

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
Направление подготовки Теплоэнергетика и теплотехника
Кафедра теоретической и промышленной теплотехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Математическое моделирование смешанной конвекции в водоеме-охладителе при различной тепловой нагрузке на внешних границах

УДК 621.311.22:556:550.3 536.24.02:519.875

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2Б	Харченко Ульяна Алексеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Максимов В.И.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Попова С.Н.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Дашковский А.Г.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПТ	Кузнецов Г.В.	д.ф.-м.н., профессор		

Томск – 2016 г.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной инженерной деятельности</i> .
P2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных инженерных задач</i> .
P3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной инженерной деятельности</i> с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
P4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
P5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i>

	инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
P8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
P9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию с учетом нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
P10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний и <i>современных</i> методов.
P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
<i>Специальные профессиональные</i>	

P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
Направление подготовки Теплоэнергетика и теплотехника
Кафедра теоретической и промышленной теплотехники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ТПТ
Кузнецов Г.В.
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студент:

Группы	ФИО
5Б2Б	Харченко Ульяна Алексеевна

Тема работы:

Математическое моделирование смешанной конвекции в водоеме-охладителе при различной тепловой нагрузке на внешних границах

Утверждена приказом ректора (дата, номер)

№ 2540/с от 01.04.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:

10.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объект исследования – водоем-охладитель с локальными участками ввода и вывода жидкости.
Предмет исследования – смешанная конвекция в водоеме-охладителе при различной тепловой нагрузке на внешних границах.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор и анализ литературы и научных публикаций по направлению исследования конвективного теплообмена в водоемах-охладителях. Формулирование математической модели и выбор метода ее численной реализации. Верификация программы Проведение численного моделирования.</p>
<p>Перечень графического материала</p>	<p>20 слайдов</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Попова Светлана Николаевна, доцент каф. МЕН</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Дашковский Анатолий Григорьевич, доцент каф. ЭБЖ</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>26.02.2016</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Максимов В.И.	к.т.н.		26.02.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2Б	Харченко Ульяна Алексеевна		26.02.2016

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа с. 79, рис. 12, табл. 18, источников 22.

Ключевые слова: смешанная конвекция, тепловой режим водоема, математическое моделирование, уравнения Навье-Стокса, локальные источники теплоты.

Объектом исследования является режим моделирование смешанной конвекции в водоеме-охладителе при различной тепловой нагрузке на внешних границах.

Цель работы – Математическое моделирование смешанной конвекции в водоеме-охладителе при различной тепловой нагрузке на внешних границах.

В процессе исследования проводилось математическое моделирование конвективного теплообмена в прямоугольном водоеме- охладителе с локальными источниками ввода-вывода массы, при различных тепловых нагрузках на внешних границах исследуемой области.

В результате исследования выявлено влияние геометрического расположения отверстий ввода и вывода массы жидкости при различных режимах конвекции на гидродинамику водоема-охладителя. Результаты проведенных исследований позволяют оценить масштабы теплового загрязнения окружающей среды водоемом-охладителем ТЭС и могут быть использованы в разработке и создании оптимальных тепловых систем для её защиты.

Оглавление

Введение	9
1. Анализ современного состояния исследования процессов теплообмена в водоемах с локальными источниками ввода и вывода массы на внешних границах.	11
2. Постановка задачи смешанной конвекции вязкой несжимаемой жидкости в прямоугольной области.	21
3. Численное исследование основных закономерностей смешанной конвекции при движении вязкой несжимаемой жидкости в водоеме	26
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	43
5. Социальная ответственность	62
Заключение	76
Список использованных источников	77

ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие в нашей стране выявлен значительный интерес к водоемам-охладителям. При эксплуатации атомных и тепловых электрических станций, сбросного тепла промышленных энергоисточников, коммунальных сточных вод, естественных водоемов, возникает необходимость анализа тепловых режимов водоемов. В водоеме с участками ввода и вывода жидкости соблюдается режим смешанной конвекции.

Известны результаты численного моделирования смешанной конвекции в условиях сопряженного конвективно-кондуктивного теплопереноса в прямоугольной газовой области при наличии вынужденного течения [4-6]. Численное исследование смешанной конвекции вязкой несжимаемой жидкости в прямоугольной области с участками ввода и вывода массы проведены в [14].

