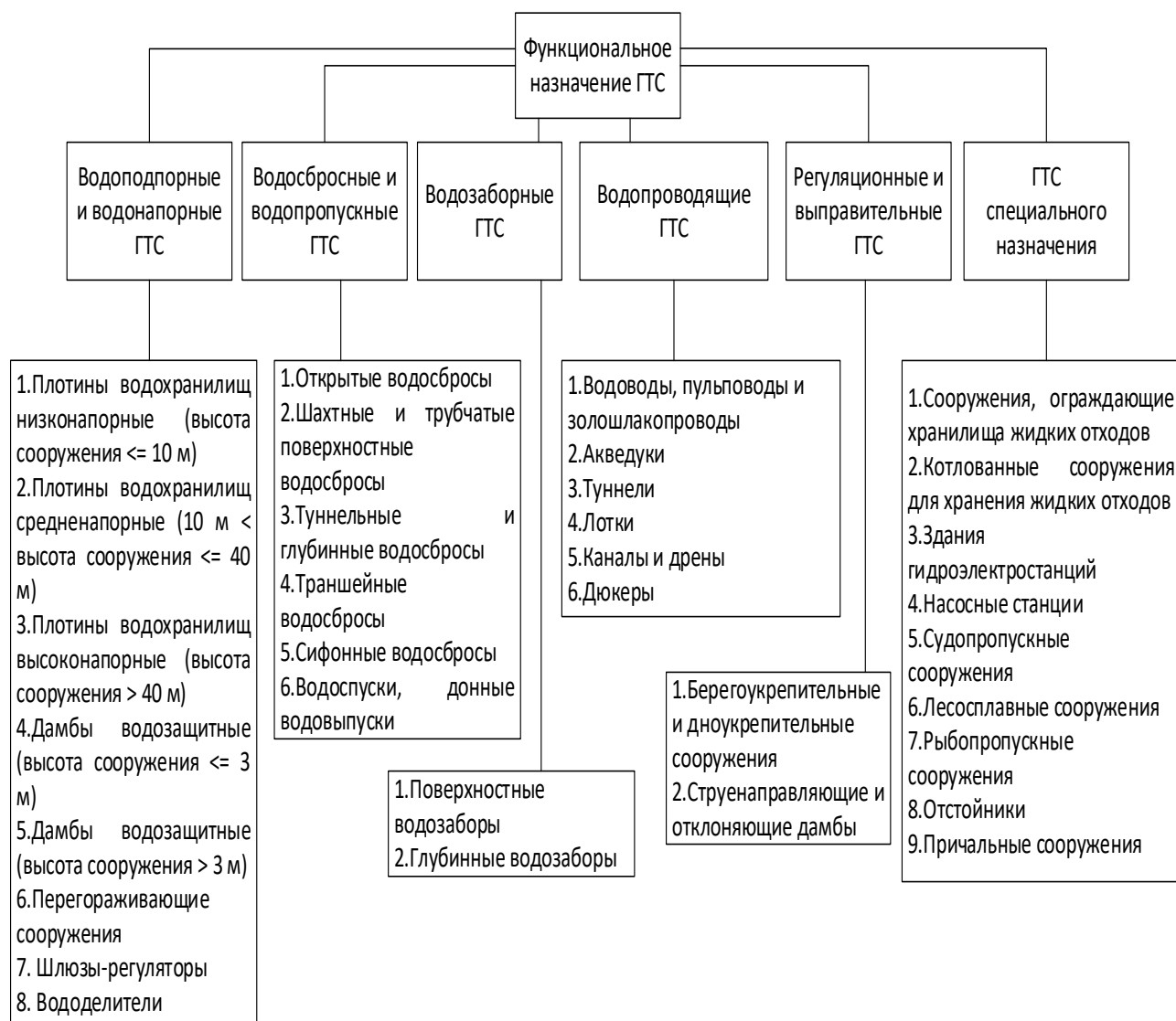


Рисунок 1 – Схема классификации ГТС по функциональному назначению

1.2. Обзор крупнейших аварий на гидротехнических сооружениях, ГЭС и их последствий

Авария ГТС — это опасное техногенное происшествие, создающее угрозу жизни и здоровью людей, приводящее к разрушению зданий, сооружений, оборудования и коммуникаций, нарушению производственных и

транспортных процессов, нанесению ущерба окружающей природной среде [8]. Принято различать разрушения и повреждения ГТС. Под разрушением понимается катастрофический выход объекта из строя, обычно связанный с прорывом напорного фронта; под повреждением – опасные отклонения от эксплуатационных требований, требующих неотложных ремонтных мероприятий [9].

Последствиями гидродинамических аварий являются [10]:

- повреждение и разрушение гидроузлов и кратковременное или долговременное прекращение выполнения ими своих функций;
- поражение людей и разрушение сооружений волной прорыва, образующейся в результате разрушения ГТС, имеющей высоту 2 - 12 м и скорость движения 3 - 25 км/ч (горные районы – до 100 км/ч);
- катастрофическое затопление обширных территорий слоем воды 0,5 - 10 м и более.

В настоящее время существуют регламенты и стандарты, по которым должны долговременно и безопасно эксплуатироваться ГТС, но так было не всегда. К примеру, несколько десятилетий назад, были не совершенны системы безопасности, что являлось причиной для катастрофических аварий и их разрушительных последствий, которые унесли жизни многих людей.

Рассмотрим наиболее крупные аварии на ГТС.

Плотина Глено, Италия (1 декабря 1923 года). Причиной аварии стало плохое качество работы и материалов при постройке сооружения из-за плохого финансирования проекта. Рухнула центральная часть плотины, в результате чего 4,5 млн. м³ накрыло населенные пункты, погибло 356 человек, а также нанесен существенный ущерб инфраструктуре (дорогам, зданиям, мостам).

Плотина Сент-Фрэнсис, США (12 марта 1928 года). При расследовании причины аварии стало ясно, что была ошибка в проектировании, то есть место, на котором размещался фундамент было неустойчиво. Позднее оказалось, что плотина находилась на древнем разломе, вода просачивалась и

из-за этого разлом начал движение, в результате чего плотина рухнула, затопив несколько населенных пунктов, более 600 человек погибло.

Плотина Мальпасе, Франция (2 декабря 1959 года). Причиной аварии стала низкая пропускная способность водосбросов, чему послужил начавшийся сезон дождей в регионе, вследствие чего произошло обрушение плотины, волна высотой 40 м и скоростью 70 км/ч уничтожила две деревни и половину города Фрежюс. В результате разрушения плотины без вести пропало и погибло 423 человека (по официальным данным).

Плотина Вайнот, Италия (9 октября 1963 года). Причиной аварии стал оползень (длинной 2 км, площадью 2 км² и объемом 0,2-0,3 км³), который сошел в водохранилище, горный массив вызвал перелив водной массы через гребень плотины (более 50 млн. м³). Напор воды около 90 м высотой и скоростью 8-12 м/с, смыл несколько населенных пунктов, в результате аварии погибло более 2000 жителей.

Саяно-Шушенская ГЭС, Россия (17 августа 2009 года). Причиной аварии стало несоответствующее качество работы гидроагрегата №2, произошло разрушение шпильки крышки турбины из-за динамических нагрузок и разгерметизация. Огромный напор воды затопил машинный зал, все помещения под ним, ремонтные мастерские, оставшиеся агрегаты вышли из строя, станция оказалась полностью обесточена. В результате катастрофы погибло 75 сотрудников станции. Помимо человеческих жертв, авария нанесла непоправимый вред экологии. После сбоя гидроагрегата и затопления машинного зала, 40 тонн машинного масла вылилось в реку Енисей, из-за чего образовалось пятно, которое растянулось на 130 км. Загрязнение воды в дальнейшем привело к уничтожению 400 тонн промышленной форели.

Дамба в Брумадинью, Бразилия (25 января 2019 года). Причиной аварии стало несоблюдение норм безопасности при проектировании сооружения, а также несоответствующее правилам водоотведения. Селевой поток, в результате прорыва дамбы, ринулся вниз, вследствие чего погибло 259 человека, 11 человек числятся пропавшими. Грязь, которая смешалась с

отходами от горнодобывающей индустрии, привела к большим экологическим проблемам.

Изучив примеры крупнейших аварий на ГТС, можно сделать вывод, что основными последствиями аварий на ГТС являются: затопление местности, гибель людей и уничтожение близлежащих сооружений, а также разрушение или повреждение гидроузлов, что приводит к прекращению выполняемых ими функций.

Гидродинамические аварии оказывают негативное влияние на многие сферы жизни. Большой ущерб наносится окружающей среде, к примеру, возможно попадание загрязняющих веществ в воду и почву, что способствует гибели животного мира акватории (удар для рыбопромыслового производства), также уничтожению и сельскохозяйственного производства (посевы, скот). Мусор, который образуется после аварии, распространяясь вниз по течению, способствует возникновению различных инфекционных заболеваний. Аварии на ГТС способны нарушить инфраструктуру (размыв дорог, уничтожение мостов, сооружений), коммуникацию, систему водоснабжения, а в результате аварии на ГЭС прерывается подача электроэнергии. Несут утраты культурные и исторические ценности, в результате затопления территорий. Также нарушается производственно-экономическая деятельность организаций и жизнедеятельность людей.

1.3. Основные причины аварий на гидротехнических сооружениях

Гидродинамическая авария — это авария на ГТС, связанная с распространением с большой скоростью воды и создающая угрозу возникновения техногенной чрезвычайной ситуации [11].

Возможные источники опасности, которые могут привести к аварии:

- ошибки при проектировании;
- отклонения от проектных решений при строительстве и/или эксплуатации ГТС;
- нарушения правил безопасности при эксплуатации сооружений;
- старение материалов;

- постороннее вмешательство;
- стихийное бедствие [12].

Гидродинамическая авария возникает при [9]:

- разрушении напорного фронта с образованием прорана и развитием волны прорыва, последняя создает зону поражения;
- сползании или обрушении в водохранилище значительных масс грунта, снега, льда; при этом возникает волна вытеснения, которая при переливе через гребень также приводит к образованию прорана и волны прорыва;
- разрыве напорного трубопровода и истечении через место разрыва больших масс воды, в результате чего возникает волна прорыва.

По данным Международной комиссии по большим плотинам, число зарегистрированных плотин в мире, в 2020 году, высотой 15 м и более над уровнем реки, составляло 58 713 единиц различного назначения и типа. На рисунке 2 представлена диаграмма соотношения плотин от их типа по состоянию на 2020 год в мире.

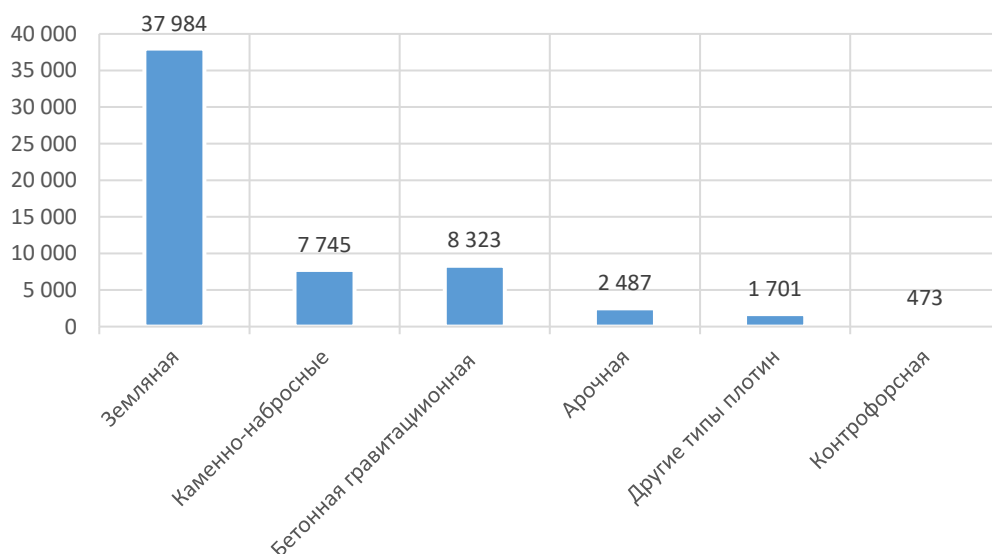


Рисунок 2 - Диаграмма соотношения плотин от их типа по состоянию на 2020 год в мире

Из диаграммы видно, что в мире преобладает преимущественно земляной тип плотины, что соответствует 65 процентам от общего числа зарегистрированных плотин, на втором месте гравитационный тип – 14

процентов, реже встречается контрфорсный тип плотин – менее 1 процента. На рисунке 3 представлено соотношение аварий различных типов плотин.



Рисунок 3 – Диаграмма соотношения аварий для групп плотин различных типов

По данным рисунка 3 можно сделать вывод, что земляные и бетонные гравитационные плотины больше подвержены авариям, процентное соотношение которых соответствует 53 процента и 23 процента, менее безопасным типом является плотина из местных материалов (4 процента) и арочная железобетонная плотина (3 процента).

На рисунке 4 представлена диаграмма частоты аварий ГТС, сопровождающихся образованием волны прорыва, по причинам их возникновения за период с 1955 по 1977 год. Как видно из таблицы, наиболее часто встречающаяся причина аварий на ГТС – это разрушение основания (40 процентов), а также недостаточность водосбросов (23 процента) [13].



Рисунок 4 – Диаграмма причин возникновения аварий для всех типов плотин

В 35 процентах случаев, из 300 аварий плотин в различных странах за 175 лет, причиной аварии стал прорыв плотины и перелив воды через ее гребень. Наиболее вероятные аварии подпорных ГТС представлены на рисунке 5.