Целью данной работы является математическое моделирование смешанной конвекции вязкой несжимаемой жидкости в прямоугольной области с локальными источниками ввода и вывода массы.

Объектом исследования – водоем-охладитель с локальными участками ввода и вывода жидкости.

Предмет исследования – смешанная конвекция в водоеме-охладителе при различной тепловой нагрузке на внешних границах.

Практическая значимость – создан вычислительный комплекс для моделирования смешанной конвекции в водоеме при наличии локальных источников ввода и вывода массы.

Предложенная модель смешанной конвекции жидкости в типичном технологическом открытом водоеме с локальными источниками ввода и вывода массы и с учетом теплоотвода в окружающую среду по всему внешнему контуру может быть использована для совершенствования методов расчета тепловых режимов технологических водоемов с целью

улучшения их технико-экономических характеристик и экономии энергетических ресурсов.

Результаты проведенных исследований позволяют оценить масштабы теплового загрязнения окружающей среды водоемом-охладителем ТЭС и могут быть использованы в разработке и создании оптимальных тепловых систем для её защиты.

1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В ВОДОЕМАХ С ЛОКАЛЬНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ВВОДА И ВЫВОДА МАССЫ НА ВНЕШНИХ ГРАНИЦАХ.

Исследованию эксплуатации водоемов-охладителей посвящено достаточно большое количество работ.

В [1] были рассмотрены проблемы связанные с прогнозом водного и теплового режимов водоемов-охладителей . Так как очень важным фактором, определяющим экономичность работы тепловых и атомных электрических станций, считается охлаждение циркуляционной воды с низким потенциалом в системах технического водоснабжения. Главной проблемой при проектировании и дальнейшей эксплуатации водоемов-охладителей принято считать достижение приемлемой температуры охлажденной циркуляционной воды для получения обязательного вакуума в конденсаторах. Как правило даже незначительное увеличение фактического показателя температуры циркуляционной воды напротив расчетного является причиной к существенному перераспределению топлива и значительному уменьшению коэффициента полезного действия электрической станции. Однако в условиях прогрессирующего дефицита топливных запасов проблема экономии топлива является важной народнохозяйственной задачей.

Температура охлажденной циркуляционной воды обуславливается параметрами тепловой мощности электрической станции, метеорологических условий, а также схемы эксплуатации водоема-охладителя, характеризуемой месторасположением и структурой водовыпускных и водозаборных сооружений электрической станции, струераспределительных и струенаправляющих плотин, других гидротехнических конструкций. Поэтому принципиальное значение

имеет точное прогнозирование температурной нагрузки водоема-охладителя при разных конфигурациях эксплуатации и условиях использования.

Еще одним критерием, создающим основную проблему прогнозирования температурного режима водоемов-охладителей абсолютно выдающимся, является воздействие сброса теплоты с циркуляционной водой в атмосферу. О чем повествуется в работе [2]. Увеличение температуры водных энергообъектов, применяемых в качестве охладителей, меняет водный, химический и биологические режимы и может разрушить их предельные экологические состояния. Тем самым при разработке и использовании водоемов-охладителей необходимой задачей будет являться прогноз и оценка температуры воды в местах их экологического надзора. Регионы расположения АЭС гипотетически во всех ситуациях представляют места, в которых воздействие деятельности человека на природу очень значительно. Преимущественно острому влиянию со стороны АЭС подчиняются водные экосистемы. Воды находящихся недалеко от АЭС озер, рек, водохранилищ или морских водоемов тем или иным способом применяют для охлаждения конструкций станций, благодаря чему осуществляется их термофикация. Помимо этого, большее число типов загрязнителей (радионуклиды, тяжелые металлы, нефтепродукты и т.п.), уходящих в атмосферу при эксплуатации АЭС со сточными водами или в результате поверхностного смыва с прилегающей территории, по итогам оказываются в водоемах. Не мало важным составляющим водных экосистем считаются планктонные микроорганизмы. Бактериопланктон занимает важную роль во всех операциях, протекающих в водоемах, и реагирует очень тонко на любые изменения в среде. Тем не менее, бактериальная среда водоемов, применяемая для охлаждения ТЭС и АЭС, не имеет достаточно исследований в настоящее время. На территории бывшего СССР весьма обширно микробиологическое изучение водоемов-охладителей ТЭС и АЭС осуществлялось в странах ближнего зарубежья, а именно, Украины,

Литвы и Молдавии. По водоемам-охладителям ТЭС и АЭС, имеющим место расположения на территории России, подобные сведения либо недостает, либо носят фрагментарный характер.