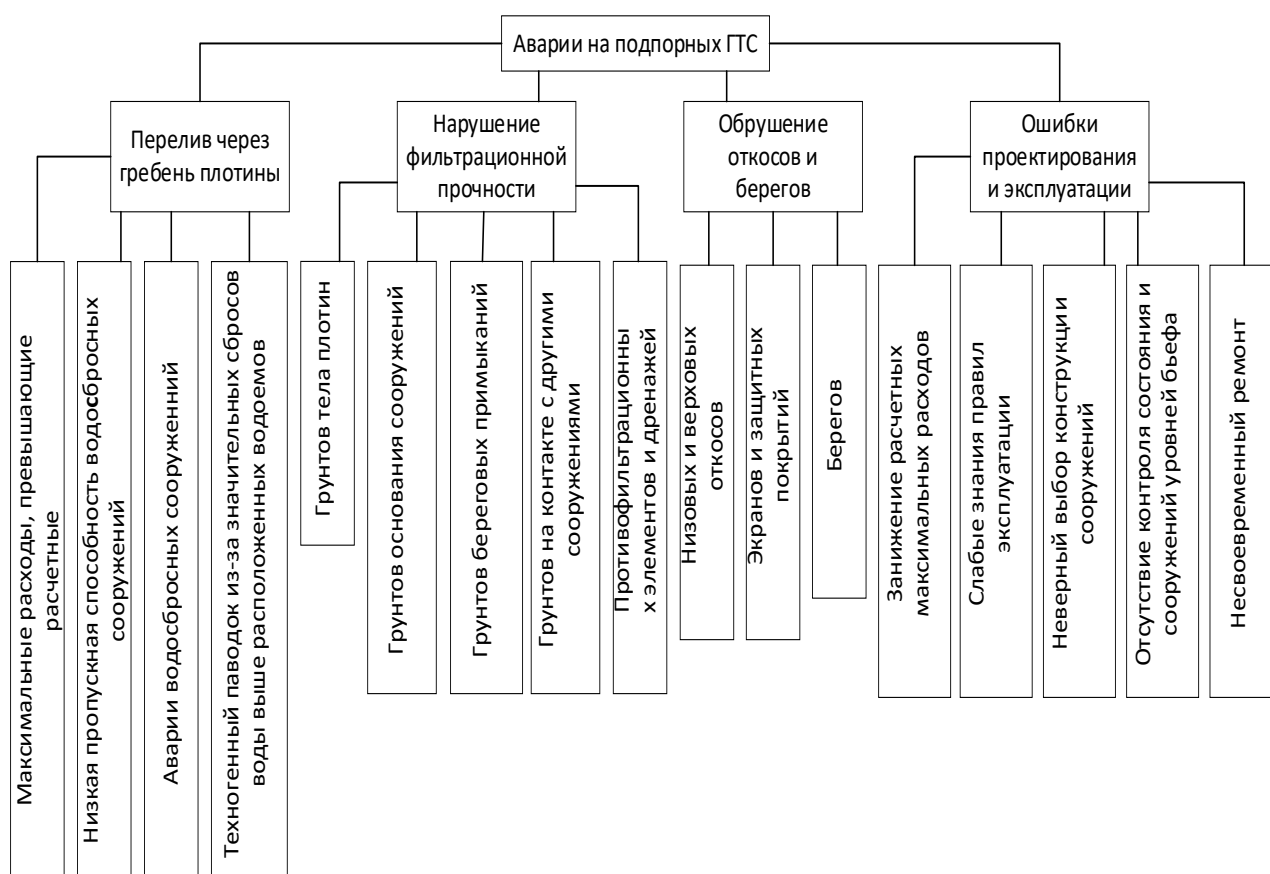


Рисунок 5 – Наиболее вероятные аварии подпорных ГТС

В данном разделе рассмотрена классификация ГТС, проведен обзор крупнейших аварий и их последствий, описаны основные причины аварий. Выявлено, что наиболее часто встречающаяся причина аварий – разрушение основания (40 процентов), а также недостаточность водосбросов (23 процента).

В мире в настоящее время преобладает земляной и гравитационный тип плотин, что соответствует 65 процентам и 14 процентам от общего числа зарегистрированных плотин, большая часть аварий приходится на плотины земляного типа – 53 процента от общего числа аварий.

2.ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1.Объект исследования

Объектом исследования данной работы является одна из крупнейших и современных ГЭС, которая расположена в Восточной Сибири, на реке Ангара в местности, приравненной к районам Крайнего Севера. ГЭС строится как высоконадежный гидроузел, включающий в себя гидротехнические сооружения I класса.

Установленная мощность ГЭС составляет 2997 МВт, объём водохранилища – 58220 тыс. м³, площадь водохранилища - 2326 км², производство электроэнергии 17,6 млрд. кВтч в год.

Гидроузел находится на нижней ступени Ангарского каскада, предыдущие ступени которого включают в себя Иркутскую, Братскую и Усть-Илимскую ГЭС. Расходы воды, которые поступают в нижний бьеф Усть-Илимского гидроузла и приточности с частного водосбора формируют приток к гидроузлу.

Напорный фронт обеспечивается бетонной (828,7 м длиной, высотой до 96 м) и каменно-набросной (длиной 1861,3 м) плотиной. На левом берегу располагаются КРУЭ 500 кВ и КРУЭ 220 кВ. За станционной частью бетонной плотины находится здание ГЭС.

Бетонная плотина состоит из 34 секций, которые включают в себя станционные, водосбросные и глухие секции. Длина глухих секций составляет 359,3 м.

Станционная часть плотины состоит из 9 секций (каждая из которых имеет длину 30 м), в них размещены диаметром 10 м водоводы с водоприемниками, находящимися на отметке 168 м, которые подают воду к турбинам. Секции оборудованы плоскими аварийно-ремонтными и ремонтными затворами, а также сороудерживающими решетками.

ГТС имеет два водосброса. Водосброс №1 имеет пять водопропускных секций, общая длина водосброса составляет 110 м. По два глубинных водосбросных отверстия, расположенных на отметке 146 м, находятся в каждой

из пяти секций, с выходным сечением 4,0 м х 6,5 м, позволяют пропускать воду в период экстремальных паводков во время эксплуатации, а также в период наполнения водохранилища. Водосброс №2 расположен на отметке 199 м и примыкает к станционным секциям, его работа осуществляется в период прохождения паводковых расходов.

Каменно-набросная плотина состоит из противофильтрационного элемента. Выполнен он из литой асфальтобетонной смеси, двухслойных переходных зон, возведённых с верхнего и нижнего бьефов из щебня, упорных призм, созданных из каменной наброски, супесчаного понура, супесчаного экрана, защищающего правый берег в верхнем бьефе плотины от обходной фильтрации. На рисунке 6 представлена схема плотины.



Рисунок 6 – Схема плотины

За станционной частью плотины расположено здание ГЭС приплотинного типа. Там находятся 9 гидроагрегатов, с расстоянием между осями 30 м, мощностью по 333 МВт, которые работают при расчетном напоре 65,5 м. На левой стороне берега к зданию ГЭС примыкает монтажная площадка, рядом с которой находится Трансформаторная мастерская и Служебно-производственный корпус. На отметке 147,8 м между низовой гранью станционной плотины и зданием ГЭС размещаются повышающие трансформаторы.

В соответствии с классификацией, приведенной в разделе 1 опишем исследуемый объект.

По функциональному назначению - специальное ГТС. По месту расположения ГТС является наземным. По цели использования и характеру - водно-энергетическим. По условиям использования - постоянным.

Плотина, участвующая в создании напорного фронта, в зависимости от высоты и типа грунта основания, с высотой 96 метров и скальным типом грунта основания соответствуют II классу (высокой опасности).

По назначению и условию эксплуатации ГТС ГЭС установленной мощностью 2997 МВт относятся к I классу (чрезвычайно высокой опасности).

В соответствии с последствиями возможных гидродинамических аварий ГТС относится к I классу (чрезвычайно высокой опасности). Так как около объекта постоянно проживает более 3000 человек и в случае аварии они могут пострадать. Также у более 20000 человек в результате аварии могут быть нарушены условия жизнедеятельности.

Итоговый класс опасности рассматриваемого объекта соответствует I классу (чрезвычайно высокой опасности).

2.2. Методы исследования

В данной работе выбран вероятностный метод исследования. С помощью данного метода можно представить исходные события, которые в дальнейшем могут привести к ЧС. Далее в работе будет использоваться метод экспертных оценок.

При оценке и анализе риска выполняются такие мероприятия, как:

- Идентификация опасностей;
- Построение дерева причин аварий;
- Использование экспертного метода для анализа вероятности реализации факторов и причин, приводящих к аварийным ситуациям на сооружениях ГЭС;
- Оценка риска и проведение мероприятий для минимизации возникновения ЧС.

Метод анализа дерева причин аварий идентифицирует и анализирует факторы, способствующие появлению исследуемого события, которое является

опасным. С помощью метода дерева причин аварий можно не только количественно оценить ситуацию, но и качественно [14].

Дерево событий строится с начального события. В случае с ГЭС это может быть затопление нижнего бьефа. В дальнейшем рассматривают системы, которые могут смягчить последствия. Для того чтобы составить пути развития событий, оценивают условную вероятность при помощи метода экспертных оценок. Необходимо учесть тот факт, что мы используем условную вероятность при затоплении нижнего бьефа. Каждая ветвь в дереве событий будет являться вероятностью появления какого-либо определённого события. Чтобы получить вероятность самого результата, перемножаются отдельные вероятности и вероятность возникновения исходного события, учитывая при этом независимость событий.

С помощью дерева событий возможно отображение развития сценариев событий, начиная с исходного, и позволяет произвести анализ системы в целом, при этом оценивая вероятность возникновения события.

В экспертном методе оценок участвуют специалисты, которые обладают знаниями и умениями в данной области. Обычно данный метод применяют при отсутствии статистических данных. При реализации экспертного метода оценки риска, экспертам необходимо ответить на вопросы анкеты, где учитывается состояние объекта. Далее анкеты экспертов обрабатываются и представляются в виде таблиц, где описаны качественные характеристики реализации ЧС и присвоены баллы в виде вероятностных значений, то есть количественных [15].

Особую важность имеет шкала оценок, которую используют эксперты. Каждая вероятность сопровождается краткой характеристикой. Для того, чтобы произвести математическую обработку экспертных оценок и интерпретировать её возможно привлечение различных моделей. Чтобы достоверность метода экспертных оценок была более вероятной, проводят отбор экспертов по различным критериям. Если правильно организовать проведение метода экспертных оценок, то достоверность оценок будет высокой.

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1. Анализ основных причин реализации ЧС на гидротехнических сооружениях ГЭС

По уже известным инцидентам проведем анализ причин возникновения аварий на сооружениях ГЭС. Факторы риска, которые способствуют нарушению безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений ГЭС можно разделить на стихийные, непосредственно связанные с природной силой, и антропогенные (рисунок 7).



Рисунок 7 - Факторы риска, способные вызвать нарушение безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений ГЭС

Возникновение стихийных факторов риска связано с труднопрогнозируемыми процессами, к примеру, геофизическими и атмосферными. Природные процессы, в основном невозможно определить во времени, они неоднородны по результатам и буквально не прогнозируемы.

Общими для стихийных и антропогенных факторов являются: большая территория, воздействие на человека, окружающую среду и хозяйственные объекты. Эти факторы объединяет увеличение повторяемости событий и причинение значительного ущерба.

Все факторы риска целесообразно разделить на внешние и внутренние причины. Анализ причин возникновения и развития аварий, произошедших на аналогичных объектах, позволяет сделать следующие выводы о внешних и внутренних причинах аварий (таблица 5).

Таблица 5 - Причины аварий на гидротехнических сооружениях ГЭС

Внешние причины	Внутренние причины
максимальный расчетный паводок	отказы механического оборудования водосбросов и турбинных водоводов
развитие заторно-зажорных явлений в нижнем бьефе	повреждение гидроагрегата
сход оползневой массы грунта в водохранилище	потеря фильтрационной прочности грунтов тела и/или основания плотины
обмерзание конструкций водосбросов	потеря устойчивости низовой призмы плотины
потеря внешнего электропитания	отказ противофильтрационного элемента плотины

Более подробно рассмотрим статистику причин возникновения аварий для различных типов плотин. Разрушение основания является наиболее распространенной причиной повреждений бетонных плотин, это связано с несоответствующим пределом прочности при сдвиге основания и суффозией. В случаях с каменно-набросными и земляными плотинами наиболее распространенная причина прорывов плотин является превышение расчетного максимального сбросного расхода, за которым следует суффозия в основной части и в основании плотины. Для каменных плотин основная причина - превышение расчетного максимального сбросного расхода, за которым следует суффозия в основании [16]. В таблице 6 представлена статистика первопричин аварий для разных типов плотин.

Таблица 6 - Первопричины аварий от общего числа плотин разных типов

Тип плотины	Причина	Следствие
Бетонная плотина	Разрушение основания из-за несоответствующего предела прочности при сдвиге основания (21%) и суффозии (21%).	-
Каменно-набросная и земляная плотина	Превышение расчетного максимального сбросного расхода (31% - первопричина и 18 % - второстепенная причина).	Суффозия в основной части плотины (15% - первопричина и 13% - второстепенная причина) и в основании (12% - первопричина и 5% - второстепенная причина).
Каменная плотина	Превышение расчетного максимального сбросного расхода (43%).	Суффозия в основании (29%).

Согласно результатам предварительного анализа опасностей, рассматриваемого объекта, в состав ГТС, повреждения на которых могут привести к возникновению ЧС входят: каменно-набросная плотина, водосбросы, станционные секции бетонной плотины и здание ГЭС.

На основе данного анализа составим дерево причин аварий на гидросооружениях исследуемого объекта. На рисунке 8 изображены возможные причины аварий, сопровождающиеся затоплением нижнего бьефа. Было выделено три основные причины возникновения аварий – это перелив через гребень плотины, разрушение гидроагрегата и образование прорана в теле и/или основании плотины.

Перелив через гребень плотины возникает в результате превышения максимального расчетного паводка и неготовностью водохранилища к его аккумуляции, то есть к наличию ограничений по пропускной способности водосбросов.

Для того, чтобы повысить пропускную способность водосбросов ГЭС на гребне плотины эксплуатируются два козловых крана, которые поднимают затворы для сброса воды в нижний бьеф. К снижению пропускной способности водосбросов может привести отказ кранового оборудования, работающего от электроэнергии, из-за потери внешнего электропитания или из-за неисправности приводных устройств.

Механические повреждения затворов возможны при наличии ошибок в проектировании особенностей их работы, значительных обмерзаниях и наледях, неправильной эксплуатации. Механические повреждения способны снизить пропускную способность водосбросов.

Превышение максимального расчетного паводка в результате схода оползневой массы грунта в водохранилище, обильных дождей и/или снеготаяния, а также значительных водосбросов с ГЭС, находящихся выше по течению, и неготовность водохранилища к его аккумуляции способны вызвать перелив через гребень плотины.



Рисунок 8 – Дерево причин затопления территории нижнего бьефа

Отдельно рассмотрим причину ЧС – образование прорана в теле и/или основании плотины. На исследуемом объекте плотина состоит из каменно-набросной и бетонной плотины, поэтому отдельно выделим причины для разрушения участка каменно-набросной плотины и разрушения участка бетонной плотины. На рисунке 9 представлены возможные причины разрушения участка каменно-набросной плотины.

Разрушение участка каменно-набросной плотины может возникнуть из-за потери статической устойчивости или потери фильтрационной прочности плотины.

Превышение максимально расчетного землетрясения, сход оползневой массы грунта в водохранилище, сползание откосов или террористический акт способны вызвать потерю статической устойчивости плотины, из-за чего возможно образование прорана (узкий проток в теле и/или основании плотины).

Отказ противофильтрационного элемента, у каменно-набросной плотины – это асфальтобетонная диафрагма, способствует потере фильтрационной прочности плотины. Потеря фильтрационной прочности

плотины также может возникнуть из-за возникновения в теле или основании плотины суффозии (механический вынос частиц горных пород потоком подземных вод), которая появляется в результате превышения критической скорости воды, возникновения в подземных водах значительных сил гидродинамического давления.



Рисунок 9 – Дерево причин разрушения участка каменно-набросной плотины

На рисунке 10 представлены причины разрушения участка бетонной плотины.

Причины разрушения участка бетонной плотины во многом аналогичны причинам разрушения участка каменно-набросной плотины. Однако, существуют некоторые отличия. Здание ГЭС располагается в части бетонной плотины, и соответственно, там находится механическое оборудование, отказ которого способен привести к потере статической устойчивости и далее к образованию прорана. Глубокая цементационная завеса – это противофильтрационный элемент бетонной плотины, отказ которого способствует потере фильтрационной прочности плотины.



Рисунок 10 – Дерево причин разрушения участка бетонной плотины

Затопление нижнего бьефа может произойти и в результате разрушения гидроагрегата, причины, способствующие разрушению гидроагрегата, представлены на рисунке 11.

Заводские дефекты, превышение динамических нагрузок, неправильные действия персонала при отказе оборудования способны вызвать разрушение гидроагрегата.

Срыв крышки турбины в следствии излома шпилек крепления крышки и разгерметизация водопроводящего тракта гидроагрегата приводит к превышению динамических нагрузок гидроагрегата.



Рисунок 11 – Дерево причин разрушения гидроагрегата

Рассматриваемый объект располагается в районе с резко континентальным климатом. Район характеризуется суровой, продолжительной, сухой зимой и теплым летом с обильными осадками. Среднегодовая температура от -2,6 до - 4,3 °С, абсолютный минимум по температуре в январе – 60 °С, абсолютный максимум в июле + 38 °С.

Местность, в которой находится объект, не является сейсмоопасной, фоновая сейсмичность территории составляет 7 баллов по шкале MSK-64, повторяемость 1 раз в 5000 лет, что предусмотрено при строительстве плотины, она способна выдержать 7 бальное землетрясение.

Водохранилище ГЭС располагает свободной емкостью для приема дождевого паводка, полностью выполняет требования навигационного периода. Максимальная технически возможная отметка наполнения водохранилища 209,5 м.

3.2. Моделирование типовых сценариев развития ЧС

Согласно [17], а именно приложению №1 данного приказа, были смоделированы сценарии развития ЧС на исследуемом объекте.

Анализ природно-климатических условий территории размещения ГТС рассматриваемой ГЭС, а также показателей природных и техногенных воздействий на ГТС, компоновки сооружений и опыта эксплуатации позволяет считать, что на исследуемом объекте возможны следующие сценарии возникновения аварий ГТС, способных привести к возникновению ЧС:

Сценарий I. Образование прорана в теле и/или основании плотины и затопление нижнего бьефа.

Здание, сооружение возможной аварии: КНП, водосброс №1 и №2, участок плотины в районе примыкания.

Причины аварии: максимальный расчетный паводок, снижение пропускной способности водосбросов, потеря устойчивости плотины, потеря фильтрационной прочности грунтов тела и/или основания плотины.

Сценарий II. Разрушение гидроагрегата, затопление машинного зала, прекращение выработки электроэнергии, гибель персонала, затопление и подтопление местности в нижнем бьефе.

Здание, сооружение возможной аварии: здание ГЭС.

Причины аварии: Разрушение крышки турбины гидроагрегата. Неконтролируемый излив через люк спиральной камеры гидротурбины или люк отсасывающей трубы в машинный зал.

Сценарий III. Сдвиг секции бетонной плотины с нарушением целостности напорного фронта и подтопление нижнего бьефа.

Здание, сооружение возможной аварии: бетонная плотина, водосбросы.

Причины аварии: снижение пропускной способности водосбросов, потеря устойчивости секций плотины на сдвиг.

Сценарий IV. Перелив через гребень КНП и подтопление нижнего бьефа.

Здание, сооружение возможной аварии: каменно-набросная плотина.

Причины аварии: сход оползневой массы грунта в водохранилище с образованием непредусмотренной проектом волны, аварии на ГТС, расположенных выше по течению.

Сценарий V. Протечки через гермодверь турбинного водовода с попаданием воды в смотровые галереи бетонной плотины, травмирование/гибель персонала.

Здание, сооружение возможной аварии: турбинный водовод.

Причины аварии: дефект резиновых уплотнителей гермодверей турбинного водовода.

Учитывая статистические данные по причинам аварий на гидросооружениях ГЭС, из приведенных сценариев выделим наиболее вероятный сценарий развития аварии на рассматриваемом объекте – **сценарий I.**

На рисунке 12 изображено дерево последствий гидродинамических аварий на гидросооружениях ГЭС.

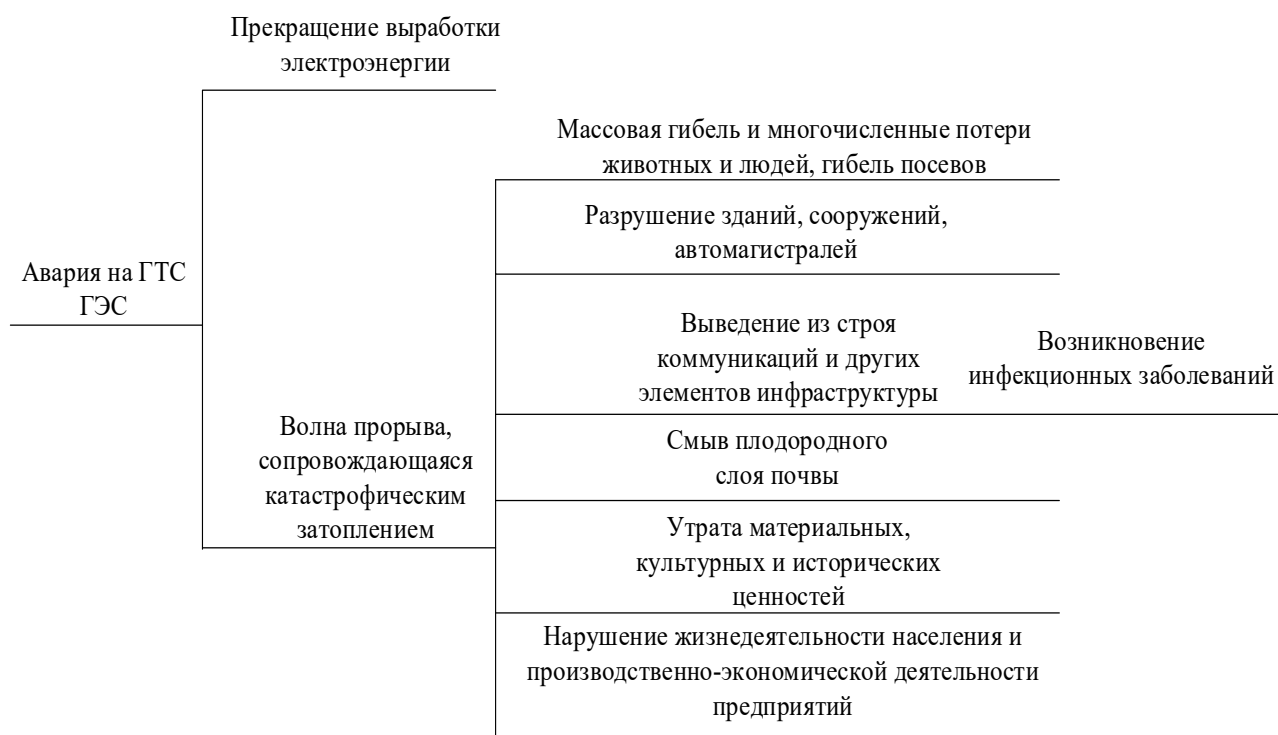


Рисунок 12 - Дерево последствий гидродинамических аварий на ГЭС

4.РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

4.1 Экспертная оценка факторов и событий, приводящих к ЧС

Для дальнейшей оценки рисков подробно рассмотрели причины затопления нижнего бьефа. Оценка вероятности реализации чрезвычайных ситуаций проводилась методом экспертных оценок. Метод экспертных оценок состоял из следующих этапов:

- создание опросного листа;
- опрос экспертов;
- обработка и представление полученных данных;
- анализ полученных данных.

Представленный экспертам опросный лист представлен в Приложении А.

В качестве экспертов была выбрана группа, куда вошли 10 работников предприятия, имеющие большой опыт в эксплуатации аналогичных объектов.

Экспертам было необходимо определить вероятность затопления нижнего бьефа по 5-бальной шкале:

- 1 балл – скорее всего не произойдет (1-20 %);
- 2 балла – маловероятно, что произойдет (21-40 %);
- 3 балла – вероятно, что произойдет (41-60 %);
- 4 балла – скорее всего произойдет (61-80 %);
- 5 баллов – произойдет раньше, чем ожидается (81-100 %).

Результаты опросного листа представлены в Приложении Б. Далее полученные оценки экспертов были представлены в виде вероятностей (Приложение В).

Наименьший ранг был присвоен наименее вероятному событию, наибольший ранг – наиболее вероятному событию. В зависимости от количества сравниваемых объектов в значительной мере проявляется надежность и точность результатов [18].

С помощью значений средних рангов возможно расположить события на шкале относительно друг друга. Следовательно, событие у которого наименьший ранг является наименее вероятным:

$$1 < 1,2 < 1,4 < 1,6 < 1,8 < 2 < 2,2$$

Следовательно:

$$5 = 6; 3 = 21; 8 = 18 = 19 = 20; 1 = 7 = 10 = 11 = 23 = 27; 9 = 14 = 15 = 16 = 22 = 30; 2 = 12 = 13 = 17 = 25; 4 = 24 = 26 = 28 = 29.$$

Наиболее вероятными событиями являются события 4, 24, 26, 28, 29, наименее вероятными события 5, 6.

Далее был рассчитан коэффициент конкордации Кендалла и проведен тест Фридмана. Коэффициент конкордации Кендалла находится в пределах от 0 до 1 и показывает степень согласованности мнений экспертов. Если коэффициент больше 0,4, то мнение экспертов согласованно. О согласованности мнений экспертов делаем вывод по коэффициенту конкордации. В таблице 7 представлены результаты анализа опросного листа. Таблица 7 – Результаты вычисления коэффициента конкордации Кендалла и тест Фридмана

Friedman ANOVA and Kendall Coeff. of Concordance (Spreadsheet2) ANOVA Chi Sqr. (N = 5, df = 29) = 45,78626 p = 0,02465 Coeff. of Concordance = 0,41577 Aver. rank r = 0,14471				
Событие	Average Rank	Sum of Rank	Mean	Std.Dev.
1	13,70000	68,5000	1,600000	0,894427
2	18,50000	92,5000	2,000000	1,000000
3	9,30000	46,5000	1,200000	0,447214
4	19,60000	98,0000	2,200000	1,303840
5	8,10000	40,5000	1,000000	-
6	8,10000	40,5000	1,000000	-
7	13,40000	67,0000	1,600000	1,341641
8	11,60000	58,0000	1,400000	0,894427
9	17,20000	86,0000	1,800000	0,447214
10	14,60000	73,0000	1,600000	0,894427
11	14,60000	73,0000	1,600000	0,894427
12	19,20000	96,0000	2,000000	0,707107
13	19,50000	97,5000	2,000000	0,707107
14	17,20000	86,0000	1,800000	0,447214
15	16,70000	83,5000	1,800000	0,836660
16	16,70000	83,5000	1,800000	0,836660
17	19,50000	97,5000	2,000000	0,707107

18	12,10000	60,5000	1,400000	0,547723
19	11,40000	57,0000	1,400000	0,547723
20	12,20000	61,0000	1,400000	0,894427
21	9,30000	46,5000	1,200000	0,447214
22	16,70000	83,5000	1,800000	0,836660
23	14,40000	72,0000	1,600000	0,547723
24	21,50000	107,5000	2,200000	0,836660
25	19,20000	96,0000	2,000000	0,707107
26	21,50000	107,5000	2,200000	0,836660
27	13,40000	67,0000	1,600000	1,341641
28	20,30000	101,5000	2,200000	1,303840
29	19,80000	99,0000	2,200000	1,095445
30	15,70000	78,5000	1,800000	1,095445

Результаты проведенного анализа представлены на рисунке 13.

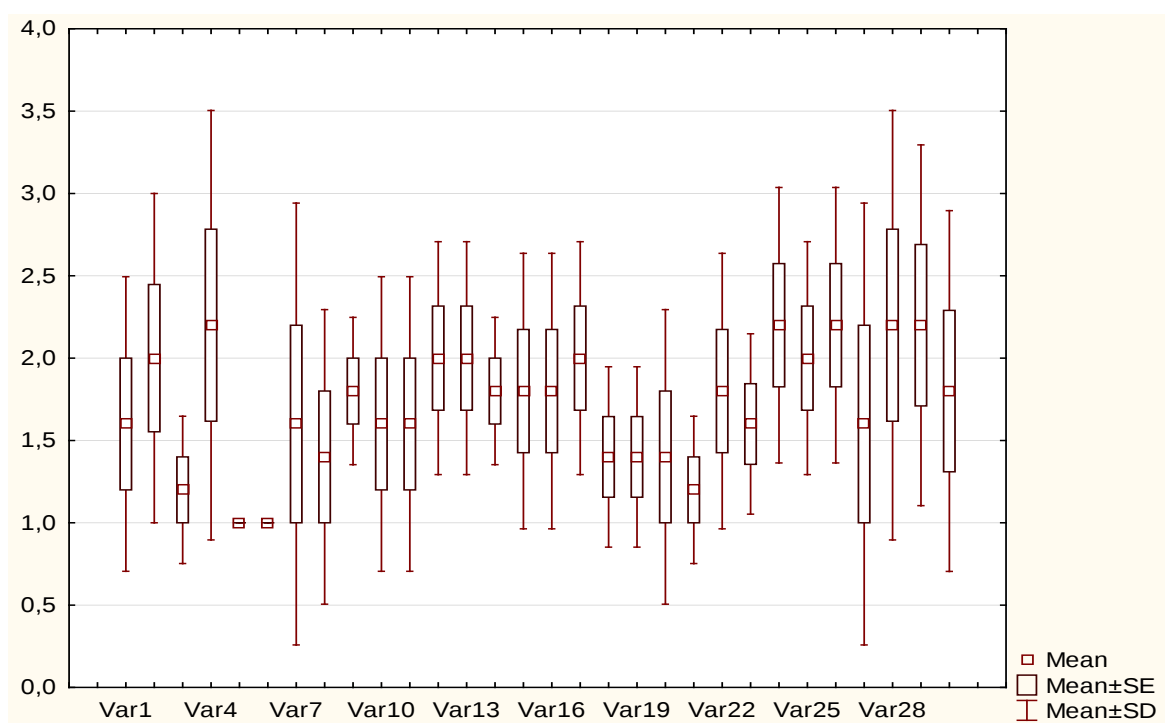


Рисунок 13 – Графическое представление результатов обработки опросных листов

Как мы можем видеть, значение коэффициента конкордации равен 0,41577. Таким образом, мы можем сделать вывод о том, что мнение экспертов согласовано относительно причин, способствующих затоплению нижнего бьефа.

Определим вероятности возникновения головных событий, способствующих затоплению нижнего бьефа: образование прорана в теле и/или

основании плотины, разрушение гидроагрегата и перелив через гребень плотины.

Формулы расчета для оператора «или»:

$$P = 1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot \dots \cdot (1 - P_n) \quad (1)$$

Формулы расчета для оператора «и»:

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n \quad (2)$$

1. Проведем расчет вероятности образования прорана в теле и/или основании плотины.

Для КНП:

$$\text{Суффозия в теле плотины} = 1 - (1 - 0,002062) \cdot (1 - 0,000082) = 0,00214$$

$$\text{Суффозия в основании плотины} = 1 - (1 - 0,002044) \cdot (1 - 0,002044) = 0,00408$$

$$\text{Потеря фильтрационной прочности} = 1 - (1 - 0,00214) \cdot (1 - 0,00408) \cdot (1 - 0,002062) = 0,00826$$

$$\text{Потеря стат. уст.} = 1 - (1 - 0,000082) \cdot (1 - 0,002026) \cdot (1 - 0,002026) \cdot (1 - 0,002062) = 0,00618$$

$$\text{Разрушение участка КНП} = 1 - (1 - 0,00618) \cdot (1 - 0,00826) = 0,0144$$

Для бетонной плотины:

$$\text{Превышение фильтр.расх. в теле плотины} = 1 - (1 - 0,013033) \cdot (1 - 0,011053) = 0,02394$$

$$\text{Превышение фильтр.расх. в основании плотины} = 1 - (1 - 0,01063) \cdot (1 - 0,001045) = 0,0117$$

$$\text{Потеря фильтрационной прочности} = 1 - (1 - 0,02394) \cdot (1 - 0,0117) \cdot (1 - 0,022024) = 0,0566$$

$$\text{Потеря стат. уст.} = 1 - (1 - 0,000046) \cdot (1 - 0,000046) \cdot (1 - 0,001027) \cdot (1 - 0,000028) = 0,00114$$

$$\text{Разрушение участка бетонной плотины} = 1 - (1 - 0,0566) \cdot (1 - 0,00114) = 0,0577$$

Проран в теле и/или основании плотины:

$$\text{Проран в теле и / или основании плотины} = 1 - (1 - 0,0577) \cdot (1 - 0,0144) = 0,0713$$

2. Проведем расчет вероятности возникновения разрушения гидроагрегата:

$$\text{Превышение динамических нагрузок} = 0,003025 \cdot 0,014014 = 0,00005$$

$$\text{Разрушение гидроагрегата} = 1 - (1 - 0,000046) \cdot (1 - 0,010036) \cdot (1 - 0,00335) = 0,0134$$

3. Проведем расчет вероятности перелива через гребень плотины:

$$\text{Отказ кранового оборудования} = 1 - (1 - 0,002026) \cdot (1 - 0,004024) = 0,00604$$

$$\text{Мех. повреждения затворов} = 1 - (1 - 0,000028) \cdot (1 - 0,022024) \cdot (1 - 0,00001) = 0,00221$$

$$\text{Снижение проп. способ. водосбросов} = 1 - (1 - 0,00604) \cdot (1 - 0,00221) = 0,00823$$

$$\text{Превышение макс. расчет. паводка} = 1 - (1 - 0,00001) \cdot (1 - 0,020008) \cdot (1 - 0,002008) = 0,00402$$

$$\text{Певрелив через гребень} = 0,00823 \cdot 0,00402 = 0,00003$$

В таблице 8 представлены вероятности реализации событий.

Таблица 8 – Вероятности реализации событий

Событие		Вероятность, событие в год
1. Образование прорана в теле и/или основании плотины		0,07130
КНП	Разрушение участка каменно-набросной плотины	0,01440
	Суффозия в теле плотины	0,00214
	Суффозия в основании плотины	0,00408
	Потеря фильтрационной прочности	0,00826
	Потеря статической устойчивости	0,00618
Бетонная плотина	Разрушение участка бетонной плотины	0,05770
	Превышение фильтрационных расходов в теле плотины	0,02394
	Превышение фильтрационных расходов в основании плотины	0,01170
	Потеря фильтрационной прочности	0,05660
	Потеря статической устойчивости	0,00114
2. Разрушение гидроагрегата		0,01340
Превышение динамических нагрузок		0,00005
3. Перелив через гребень плотины		0,00003
Отказ кранового оборудования		0,00604
Механические повреждения затворов		0,00221
Снижение пропускной способности водосбросов		0,00823
Превышение максимально расчетного паводка		0,00402

В результате расчетов получили вероятности реализации головных событий на рассматриваемом объекте, способствующих затоплению нижнего бьефа:

- Вероятность образования прорана в теле и/или основании плотины составляет 0,07130.
- Вероятность разрушения гидроагрегата соответствует 0,01340.
- Вероятность перелива через гребень плотины составляет 0,00003.

Исходя из расчетов можно сделать вывод, что наиболее вероятное событие на исследуемом объекте – это образование прорана в теле и/или основании плотины.

4.2. Расчет вероятных зон действия поражающих факторов

Согласно методике [19] оценим ущерб от предполагаемой аварии на рассматриваемом объекте при наиболее вероятном **сценарии I** - образование прорана в теле и/или основании плотины и затопление нижнего бьефа.

При прорыве плотины в ней образуется проран, от размеров которого зависят объем и скорость падения вод верхнего бьефа в нижний бьеф и параметры волны прорыва.

Волна прорыва, характеризующаяся высотой волны и скоростью движения, и длительность затопления являются основными поражающими факторами катастрофического затопления.

Продольный разрез сформировавшейся волны схематично представлен на рисунке 14.



Рисунок 14 - Продольный разрез волны прорыва

В результате непроизвольного подъема заслонки шлюза на гидроузле образовался проран с относительным размером $B = 1$ м. Ближайший населенный пункт вниз по течению реки расположен на расстоянии $L = 38$ км. Высота уровня воды перед плотиной составляет $H_0 = 71$ м, высота

месторасположения населенного пункта $h_m = 22$ м, гидравлический уклон реки (величина, характеризующая собой потерю напора на единицу длины русла) $i = 1 \cdot 10^{-3}$, глубина реки в нижнем бьефе $h_0 = 4$ м.

Оценим степень разрушения зданий в городе, железнодорожного и автомобильного мостов и дорог с гравийным, асфальтовым и бетонным покрытием.

1. Найдем высоту гребня и скорость волны прорыва по формуле:

$$h = \frac{A_h}{\sqrt{B_h + L}}, \quad (1)$$

$$v = \frac{A_v}{\sqrt{B_v + L}} \quad (2)$$

где A_h, B_h, A_v, B_v – коэффициенты, зависящие от высоты уровня воды в верхнем бьефе плотины H_0 (м), гидравлического уклона реки i и относительной ширины прорыва B , значения которых приведены в таблице 10.

Таблица 10 - Значения коэффициентов в формуле

H ₀ (м)	B (м)	Гидравлический уклон реки			
		$i = 1 \cdot 10^{-3}$			
		A_h	B_h	A_v	B_v
40	1	110	30	32	24
80		300	60	62	29

Значения, полученные методом интерполяции, подставляем в формулу и получаем высоту h (м) гребня волны прорыва:

$$h = \frac{257,25}{\sqrt{53,25 + 38}} = 26,93 \text{ м},$$

Скорость v (м/с) волны прорыва:

$$v = \frac{52,25}{\sqrt{27,875 + 38}} = 6,44 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2. Определяем время прихода гребня $t_{гр}$ (ч) и фронта $t_{ф}$ (ч) волны прорыва, интерполируя приведенные в таблице 11 данные для $L = 38$ км, $H_0 = 71$ м и $i = 1 \cdot 10^{-3}$.

Таблица 11 - Время прихода гребня и фронта волны прорыва при разной высоте уровня воды в водохранилище

H ₀ (м)	H ₀ = 40 м	H ₀ = 80 м
--------------------	-----------------------	-----------------------

	$i = 1 \cdot 10^{-3}$		$i = 1 \cdot 10^{-3}$	
	t_{ϕ} (ч)	$t_{гр}$ (ч)	t_{ϕ} (ч)	$t_{гр}$ (ч)
20	1	4	0,4	1
40	2	7	1	2

Время прихода гребня волны прорыва составляет $t_{гр}$ (ч) = 2,98 ч.

Время прихода фронта волны прорыва соответствует t_{ϕ} (ч) = 1,16 ч.

3. Находим продолжительность затопления территории объекта $t_{зат}$ (ч) определяется по формуле:

$$t_{зат} = \beta \cdot (t_{гр} - t_{\phi}) \cdot \left(1 - \frac{h_m}{h}\right) \quad (3)$$

где - β коэффициент, зависящий от уровня воды в водохранилище H_0 , м, гидравлического уклона реки i и расстояния до объекта L , км (таблица 12);

h_m – высота месторасположения объекта, м;

h – высота гребня, м.

Предварительно определим по таблице 12 для:

$$\frac{i \cdot L}{H_0} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 38000}{71} = 0,535 \text{ м}$$

$$\frac{H_0}{h_0} = \frac{71}{4} = 17,75$$

Значение с учетом интерполяции $\beta = 11,35$

Таблица 12 - Значения коэффициента β

$\frac{i \cdot L}{H_0}$	Относительная высота плотины H_0 (м) от средней глубины реки в нижнем бьефе h_0 (м)	
	$\frac{H_0}{h_0} = 10$	$\frac{H_0}{h_0} = 20$
0,4	11,0	12,0
0,8	9,5	10,8

Продолжительность затопления территории города $t_{зат}$ (ч) определим по формуле:

$$t_{зат} = 11,35 \cdot (2,98 - 1,16) \cdot \left(1 - \frac{22}{26,93}\right) = 3,78 \text{ ч.}$$

4. Определяем глубину затопления ближайшего населенного пункта:

$$h_3 = h - h_m = 26,93 - 22 = 4,93 \text{ м}$$

В ближайшем населенном пункте полностью будут разрушены деревянные дома (1-2 этажа), сильно разрушены кирпичные малоэтажные здания (1-3 этажа), промышленные здания с легким металлическим каркасом и здания бескаркасной постройки, кирпичные дома средней этажности (4 этажа) получат средние разрушения промышленные здания с тяжелым металлическим и железобетонным каркасом. Велика опасность сильного разрушения дорог с гравийным покрытием. Шоссейные дороги с асфальтовым и бетонным покрытием также подвергнутся сильному разрушению и машины, проезжающие по ним во время аварии. Произойдет сильное разрушение мелких речных судов.

4.3. Разработка рекомендаций по снижению вероятности реализации ЧС

В результате анкетирования группы экспертов, были выявлены наиболее вероятные события, которые способны привести к затоплению нижнего бьефа.

Была проведена оценка вероятности реализации головных событий, и сделан вывод о том, что образование прорана в теле и/или основании плотины на исследуемом объекте является наиболее вероятным событием.

Провели анализ существующих мероприятий для повышения прочности КНП и бетонной плотины.

Повышение устойчивости бетонной плотины осуществляется путем устройства в ее скальном основании противофильтрационной завесы, выполненной вдоль створа со стороны водохранилища в виде цепочки буровых скважин [20].

Также существует способ повышения устойчивости бетонной плотины с помощью дополнительного ее прижатия к скальному основанию путем натяжения домкратами расположенных со стороны напорной грани анкерных тяжей [21].

Устойчивость откосов КНП в случае скального основания будет обеспечена, если угол его наклона к горизонту меньше угла естественного откоса данной каменной наброски. Также для устойчивости КНП применяют

устройство невысоких упорных призм из кладки постелистых камней при сейсмичности 7 и 8 баллов и из бетона при сейсмичности 9 баллов.

Для повышения статической устойчивости плотины необходимо: увеличить массу плотины, вертикальную составляющую, уменьшить силы фильтрационного давления, которые уменьшают сопротивление сдвигу сооружения. Для того, чтобы уменьшить влияние фильтрационного давления, создаются дренажные и обводные пути для водных потоков, способных проникать под плотину.

Так как исследуемый объект введен в эксплуатацию недавно все инженерно-технические мероприятия предусмотрены и реализованы в полной мере. Для данного объекта можно рекомендовать организационные мероприятия. Например, для недопущения противоправных действий диверсионно-террористических групп необходимо организовать высокую степень охраны ГТС.

Рекомендуется осуществлять ежедневный мониторинг за показателями состояния ГТС.

Требуется проводить систематический анализ причин снижения безопасности ГТС и своевременную разработку и реализацию мер по обеспечению технически исправного состояния ГТС и его безопасности, а также проведение регулярных обследований.

Следует при необходимости осуществлять капитальный ремонт, реконструкцию ГТС.

Чтобы снизить действие человеческого фактора в развитии аварии необходимо увеличить периодичность инструктажей, длительность обучения для работников по вопросам промышленной безопасности.

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Ведение

Целью выпускной квалификационной работы по теме: «Оценка риска возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях» является разработка рекомендаций по снижению вероятности реализации чрезвычайных ситуаций на ГТС.

Для этого в выпускной квалификационной работе проводится расчёт риска аварий и разрушений, которые могут привести к чрезвычайной ситуации на объекте.

Основной целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является обоснование и оценка эффективности выполненной работы с точки зрения уменьшения возникновения рисков на исследуемом объекте.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Определение потенциальных потребителей;
2. Выполнение анализа конкурентных технических решений;
3. Разработка плана научно-исследовательских работ;
4. Расчет бюджета на проведение научно-технических исследований;
5. Оценка эффективности выполненной работы.

5.1. Предпроектный анализ

5.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Продукт, которому посвящена данная работа – внедрение экспертного метода оценки рисков на предприятиях, эксплуатирующих гидротехнические сооружения.

Компании, нуждающиеся в снижении риска возникновения ЧС на ГТС, а в частности такие компании как: РусГидро и РУСАЛ будут заинтересованы в такого рода продукте, так как при расчете риска последует разработка мероприятий для безопасного функционирования ГТС.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. Для данного проекта целевым рынком являются ГТС промышленного назначения, а в частности ГЭС (таблица 13).

Таблица 13 – Карта сегментирования

		Вид ГТС	
		Водохозяйственное назначение	Промышленное назначение
Размер	Крупная		
	Средняя		
	Мелкая		

5.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Существуют различные аналоги предложенного продукта: статистический метод, аналитический метод и комбинированный метод. Поэтому в качестве конкурентов с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения рассмотрены перечисленные методы оценки рисков.

Проведем анализ рынка, где представлены аналогии экспертного метода оценки рисков.

Статистический метод оценки рисков обычно используется на предприятиях торговли, в основном это индивидуальные предприниматели. Он обеспечивает наибольшую точность оценки, применяется в случае, когда компания обладает достаточным количеством статистической информации.

Аналитические методы оценки риска обычно используются в инвестиционных проектах таких как: «Восток Ойл», Программа комплексного освоения месторождений Северного Каспия, Строительство и развитие магистрального газопровода «Сила Сибири», «Северный поток-2» и другие. Аналитические методы оценки риска позволяют определить вероятность возникновения потерь на основе математических

моделей, применяются в том случае, когда имеющаяся информация ограничена и требуется провести количественный анализ риска.

Комбинированный метод представляет собой объединение нескольких отдельных методов или их отдельных элементов. Обычно используется на предприятиях торговли на основе расчета вероятности нежелательного исхода сделки.

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

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 14.

Таблица 14 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		Бф	Бк1	Бк2	Бк3	Кф	Кк1	Кк2	Кк3
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
1. Возможность внедрения устройства в единую систему автоматики	0,05	5	3	2	1	0,25	0,15	0,1	0,05
2. Удобство в эксплуатации	0,2	3	2	3	5	0,6	0,4	0,6	1
3.Стабильность срабатывания	0,2	4	2	3	4	0,8	0,4	0,6	0,8
4. Компактность	0,25	5	2	4	4	0,75	1,25	1	1
5. Безопасность	0,05	5	3	2	3	0,25	0,15	0,1	0,15
Экономические критерии оценки эффективности									
6. Цена	0,15	5	4	2	1	0,75	0,6	0,3	0,15
7. Затраты на ремонт	0,1	5	4	3	5	0,5	0,4	0,3	0,5
Итого	1	32	20	19	23	3,9	3,35	3	3,65

Где сокращения: Б_ф - экспертный метод; Б_{к1} – статистический метод; Б_{к2}- аналитический метод; Б_{к3} - комбинированный метод.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (4)$$

где К – конкурентоспособность вида;

V_i – вес критерия (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Экспертный метод основывается на обработке мнений предпринимателей или специалистов с опытом в данной области знаний. Конкурентоспособность метода составила 3,9, в результате чего видно, что данная разработка является конкурентоспособной и имеет весомое преимущество.

Опираясь на полученные данные, следует сказать, что преимущество данного метода оценки риска заключается в возможности его применения для неповторяющихся событий и в условиях недостаточного количества статистических данных, требующихся для выявления вероятностей. Также этот метод находит свое применение в промышленности, а в частности на предприятиях, эксплуатирующих ГТС, так как этот метод затрачивает минимум времени на свою реализацию, он является основным для российских компаний. Экспертный метод является компактным и безопасным в использовании.

Наиболее сильным конкурентом можно считать комбинированный метод оценки риска, он стабилен, удобен в использовании, но имеет высокую цену для его реализации и плохую возможность внедрения в систему.

Наименее конкурентоспособен аналитический метод, так как он обладает низкой возможностью внедрения, высокой ценой применения, не безопасен и имеет высокие затраты на ремонт.

5.1.3. SWOT-анализ

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

На первом этапе SWOT анализа в таблице 15 были описаны сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы реализации научного исследования.

Таблица 15 – Матрица SWOT анализа

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1. Богатый природно-ресурсный потенциал; С2. Надежное оборудование; С3. Наличие разнообразных природных ресурсов; С4. Эффективное управление (минимизация издержек); С5. Квалифицированный персонал.	В1. Сохранение конкурентоспособности на рынке; В2. Расширение рынка сбыта; В3. Поддержка государства в развитии ГТС; В4. Повышение курса иностранной валюты; В5. Эффективная реализация научно-технической политики компании.
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
Сл1. Низкая экологичность производства; Сл2. Высокий износ оборудования; Сл3. Вывод из эксплуатации устаревших мощностей и невозможность их замены новым оборудованием; Сл4. Необходимость вкладывать значительные ресурсы в исследование новых месторождений.	У1. Рост цен на сырье и энергоносители; У2. Рост конкуренции; У3. Неопределенность политической и экономической ситуации; У4. Рост государственного налогообложения; У5. Проблема с поставками оборудования для модернизации производства.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (сильное соответствие сильных сторон), либо знаком «-» (слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить. Интерактивная матрица проекта представлена в таблицах 16, 17. Таблица 16 - Интерактивная матрица сильных и слабых сторон и возможностей

	Сильные стороны						Слабые стороны			
		С1	С2	С3	С4	С5	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Возможности проекта	В1	+	+	+	+	-	-	-	-	-
	В2	+	+	+	+	-	-	-	-	-
	В3	+	-	+	-	-	-	-	+	+
	В4	-	-	+	-	-	-	-	-	-
	В5	+	+	+	+	+	-	-	-	-

Таблица 17 - Интерактивная матрица сильных сторон и слабых сторон и угроз

	Сильные стороны						Слабые стороны			
		С1	С2	С3	С4	С5	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Угрозы проекта	У1	-	-	-	-	-	-	-	-	+
	У2	-	-	+	-	-	+	-	-	+
	У3	-	-	-	-	-	-	-	-	+
	У4	-	-	-	-	-	-	-	-	+
	У5	-	-	-	+	-	-	+	+	-

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 18.

Таблица 18 - Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны	Слабые стороны
	С1. Богатый природно-ресурсный потенциал; С2. Надежное оборудование; С3. Наличие разнообразных природных ресурсов; С4. Эффективное управление (минимизация издержек); С5. Квалифицированный персонал.	Сл1. Низкая экологичность производства; Сл2. Высокий износ оборудования; Сл3. Вывод из эксплуатации устарелых мощностей и невозможность их замены новым оборудованием; Сл4. Необходимость вкладывать значительные ресурсы в исследование.
Возможности во внешней среде В1. Сохранение конкурентоспособности на рынке; В2. Расширение рынка сбыта; В3. Поддержка государства в развитии ГТС; В4. Повышение курса иностранной валюты (рост прибыли, т. к. цена зависит от мировых котировок); В5. Эффективная реализация научно-технической политики компании.	В1В2С1С2С3С4 Сохранение конкурентоспособности на рынке и расширение рынка сбыта минимизирует издержки. В3С1С3 Поддержка государства в развитии ГТС приведет к эффективному управлению. В4С3 Повышение курса иностранной валюты (рост прибыли, т. к. цена зависит от мировых котировок) способствует увеличению наличия разнообразных природных ресурсов. В5С1С2С3С4С5 Эффективная реализация научно-технической политики компании способствует богатому природно-ресурсному потенциалу, развитию надежного оборудования, наличию разнообразных природных ресурсов, эффективному управлению, квалифицированному персоналу.	В3Сл3Сл4 Сохранение конкурентоспособности на рынке способствует выводу из эксплуатации устарелых мощностей и невозможность их замены новым оборудованием и пропадает необходимость вкладывать значительные ресурсы в исследование.
Угрозы внешней среды	У2С3 Наличие	У1У3У4Сл4 Из-за роста цен

У1. Рост цен на сырье и энергоносители; У2. Рост конкуренции; У3. Неопределенность политической и экономической ситуации; У4. Рост государственного налогообложения; У5. Проблема с поставками оборудования для модернизации производства.	разнообразных природных ресурсов поможет избежать рост конкуренции. У5С4 Эффективное управление (минимизация издержек) поможет решить проблему с поставками оборудования для модернизации производства.	на сырье и энергоносители, неопределенности политической и экономической ситуации и роста государственного налогообложения появляется необходимость вкладывать значительные ресурсы в исследование. У2Сл1 Из-за роста конкуренции возникает низкая экологичность производства. У5Сл2Сл3 В результате проблем с поставками оборудования для модернизации производства возникает вывод из эксплуатации устарелых мощностей и невозможность их замены новым оборудованием и необходимость вкладывать значительные ресурсы в исследование.
--	--	--

На основании произведенного SWOT-анализа можно сделать вывод, что объединение сильных сторон и возможностей среды позволит преодолеть слабые стороны, а также устранить угрозы или уменьшить их влияние.

5.1.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в таблице 19.

Таблица 19 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№	Наименование	Степень проработанности	Уровень имеющихся
---	--------------	-------------------------	-------------------

		проекта	знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	5
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	2
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	2
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	2
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	4
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	4
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	3
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	50	40

Итоговые значения проработанности научного проекта и знания у разработчика лежат в диапазоне от 40 до 50, что говорит о средней перспективности проекта. Многие аспекты вывода продукта на рынок не были учтены, а также проявляется недостаток знаний. Следовательно, требуется дополнительные затраты на наём или консультации у соответствующих специалистов.

5.2. Планирование научно-исследовательских работ

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, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 20.

Таблица 20 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Разработка технического задания	Руководитель
	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
Теоретическая подготовка	3	Выбор направления исследования	Руководитель, Инженер
	4	Календарное планирование работ по проекту	Руководитель, Инженер
	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
Проведение расчетов и их анализ	6	Построение моделей и проведение экспериментов	Инженер
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер
	8	Оценка эффективности полученных результатов исполнителя	Руководитель, Инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, Инженер

5.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение

трудоемкости работ каждого из участников научного исследования. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используем следующую формулу:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (5)$$

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

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

$t_{\max i}$ – 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.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{\chi_i}, \quad (6)$$

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

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

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

5.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (7)$$

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.

Для определения календарных дней выполнения работы необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (8)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Расчет трудоемкости и продолжительности работ, на примере задачи «Разработка технического задания»:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8$$

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i} = \frac{1,8}{1} = 1,8 \text{ раб. дней}$$

Расчет календарного коэффициента для пятидневной рабочей недели:

$$k = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{праз}}} = \frac{365}{365 - 89 - 29} = 1,48$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Подбор и изучение материалов по теме»:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 15,4 \cdot 1,48 = 22,79 \approx 23 \text{ кал. дня}$$

Все полученные значения в календарных днях округляются до целого числа и сводятся в таблицу 21.

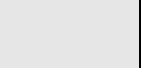
Таблица 21 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел – дни		t_{max} , чел – дни		$t_{\text{ож}i}$, чел – дни		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
Разработка технического задания	1	-	3	-	1,8	-	1,8	-	2	-
Подбор и изучение материалов по теме	-	13	-	19	-	15,4	-	15,4	-	23

Выбор направления исследования	4	4	6	6	4,8	4,8	2,4	2,4	3	4
Календарное планирование работ по проекту	3	2	6	4	4,2	2,8	2,1	1,4	3	2
Проведение теоретических расчетов и обоснований	-	7	-	10	-	8,2	-	8,2	-	10
Построение моделей и проведение экспериментов	-	17	-	21	-	18,6	-	18,6	-	27
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	2	2	4	6	2,8	3,6	1,4	1,8	2	3
Оценка эффективности полученных результатов исполнителя	-	2	-	5	-	3,2	-	3,2	-	5
Определение целесообразности проведения ВКР	2	1	4	2	2,8	1,4	1,4	0,7	2	1
Оформление отчета	-	3	-	6	-	4,8	-	4,8	-	7

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 22).

Таблица 22 – Диаграмма Ганта

Вид работ	Исполнители	Длит-ь, Т _{кi}	Продолжительность выполнения работ				
			февраль	март	апрель	май	июнь
Разработка технического задания	Руководитель	2					
Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	23					
Выбор направления исследования	Руководитель Инженер	3,4					
Календарное планирование работ по проекту	Руководитель Инженер	3,2					
Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	12					

Построение моделей и проведение экспериментов	Инженер	27						
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель Инженер	2,3						
Оценка эффективности полученных результатов исполнителя	Инженер	5						
Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель Инженер	2,1						
Оформление отчета по НИР	Инженер	7						

	Руководитель		Инженер
--	--------------	--	---------

5.3. Бюджет затрат

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

5.3.1. Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта, расчет представлен в таблице 23.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (9)$$

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, м² 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.

Таблица 23 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Бумага	лист	250	2	1000
Ручка	шт.	3	15	45
Карандаш	шт.	3	20	60
Мультифора	шт.	20	2	40
Интернет	М/бит (пакет)	3	350	1050
Электроснабжение	кВт·ч	700	2,45	326
Картридж	шт.	2	900	1800
Флешка USB	шт.	1	500	500
Сетевой фильтр	шт.	1	230	230
Итого				5051

Общие «материальные затраты» составляют 5051 руб.

5.3.2. Расчет амортизации специального оборудования

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования. В таблице 24 представлены затраты на оборудование.

Таблица 24 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Персональный компьютер (ноутбук)	1	3	3,5	3,5
2	Принтер	1	3	40	40
Итого				43,5 тыс. руб.	

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n} \quad (10)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m \quad (11)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

m – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для принтера и компьютера, с учётом, что срок полезного использования 3 года:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,33$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Принтер:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 3500}{12} \cdot 4 = 385 \text{ руб.}$$

Ноутбук:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 40000}{12} \cdot 4 = 4400 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 385 + 4400 = 4785 \text{ руб.}$$

5.3.3. Основная заработная плата исполнителей темы

Заработная плата руководителя и инженера включает основную заработную плату и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп} \quad (12)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (15 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя и инженера рассчитана по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p \quad (13)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

где $Z_{\text{м}}$ – 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;

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

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (15)$$

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

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

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

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

Месячный должностной оклад руководителя, руб.:

$$Z_{\text{м1}} = Z_{\text{тс1}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 30000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 58500 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад инженера, руб.:

$$Z_{\text{м2}} = Z_{\text{тс2}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 15000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 29250 \text{ руб.}$$

Таблица 25 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	66	104
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	24
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	237	251

Среднедневная заработная плата руководителя, руб.:

$$З_{дн1} = \frac{З_{м1} \cdot М}{F_{д2}} = \frac{58500 \cdot 10,3}{237} = 2531,72 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата инженера, руб.:

$$З_{дн2} = \frac{З_{м1} \cdot М}{F_{д2}} = \frac{29250 \cdot 11,2}{251} = 1300 \text{ руб.}$$

Рассчитаем рабочее время:

Руководитель: $T_{p1} = 12$ раб. дней

Инженер: $T_{p2} = 84$ раб. дня

Основная заработная плата научного руководителя составила:

$$З_{осн1} = З_{дн1} \cdot T_{p1} = 2531,72 \cdot 12 = 30\,380,67 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата инженера составила:

$$З_{осн2} = З_{дн2} \cdot T_{p2} = 1300 \cdot 84 = 109\,200 \text{ руб.}$$

Таблица 26 – Расчет основной заработной платы научного руководителя и студента

Исполнители	З _{тс} , руб.	к _{пр}	к _д	к _р	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	30000	0,3	0,2	1,3	58500	2531,72	12	30380,67
Инженер	15000	0,3	0,2	1,3	29250	1300	84	109200
Итого								139580,67

5.3.4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}, \quad (16)$$

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

Таблица 27 – Дополнительная заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	30380,67	109200
Дополнительная зарплата	3645,68	13104

5.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (17)$$

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

Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

Отчисления во внебюджетные фонды для руководителя:

$$З_{внеб1} = k_{внеб} \cdot (З_{осн1} + З_{доп1}) = 0,3 \cdot (30380,67 + 3645,68) = 10207,9 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера:

$$З_{внеб2} = k_{внеб} \cdot (З_{осн2} + З_{доп2}) = 0,3 \cdot (109200 + 13104) = 36691,2 \text{ руб.}$$

Таким образом, общие затраты на отчисления во внебюджетные фонды:

$$З_{общ} = З_{внеб1} + З_{внеб2} = 10207,9 + 36691,2 = 46899,1 \text{ руб.}$$

5.3.6. Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$З_{накл} = (\sum \text{статей}) \cdot k_{нр} = (A + З_{м} + З_{осн} + З_{доп} + З_{внеб}) \cdot k_{нр} \quad (18)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, величина коэффициента принимается равной 0,2;

A - суммарные затраты амортизационных отчислений, равные 4785 руб.;

$З_{м}$ - общие «материальные затраты», которые составляют 5051 руб.;

$З_{осн}$ - основная заработная плата научного руководителя и студента, которая соответствует 139580,67 руб.;

$Z_{\text{доп}}$ - дополнительная заработная плата научного руководителя и студента, которая соответствует 16749,68 руб.;

$Z_{\text{внеб}}$ - общие затраты на отчисления во внебюджетные фонды составляют 46899,1 руб.

Общие накладные расходы составили:

$$Z_{\text{общ}} = (4785 + 5051 + 87750 + 139580,67 + 16749,68 + 46899,1) \cdot 0,2 = 60163,1 \text{ руб.}$$

5.3.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 28.

Таблица 28 –Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Всего
1. Материальные затраты НТИ	5051
2. Затраты на оборудование	4785
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	139580,67
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	16749,68
5. Отчисления на социальные нужды	46899,1
6. Накладные расходы	60163,1
7. Бюджет затрат НТИ	273228,6

5.4. Определение эффективности исследования

5.4.1. 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 определяется как:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (19)$$

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

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

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

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп}} = \frac{273228,6}{330000} = 0.82;$$

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

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i \quad (20)$$

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 – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 29.

Таблица 29 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Руководитель	Инженер
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	5
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	4
3. Помехоустойчивость	0,15	3	4
4. Энергосбережение	0,20	4	2
5. Надежность	0,25	5	3
6. Материалоемкость	0,15	4	5
ИТОГО	1	4,15	3,6

$$I_{\text{р-рук}} = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 4,15;$$

$$I_{\text{р-инж}} = 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 3 + 0,2 \cdot 2 + 0,15 \cdot 5 = 3,6;$$

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

$$I_{\text{рук}} = \frac{I_{\text{р-рук}}}{I_{\text{фин.р}}^{\text{рук}}} = \frac{4,15}{1} = 4,15$$

$$I_{\text{инж}} = \frac{I_{\text{р-инж}}}{I_{\text{фин.р}}^{\text{инж}}} = \frac{3,6}{0,82} = 4,69;$$

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

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп2}}}{I_{\text{исп1}}} \quad (21)$$

Таблица 30 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Руководитель	Инженер
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,82
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,15	3,6
3	Интегральный показатель эффективности	4,15	4,69
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,89	1

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населений, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

Данная работа эффективна в первую очередь потому, что применение экспертного метода имеет большой потенциал в применении, так как разработка метода оценки риска аварий на объекте позволит предвидеть потенциально опасные факторы, тем самым снизить риск возникновения ЧС в регионе. Результаты исследования, могут быть применены для разработки мероприятий, направленных на снижение вероятности реализации ЧС.

5.5. Вывод по разделу финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор экспертного метода оценки рисков, это наиболее эффективно и целесообразно;

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 96 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 84 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель – 12;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 273228,6 руб.;

4. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:

- Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 1, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной, по сравнению с аналогами;

- Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,15 по сравнению с 3,6;

- Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,15, по сравнению с 4,69, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Целью раздела «Социальная ответственность» является создание оптимальных норм для улучшения условий труда, обеспечения производственной безопасности человека, повышение его производительности, сохранение работоспособности в процессе деятельности, а также охраны окружающей среды.

Гидротехнические сооружения ГЭС являются объектами повышенного риска. Аварии на гидротехнических сооружениях могут привести к обширному затоплению территории и образованию зоны катастрофического затопления.

В состав ГТС рассматриваемого объекта входят: бетонная гравитационная и каменно-набросная плотины, здание ГЭС. В здании ГЭС находится машинный зал, в котором расположены два мостовых крана грузоподъемностью 525 тонн, пролетом 26 метров, которые предназначены для строительно-монтажных и ремонтных работ в период эксплуатации ГЭС.

Рабочим местом крановщика является кабина управления закрытого типа, которая располагается на мосту крана в месте, обеспечивающем наилучший обзор и безопасность крановщика. В остеклении кабины находятся открывающиеся фрамуги для естественной вентиляции кабины и повышения удобства протирки наружной поверхности стекол. Стены кабины покрыты хорошо моющимися материалами, окраска стен светлая, не утомляющая зрение. Для электробезопасности пол выполнен в виде диэлектрического настила. Для освещения кабины в потолке установлен матовый плафон.

6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.1.1. Правовые нормы трудового законодательства

Режим рабочего времени должен предусматривать продолжительность рабочей недели, работу с ненормированным рабочим днем для отдельных категорий работников, продолжительность ежедневной работы, в том числе неполного рабочего дня, время начала и окончания работы, время перерывов в работе, число смен в сутки, чередование рабочих и нерабочих дней [22].

Защита персональных данных – комплекс мер, направленный на обеспечение конфиденциальности информации, которая связана с физическим лицом. Работодатель обязан охранять общие, специальные и биометрические персональные данные сотрудников. Необходимо следить, чтобы сведения оставались скрытыми, защищенными и не переходили в третьи руки.

Заработная плата - вознаграждение за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, а также компенсационные выплаты и стимулирующие выплаты.

Нормирование труда - исследование количества выполняемой сотрудником работы за промежуток времени, что позволяет оценить трудоемкость работ. Нормы труда устанавливает работодатель с учетом действующих типовых норм, в том числе межотраслевых [23].

Трудовым Кодексом на сегодняшний момент устанавливаются следующие компенсации при работе во вредных условиях труда: сокращенная продолжительность рабочего времени — не более 36 часов в неделю; ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск — не менее 7 календарных дней; повышение оплаты труда — не менее 4 процентов тарифной ставки, установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда.

При работах на высоте работодатель должен обеспечить применение: защитных ограждений высотой 1,1 м и более; инвентарных конструкций лесов, подмостей, устройств и средств подмащивания, применением подъемников, строительных фасадных подъемников, подвесных лесов, люлек, машин или механизмов; средств коллективной и индивидуальной защиты.

6.1.2. Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны

Пол в зоне нахождения оператора крана должен быть свободен от препятствий, о которые можно споткнуться и изготовлен из материалов, препятствующих скольжению [24].

Органы управления механизмом подъема крана должны быть размещены с правой стороны, а передвижения - с левой стороны от оператора крана [25].

Расположение аварийного выхода не должно оказаться заблокированным, его минимальные размеры должны составлять 0,6 * 0,6 м, 0,5 м * 0,65 м или диаметр 0,6 м.

Кабина должна быть оборудована стационарным, прочно закрепленным сиденьем для крановщика. Покрытия сидений должны быть изготовлены из воздухопроницаемого, моющегося нетоксичного материала. Сиденье должно отвечать требованиям: спинка оборудована подголовником для поддержки спины и головы; подушка сиденья снабжена регулируемой поддержкой для коленей; при необходимости сиденье оборудовано амортизаторами для гашения нежелательных колебаний и вибрации. Также кабины кранов должны быть оборудованы: вешалкой с крючками для одежды; местом для хранения технической документации, инструмента и аптечки первой помощи; съемной термоизолированной емкостью для питьевой воды; местом для огнетушителя. Индикаторы и дисплеи с оперативной информацией должны быть хорошо видны и удобно располагаться по отношению к оператору [26]. Кабина должна быть оборудована внутренним освещением, освещенность которой на рабочих поверхностях органов управления должна быть не менее 20 лк.

6.2. Производственная безопасность

Основную работу крановщик выполняет в кабине мостового крана - сидя. Его класс условий труда соответствует 3.2 (вредные условия труда 2 степени). В таблице 31 представлены возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте крановщика.

Таблица 31 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте крановщика

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
------------------------------	-----------------------

Опасные факторы	1. Действие силы тяжести в тех случаях, когда оно может вызвать падение работающего с высоты;	Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 16.01.2020 №782н об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте [27].
	2. Электрический ток, вызываемый разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий;	ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов [28].
	3. Короткое замыкание в электроустановке;	ГОСТ 26522-85 Короткие замыкания в электроустановках [29].
	4. Ударные волны воздушной среды;	ГОСТ 12.1.010-76 Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования [30].
Вредные факторы	1. Повышенный уровень локальной вибрации;	ГОСТ 31192.1-2004 (ИСО 5349-1:2001) Вибрация [31].
	2. Повышенный уровень шума;	ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности [32].
	3. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [33].
	4. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего;	ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением № 1) [34].
	5. Монотонность труда, вызывающая монотонию;	Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда [35].
	6. Активное наблюдение за ходом производственного процесса;	
	7. Длительное сосредоточенное наблюдение.	

6.2.1. Действие силы тяжести в тех случаях, когда оно может вызвать падение работающего с высоты

Источник возникновения фактора: скользкие поверхности пола, образовавшиеся в результате разливов и протечек технических жидкостей, малозаметные препятствия на полу. Действие фактора: риск получения ушибов, переломов конечностей, смертельный исход. Меры профилактики [27]: уборка разливов жидкостей с пола, устранение малозаметных препятствий, использование средств индивидуальной защиты – каски, проведение инструктажей по охране труда, выдача наряда допуска при работе на высоте.

Условия труда по опасному фактору - действие силы тяжести на рассматриваемом объекте соответствуют нормам.

6.2.2. Электрический ток

В кабине для управления используется электрический ток, который является источником опасности. Поражение электрическим током может произойти при прикосновении к токоведущим и нетокоевдущим частям, в результате возникает сильный нагрев тканей и развитие ожога, а также к нарушению работы внутренних органов человека. Для электробезопасности пол выполнен в виде диэлектрического настила, который покрыт по всей площади, также для работника проводятся инструктажи по электробезопасности.

Предельно допустимые напряжения прикосновения и токи для человека устанавливаются ГОСТ 12.1.038-82 [28] при аварийном режиме работы электроустановок постоянного тока частотой 50 и 400 Гц. Для переменного тока частотой 50 Гц допустимое значение напряжения прикосновения составляет 2 В, а силы тока — 0,3 мА, для тока частотой 400 Гц соответственно - 2 В и 0,4 мА; для постоянного тока — 8 В и 1 м (не более 10 мин в сутки).

Условия труда по опасному фактору – действие электрического тока на рассматриваемом объекте соответствуют допустимым нормам.

6.2.3. Короткое замыкание в электроустановке

Короткое замыкание в цепи происходит по причине замыкания двух проводов под напряжением, между которыми случайно оказалось очень малое сопротивление. Если в момент замыкания человек находится рядом с источником, то он может получить ожоги, повреждения тканей и органов.

Предельно допустимые напряжения прикосновения и токи для человека устанавливаются ГОСТ 12.1.038-82 [28].

Для предотвращения развития короткого замыкания самым эффективным методом является установка автоматического выключателя или же плавких предохранителей, регулярный осмотр электропроводки. Для работника

предусмотрены СИЗ: диэлектрические ботинки и перчатки, каски, изолирующие подставки и коврики.

Условия труда по опасному фактору – короткое замыкание в электроустановке на рассматриваемом объекте соответствуют допустимым нормам.

6.2.4. Ударная волна

Причинами разрушения или разгерметизации оборудования могут быть: внешние механические воздействия, старение систем; нарушение технологического режима; конструкторские ошибки; изменение состояния герметизируемой среды; ошибки обслуживающего персонала и т. д, все это может повлечь травмирование или смертельный исход.

Основным требованием к конструкции оборудования является надежность обеспечения безопасности возможности осмотра и ремонта. Специальные требования предъявляются к сварным швам. Они должны быть доступны для контроля при изготовлении, монтаже и эксплуатации, располагаться вне опор сосудов [30].

Условия труда по опасному фактору – ударные волны воздушной среды на рассматриваемом объекте соответствуют допустимым нормам.

6.2.5. Вибрация

Источник вибрации – механическое колебание твердых тел. Систематическое воздействие локальной вибрации приводит к вибрационной болезни, которая характеризуется нарушениями физиологических функций организма, связанными с поражением центральной нервной системы.

Нормативным документом, рассматривающим уровни вибрации для различных категорий рабочих мест, служебных помещений является ГОСТ 31192.1-2004 [31]. Нормируемый диапазон частот: для локальной вибрации - в виде октавных полос со среднегеометрическими частотами 1; 2; 4; 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц. Для защиты от вибрации предусматриваются: обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты по ГОСТ 12.4.011 – 89 [36]; виброизолирующие материалы под оборудование.

Условия труда по вредному фактору – повышенный уровень локальной вибрации на рассматриваемом объекте соответствуют допустимым нормам.

6.2.6. Шум

Источником шума на рассматриваемом объекте является работа гидроагрегатов. В результате длительного воздействия шума нарушается деятельность сердечно-сосудистой, нервной, кровеносной, пищеварительной систем, развивается тугоухость, что может привести к потере слуха.

Уровни шума на рабочих местах не должны превышать значений, установленных ГОСТ 12.1.003-2014 [32] и составляют не более 50 дБА. На рабочих местах в помещениях для размещения шумных агрегатов уровень шума не должен превышать 75 дБА.

Для защиты от шума предусматриваются: обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты по ГОСТ 12.4.011 – 89 [36]; установка звукоизолирующих кабин; звукоизолирующие кожухи и экраны.

Условия труда по вредному фактору - превышения уровня шума на рассматриваемом объекте соответствуют допустимым нормам.

6.2.7. Освещение

Недостаточное освещение рабочего места вызывает быструю усталость и болезни глаз, снижает внимательность значительно уменьшает производительность труда, а также увеличивает вероятность несчастных случаев на производстве. Согласно нормам искусственного освещения, нормируемая освещенность в кабине крановщика должна составлять 150 лк [33].

Рекомендуется порядок мероприятий по устройству освещения: определение площади, подлежащей освещению, площади наибольшей концентрации работ; установление нормы освещенности поля зрения в зависимости от разряда зрительных работ; выбор системы освещения; выбор источников света и расчета их необходимого количества; выполнение проекта распределения осветительных средств с учетом параметров их установки и необходимости обеспечения равномерного распределения светового потока.

Условия труда по вредному фактору - отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения на рассматриваемом объекте соответствуют допустимым нормам.

6.2.8. Микроклимат

Микроклимат - климат внутренней среды помещений, который определяется совместно действующими на человека температурой, относительной влажностью и скоростью движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей [34]. Отклонение параметров микроклимата, снижают работоспособность, ухудшают самочувствие работника.

Оптимальные для человека значения этих параметров в зависимости от категории выполняемой работы - легкая, средней тяжести, тяжелая, - оптимальными температурами воздуха в таких помещениях признаны соответственно 20-22 °С, 17-19 °С и 16-18 °С, при относительной влажности воздуха в пределах 60-30% и скорости движения воздуха не более 0,2-0,3 м/с.

Для поддержания микроклимата предусматриваются приточная и вытяжная вентиляции, нагреватели и кондиционеры. Профилактика перегрева работников осуществляется организацией режима труда и отдыха, использования средств индивидуальной защиты.

Условия труда по вредному фактору – аномальные микроклиматические параметры на рассматриваемом объекте соответствуют допустимым нормам.

6.2.9. Монотонность труда

Монотонность труда - однообразная работа, характеризующаяся выполнением не очень сложных однотипных и заданных по ритму операций, которая вызывает ряд неблагоприятных последствий как снижение работоспособности, рост травматизма, заболеваемости, которые приводят к значительному снижению эффективности труда в целом.

Для того чтобы снизить монотонность труда необходимо сменять физическую работу на умственную, соблюдать время работы и отдыха с помощью регламентированных перерывов.

Условия труда по вредному фактору – монотонность труда на рассматриваемом объекте соответствуют допустимым нормам.

6.2.10. Активное наблюдение за ходом производственного процесса

Также как и монотонность труда активное наблюдение за ходом производственного процесса вызывает снижение работоспособности, рост травматизма, которые приводят к снижению эффективности труда. Здесь также необходимо сменять физическую работу на умственную, соблюдать время работы и отдыха.

6.2.11. Длительное сосредоточенное наблюдение

Данный вредный фактор аналогично предыдущим вызывает снижение работоспособности и рост травматизма, которые приводят к снижению эффективности труда. Также необходимо соблюдать время работы и отдыха.

6.3. Экологическая безопасность

6.3.1. Воздействие на селитебную зону

Авария на сооружениях ГЭС сопровождается образованием волны прорыва, катастрофическим затоплением местности, повреждением и разрушением материальных ценностей, нанесением ущерба окружающей среде, а также возникновением реальной угрозы массовой гибели людей и сельскохозяйственных животных.

Основные меры по защите населения при гидродинамических авариях: своевременное оповещение населения; самостоятельный выход населения из зоны возможного затопления; организованная эвакуация населения; укрытие населения на незатопленных частях зданий и сооружений, на возвышенных участках местности; организация и проведение АСР в зоне затопления; оказание помощи пострадавшим; проведение неотложных работ по обеспечению жизнедеятельности населения.

6.3.2. Воздействие на литосферу

В результате аварии на сооружениях ГЭС возникает волна прорыва, которая способна смывать плодородные слои почвы. В результате смыва плодородного слоя уменьшается содержание гумуса,

ухудшаются агрофизические свойства почвы, усиливается засоренность, снижается урожайность сельскохозяйственных культур.

Для предотвращения смыва плодородного слоя почвы в водный объект должны быть предусмотрены противоэрозионные мероприятия, включая работы по задернению нарушенных земель в границах водоохранных зон.

6.3.3. Воздействие на гидросферу

При возникновении аварии на сооружениях ГЭС на гидросферу оказывается негативное воздействие: масло из ванн смазки подпятников гидроагрегатов, из разрушенных систем управления направляющими аппаратами и трансформаторов может попасть в воду, что приведет к гибели флоры и фауны, также в близлежащих населенных пунктах из-за выхода из строя фильтров очистки приостановится водозабор из реки, что вызовет нарушение централизованного водоснабжения.

С целью недопущения дальнейшего распространения масла по реке устанавливаются боновые заграждения, также для облегчения сбора масла применяется специальный сорбент.

6.3.4. Воздействие на атмосферу

Гидроэлектростанция является экологически чистым производством, она не загрязняет атмосферу, не выбрасывает в воздух вредные газообразные выбросы, поэтому считаем, что рассматриваемый объект никак не воздействует на атмосферу.

6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возникновению ЧС на сооружениях ГЭС способствуют различные факторы, такие как: природные катастрофы (наводнения, ураган, цунами, торнадо и др.); геологические воздействия (землетрясения, извержения вулканов, оползни, сели, снежные лавины, и др.) и техногенные аварии (отказ систем безопасности; недостаточная пропускная способность водосбросов, потеря внешнего электропитания, пожар, разрушение основания плотины и др.).

Наиболее вероятная ЧС на рассматриваемом объекте — это разрушение основания плотины. Возможные причины разрушения основания: потеря статической устойчивости низовой призмы плотины; максимальное расчетное землетрясение; суффозия в основании плотины; суффозия в теле плотины; нарушение водонепроницаемости противофильтрационных устройств плотины.

После поступления сообщения об опасности разрушения плотины необходимо переместиться на ближайший возвышенный участок местности и оставаться там пока не придут спасатели или не спадет вода. При перемещении по местности нужно соблюдать осторожность и сообщать о повреждениях и разрушениях энергетических сетей, канализационных и водопроводных магистралей в соответствующие службы.

С целью предотвращения или уменьшения последствий затопления организуется выполнение мероприятий: укрепление ГТС для задержки водных и селевых потоков; разрушение заторов; снижение интенсивности таяния снега и льда; накопление аварийных материалов для заделывания пробоин.

6.5. Вывод

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрено рабочее место оператора крана и выявлено, что фактические значения потенциально возможных факторов соответствуют нормативным значениям.

Категория помещения по электробезопасности, согласно ПУЭ, соответствует 1 категории (помещение без повышенной опасности). Категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности – категория Д (пониженная пожароопасность). Категория объекта, оказывающего значительное негативное воздействие на окружающую среду – IV категория.

Операторам кранов с электрическим приводом присваивается квалификационная группа по электробезопасности не ниже II, а допущенным к осмотру и регулировке электрооборудования не ниже III. Его класс условий труда соответствует 3.2 (вредные условия труда 2 степени).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения бакалаврской работы был проведен анализ литературных источников по статистическим данным аварий на гидротехнических сооружениях ГЭС. Показана актуальность данной темы.

Проведен анализ функционирования опасного производственного объекта – гидроэлектростанция с установленной мощностью 2997 МВт и производством электроэнергии 17,6 млрд. кВтч в год, объёмом водохранилища – 58220 тыс. м³, площадью водохранилища 2326 км².

На основании литературных данных, технической документации объекта были определены исходные события, которые в дальнейшем могут привести к затоплению нижнего бьефа, составлено дерево причин. Определены три наиболее значимые причины: образование прорана в теле и/или основании плотины, разрушение гидроагрегата и перелив через гребень плотины.

Используя метод экспертных оценок, были оценены вероятности возможных причин затопления нижнего бьефа. Эксперты оценивали по пятибалльной шкале вероятность наступления 30 факторов и событий, которые могут привести к затоплению нижнего бьефа. С помощью коээффициента конкордации Кендалла (составил 0.42) показана согласованность мнений экспертов. В результате были выявлены наиболее и наименее вероятные события, способные привести к рассматриваемой ЧС.

Наиболее вероятным событием является образование прорана в теле и/или основании плотины.

Составлены вероятностные модели развития чрезвычайной ситуации, а также создано «дерево последствий» при реализации ЧС на гидротехнических сооружениях ГЭС.

Оценена степень разрушения зданий в городе, железнодорожного и автомобильного мостов и дорог с различным покрытием при реализации сценария с наибольшим ущербом.

- Высота гребня волны прорыва $h = 26,93$ м.
- Скорость волны прорыва $v = 6,44$ м/с.

- Время прихода гребня волны прорыва составляет $t_{гр} (ч) = 2,98$ ч.
- Время прихода фронта волны прорыва соответствует $t_{ф} (ч) = 1,16$ ч.
- Продолжительность затопления территории города $t_{зат} = 3,78$ ч.
- Глубина затопления ближайшего населенного пункта $h_з = 4,93$ м.

В результате расчетов показано, что в ближайшем населенном пункте полностью будут разрушены деревянные дома (1-2 этажа), сильно разрушены кирпичные малоэтажные здания (1-3 этажа), промышленные здания с легким металлическим каркасом и здания бескаркасной постройки, кирпичные дома средней этажности (4 этажа) получают средние разрушения промышленные здания с тяжелым металлическим и железобетонным каркасом. Велика опасность сильного разрушения дорог с гравийным покрытием. Шоссейные дороги с асфальтовым и бетонным покрытием также подвергнутся сильному разрушению и машины, проезжающие по ним во время аварии. Произойдет сильное разрушение мелких речных судов.

Предложены рекомендации по снижению вероятности возникновения ЧС в виде организационных мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соболев, С.В. Безопасность гидротехнических объектов: учеб. пособие /С.В. Соболев, А.В. Февралев; Нижегород. гос. архитектур. - строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2018. – 204 с; прилож. ISBN 978-5-528-00334-4
2. Потенциально опасные объекты. Оценка источников техногенной опасности - URL: <http://www.auto-edu.ru> (дата обращения 20.02.2022 г). - Текст: электронный.
3. Федеральный закон от 21.07.1997 № 117-ФЗ (ред. от 11.06.2021) «О безопасности гидротехнических сооружений» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2022).
4. Федеральный закон «О водоснабжении и водоотведении» от 07.12.2011 № 416-ФЗ (ред. от 28.01.2022).
5. Постановление Правительства РФ от 5 октября 2020 г. № 1607 «Об утверждении критериев классификации гидротехнических сооружений»
6. Макашев, В.А. Опасные ситуации техногенного характера и защита от них: учебное пособие / В.А. Макашев, С.В. Петров. – Москва: ЭНАС, 2008. – 191 с. ISBN 978-5-93196-920-6
7. СП 58.13330.2019 «СНиП 33-01-2003 Гидротехнические сооружения. Основные положения»
8. ГОСТ Р 22.2.09-2015. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Экспертная оценка уровня безопасности и риска аварий гидротехнических сооружений. Общие положения.
9. Векслер, А.Б. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска принятия решений / А.Б. Векслер, Д.А. Ивашинцов, Д.В. Стефанишин. – Санкт-Петербург.: ВНИИГ, 2002. - 591 с. ISBN 5-85529-089-1
10. МЧС России. Главное управление по республике Хакасия: официальный сайт. - Абакан. - Обновляется в течение суток. - URL: <https://19.mchs.gov.ru/deyatelnost/poleznaya-informaciya/rekomendacii->

naseleniyu/chs-tehnogenного-haraktera/gidrodinamicheskaya-avariya (дата обращения: 19.02.2022). - Текст: электронный.

11. ГОСТ 22.0.05-97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения (аутентичен ГОСТ Р 22.0.05-94).

12. Промышленные тепловые электростанции: учебник для вузов/ М.И. Баженов, А.С. Богородский, Б.В. Сазанов, В.Н. Юренев; под ред. Е.Я. Соколова. — 2-е изд., перераб. — Москва: Энергия, 1979. - 296 с. ISBN 5-283-00144-X: 30 к.

13. ICOLD – International Commission on Large Dams / Международная комиссия по большим плотинам (МКБП) - URL: <http://мимо.com.ua/info/229-icold-mezhdunarodnaya-komissiya-po-bolshim-plotinam-mezhdunarodnaya-komissiya-po-bolshim-plotinam-mkbp.html> (дата обращения: 23.04.2022). - Текст: электронный.

14. ГОСТ Р 58771-2019 Менеджмент риска. Технологии оценки риска.

15. Вишняков, Я. Д. Общая теория рисков: учебное пособие для студентов высших учебных заведений/ Я. Д. Вишняков, Н.Н. Радаев. – 2-е издание. – Москва: Академия, 2008. – 368 с. ISBN 978-5-7695-5396-7

16. ICOLD. Dam failures – statistical analysis. Bull. No. 99. – Paris. 1995.

17. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 10.12.2020 № 516 «Об утверждении Методики определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения (за исключением судоходных и портовых гидротехнических сооружений)».

18. Бешелев, С.Д. Экспертные оценки/ С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич - Москва: Наука, 1973. – 157с.

19. Мاستрюков, Б.С. Промышленная безопасность: учеб. метод. пособие / Б.С. Мاستрюков, О.М. Зиновьева, А.М. Меркулова, Н.А. Смирнова - Москва: МИСиС, 2015. - 148 с. - ISBN 978-5-87623-943-3.

20. Тетельмин, В.В. Плотина Саяно-Шушенской ГЭС: Состояние, процессы, прогнозы/ В.В. Тетельмин. - Москва: Либроком, 2010. - 234 с. - ISBN 978-5-397-01686-5
21. Марчук, А.Н. Напряженная анкеровка бетонных плотин/ А.Н. Марчук - Москва, Энергия, 1976. – 175 с.
22. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022)
23. Постановление Правительства РФ от 11 ноября 2002 г. № 804 «О Правилах разработки и утверждения типовых норм труда».
24. ГОСТ 33173.1-2014 Краны грузоподъемные. Кабины. Часть 1. Общие положения.
25. ГОСТ 33173.5-2014. Краны грузоподъемные. Кабины. Часть 5. Краны мостовые и козловые.
26. ГОСТ Р МЭК 60073-2000 «Интерфейс человеко-машинный. Маркировка и обозначения органов управления и контрольных устройств. Правила кодирования информации».
27. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 16.01.2020 №782н об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте.
28. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
29. ГОСТ 26522-85 Короткие замыкания в электроустановках.
30. ГОСТ 12.1.010-76. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования.
31. ГОСТ 31192.1-2004 (ИСО 5349-1:2001) Вибрация.
32. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
33. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.

34. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением № 1).

35. Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.

36. ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Опросный лист

Вам предложен опросный лист. К опросному листу имеются пояснения шкалы и таблицы. Вам нужно ознакомиться с ситуацией и присвоить вероятность к предложенным событиям, заполнить таблицу. При оценивании необходимо опираться на свои знания и опыт.

Описание: гидроэлектростанция с установленной мощностью 2997 МВт и производством электроэнергии 17,6 млрд.кВтч в год, объёмом водохранилища – 58220 тыс. м³, площадью водохранилища 2326 км².

Опросный лист. Вам необходимо определить вероятность наступления события по 5-бальной шкале:

- 1 балл – очень низкая, скорее всего не произойдет (1-20 %);
- 2 балла – низкая, маловероятно, что произойдет (21-40 %);
- 3 балла – средняя, вероятно, что произойдет (41-60 %);
- 4 балла – высокая, скорее всего произойдет (61-80 %);
- 5 баллов – очень высокая, произойдет раньше, чем ожидается (81- 100 %).

Таблица 32 - Опросный лист

№	Событие	Балл
Отказ кранового оборудования		
1	Потеря внешнего электропитания	
2	Неисправности приводных устройств	
Механические повреждения затворов		
3	Недоучет при проектировании особенностей работы затворов	
4	Значительные обмерзания и наледи	
5	Неправильные приемы эксплуатации	
Превышение максимально расчетного паводка		
6	Сход оползневой массы грунта в водохранилище	
7	Обильные дожди и/или снеготаяние	
8	Значительные водосбросы выше по течению	
Каменно-набросная плотина		
Потеря статической устойчивости плотины		
9	Превышение максимально расчетного землетрясения	
10	Сход оползневой массы грунта в водохранилище	
11	Сползание откосов	
12	Террористический акт	
Суффозия в теле плотины		
13	Превышение критической скорости воды	
14	Возникновение в подземных водах значительных сил гидродинамического	

	давления	
Суффозия в основании плотины		
15	Превышение критической скорости воды	
16	Возникновение в подземных водах значительных сил гидродинамического давления	
Потеря фильтрационной прочности плотины		
17	Отказ противofильтрационных элементов	
Бетонная плотина		
Потеря статической устойчивости плотины		
18	Отказы механического оборудования	
19	Превышение максимально расчетного землетрясения	
20	Террористический акт	
21	Сход оползневой массы грунта в водохранилище	
Превышение фильтрационных расходов в основании плотины		
22	Возникновение в подземных водах значительных сил гидродинамического давления	
23	Превышение критической скорости воды	
Превышение фильтрационных расходов в теле плотины		
24	Возникновение в подземных водах значительных сил гидродинамического давления	
25	Превышение критической скорости воды	
Потеря фильтрационной прочности плотины		
26	Отказ противofильтрационных элементов	
Разрушение гидроагрегата		
27	Заводские дефекты	
28	Неправильные действия персонала при отказе оборудования	
Превышение динамических нагрузок		
29	Разгерметизация водопроводящего тракта гидроагрегата	
Срыв крышки турбины		
30	Излом шпилек крепления	

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица 33 – Сводная таблица оценок экспертов по опросному листу

№	Событие	Номер эксперта										ср
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Отказ кранового оборудования												
1	Потеря внешнего электропитания	3	1	2	1	1	1	2	1	3	1	1,6
2	Неисправности приводных устройств	3	2	3	1	1	1	1	2	3	3	2
Механические повреждения затворов												
3	Недоучет при проектировании особенностей работы затворов	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1,2
4	Значительные обмерзания и наледи	4	3	2	1	1	1	4	3	2	1	2,2
5	Неправильные приемы эксплуатации	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Превышение максимально расчетного паводка												
6	Сход оползневой массы грунта в водохранилище	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	Обильные дожди и/или снеготаяние	4	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1,6
8	Значительные водосбросы выше по течению	3	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1,4
Каменно-набросная плотина												
Потеря статической устойчивости плотины												
9	Превышение максимально расчетного землетрясения	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1,8
10	Сход оползневой массы грунта в водохранилище	3	1	1	2	1	1	1	3	2	1	1,6
11	Сползание откосов	3	1	1	2	1	1	1	1	2	3	1,6
12	Террористический акт	2	2	3	2	1	2	2	2	1	3	2
Суффозия в теле плотины												
13	Превышение критической скорости воды	3	2	2	2	1	3	1	2	2	2	2
14	Возникновение в подземных водах значительных сил гидродинамического давления	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1,8
Суффозия в основании плотины												
15	Превышение критической скорости воды	3	1	2	2	1	1	2	2	3	1	1,8
16	Возникновение в подземных водах значительных сил гидродинамического давления	3	1	2	2	1	3	1	1	2	2	1,8
Потеря фильтрационной прочности плотины												
17	Отказ противofильтрационных элементов	3	2	2	2	1	1	3	2	2	2	2
Бетонная плотина												

Потеря статической устойчивости плотины												
18	Отказы механического оборудования	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1,4
19	Превышение максимально расчетного землетрясения	2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1,4
20	Террористический акт	1	1	3	1	1	2	2	1	1	1	1,4
21	Сход оползневой массы грунта в водохранилище	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1,2
Превышение фильтрационных расходов в основании плотины												
22	Возникновение в подземных водах значительных сил гидродинамического давления	3	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1,8
23	Превышение критической скорости воды	2	1	2	2	1	3	1	1	2	1	1,6
Превышение фильтрационных расходов в теле плотины												
24	Возникновение в подземных водах значительных сил гидродинамического давления	3	2	3	2	1	4	1	3	1	2	2,2
25	Превышение критической скорости воды	2	2	3	2	1	2	2	1	4	1	2
Потеря фильтрационной прочности плотины												
26	Отказ противofiltrационных элементов	3	2	3	2	1	4	4	1	1	1	2,2
Разрушение гидроагрегата												
27	Заводские дефекты	4	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1,6
28	Неправильные действия персонала при отказе оборудования	4	2	3	1	1	3	1	3	1	1	2,2
Превышение динамических нагрузок												
29	Разгерметизация водопроводящего тракта гидроагрегата	3	3	3	1	1	2	4	3	1	1	2,2
Срыв крышки турбины												
30	Излом шпилек крепления	3	1	3	1	1	2	2	1	1	3	1,8

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица 34 – Сводная таблица вероятностей событий по оценкам экспертов

№	Событие	Номер эксперта										ср
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Отказ кранового оборудования												
1	Потеря внешнего электропитания	0,01	0,00001	0,0001	0,00001	0,00001	0,00001	0,0001	0,00001	0,01	0,00001	0,002026
2	Неисправности приводных устройств	0,01	0,0001	0,01	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,0001	0,01	0,01	0,004024
Механические повреждения затворов												
3	Недоучет при проектировании особенностей работы затворов	0,0001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,0001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,000028
4	Значительные обмерзания и наледи	0,1	0,01	0,0001	0,00001	0,00001	0,00001	0,1	0,01	0,0001	0,00001	0,022024
5	Неправильные приемы эксплуатации	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
Превышение максимально расчетного паводка												
6	Сход оползневой массы грунта в водохранилище	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
7	Обильные дожди и/или снеготаяние	0,1	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,1	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,020008
8	Значительные водосбросы выше по течению	0,01	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,01	0,00001	0,00001	0,002008
Каменно-набросная плотина												
Потеря статической устойчивости плотины												

9	Превышение максимально расчетного землетрясения	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,00001	0,00001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,000082
10	Сход оползневой массы грунта в водохранилище	0,01	0,00001	0,00001	0,0001	0,00001	0,00001	0,00001	0,01	0,0001	0,00001	0,002026
11	Сползание откосов	0,01	0,00001	0,00001	0,0001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,0001	0,01	0,002026
12	Террористический акт	0,0001	0,0001	0,01	0,0001	0,00001	0,0001	0,0001	0,0001	0,00001	0,01	0,002062
Суффозия в теле плотины												
13	Превышение критической скорости воды	0,01	0,0001	0,0001	0,0001	0,00001	0,01	0,00001	0,0001	0,0001	0,0001	0,002062
14	Возникновение в подземных водах значительных сил гидродинамического давления	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,00001	0,0001	0,0001	0,00001	0,0001	0,0001	0,000082
Суффозия в основании плотины												
15	Превышение критической скорости воды	0,01	0,00001	0,0001	0,0001	0,00001	0,00001	0,0001	0,0001	0,01	0,00001	0,002044
16	Возникновение в подземных водах значительных сил гидродинамического давления	0,01	0,00001	0,0001	0,0001	0,00001	0,01	0,00001	0,00001	0,0001	0,0001	0,002044
Потеря фильтрационной прочности плотины												
17	Отказ противοfiltrацион	0,01	0,0001	0,0001	0,0001	0,00001	0,00001	0,01	0,0001	0,0001	0,0001	0,002062

	ных элементов											
Бетонная плотина												
Потеря статической устойчивости плотины												
18	Отказы механического оборудования	0,0001	0,0001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,0001	0,0001	0,00001	0,00001	0,000046
19	Превышение максимально расчетного землетрясения	0,0001	0,00001	0,0001	0,00001	0,00001	0,0001	0,0001	0,00001	0,00001	0,00001	0,000046
20	Террористический акт	0,00001	0,00001	0,01	0,00001	0,00001	0,0001	0,0001	0,00001	0,00001	0,00001	0,001027
21	Сход оползневой массы грунта в водохранилище	0,0001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,0001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,000028
Превышение фильтрационных расходов в основании плотины												
22	Возникновение в подземных водах значительных сил гидродинамического давления	0,01	0,00001	0,0001	0,0001	0,00001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,00001	0,001063
23	Превышение критической скорости воды	0,0001	0,00001	0,0001	0,0001	0,00001	0,01	0,00001	0,00001	0,0001	0,00001	0,001045
Превышение фильтрационных расходов в теле плотины												
24	Возникновение в подземных водах значительных сил гидродинамического давления	0,01	0,0001	0,01	0,0001	0,00001	0,1	0,00001	0,01	0,00001	0,0001	0,013033
25	Превышение	0,0001	0,0001	0,01	0,0001	0,00001	0,0001	0,0001	0,00001	0,1	0,00001	0,011053

	критической скорости воды											
Потеря фильтрационной прочности плотины												
26	Отказ противофильтрационных элементов	0,01	0,0001	0,01	0,0001	0,00001	0,1	0,1	0,00001	0,00001	0,00001	0,022024
Разрушение гидроагрегата												
27	Заводские дефекты	0,1	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,0001	0,0001	0,0001	0,00001	0,00001	0,010036
28	Неправильные действия персонала при отказе оборудования	0,1	0,0001	0,01	0,00001	0,00001	0,01	0,00001	0,01	0,00001	0,00001	0,112015
Превышение динамических нагрузок												
29	Разгерметизация водопроводящего тракта гидроагрегата	0,01	0,01	0,01	0,00001	0,00001	0,0001	0,1	0,01	0,00001	0,00001	0,014014
Срыв крышки турбины												