Аналогичный вопрос рассмотрен в [3]. Рассмотрены итоги математического моделирования гидродинамики, теплообмена и размножения фитопланктона в стандартном водоеме-охладителе тепловой и атомной электрической станции в разные периоды года. Рассмотрены режимы смешанной конвекции и фотосинтетическая способность фитопланктона в условиях открытого водоема для разных температурных периодов. Выявлены распределения гидродинамических границ, температур и определена фотосинтетическая восприимчивость фитопланктона в водоеме-охладителе ТЭС в разные периоды в году. Доказано, что характер течений в разные времена года не изменяется существенно, а в условиях открытого водоема-охладителя даже зимой фотосинтетическая деятельность биопланктона вполне существенна для биологического засорения воды до пределов, превышающих допустимые.

В источнике [4] описана возможность контролировать температурный режим тепловых сточных выбросов гидроэлектростанции в водоемах-охладителях. Способ имеет место лишь для объяснения состояния биоценоза. При эксплуатации в качестве тестирования биоиндикации титра антилизозимных микроорганизмов со следующим изучением уровня их деятельности и при фиксации их активности ниже 6 мкг/мл предполагается оптимальный термический режим, при активности 6 мкг/мл - температура предельная, а при деятельности 7 мкг/мл и выше имеет место неблагоприятный термический режим. Значительно увеличивается точность радиоиндикации теплового загрязнения, а также - чувствительность и скорость обзора.

Результативность охлаждения воды в водоемах-охладителях, а значит, и его гидротермический режим автоматически находится в зависимости от схемы

осуществления движения течения потока, которая обязана осуществлять наиболее пониженные температуры охлажденной воды при минимуме эксплуатационных и капитальных затрат [5]. В статье осуществлен анализ эффективной эксплуатации водоемов-охладителей в зависимости от вариации их геометрической формы и условий организации течения потока циркуляционных вод с применением явного графического материала. Под водоемом-охладителем следует принимать естественное или искусственное углубление в поверхности земли, которое заполняется бессточной или слегка проточной водой, назначенной для охлаждения горячей циркуляционной воды в системах оборотного водоснабжения атомных и тепловых электрических станций. Водоемы-охладители осуществляют при течении теплоносителя на протяжении всего года более низкие температуры охлаждающей воды, чем брызгальные бассейны и градирни с естественной тягой, а в зимние и весенне-осенние месяцы - даже более низкие температуры, чем вентиляторные градирни. В условиях того, что водоемы-охладители предназначены для одновременного регулирования поверхностного течения, они способны осуществить достоверное круговое водоснабжение АЭС даже при несущественных водных ресурсах. Присутствие водоема-охладителя уничтожает необходимость ввода воды на существенную высоту (так, к примеру, в градирнях), что уменьшает расход электрической энергии на привод циркуляционных насосов. Недостатком является достаточно маленькая удельная теплоотдача с его поверхностей, требующая воссоздания существенной площади зеркала водоема. Места установки водосбросных и водозаборных конструкций, а также конструкций, развивающих активную зону водоема (струераспределительных и струенаправляющих конструкций), избирают учитывая условия получения минимальной площади активной зоны на основе технико-экономических вычислений. Для того чтобы оценить термический режим охлажденной циркуляционной воды на базе решения уравнения теплового баланса, нужно

применять один из двух методов оценки эффективности схемы эксплуатации водоема-охладителя - параметр расчета температуры ПТ или коэффициент использования.

В [6], так же как и в [5] описывается управление температурным режимом водохранилищ-охладителей АЭС. Приведены результаты лабораторных исследований по организации закономерностей формирования устойчивого плотностного расслоения стратифицированного потока и эффективного распределения температур в ближней и дальней зонах, а так же показана технологическая схема работы высокопрочных изделий. На крупномасштабных пространственных установках выявлено, что высокопрочными изделиями можно формировать любую форму движения циркуляционного потока по обеспечению устойчивой или нейтральной температурной стратификации по глубине акватории водохранилища-охладителя и добиваться снижения температуры на водозаборе на 1,0...1,5 оС в сравнении с фильтрующей дамбой, и на 3...4 оС в сравнении с открытым отводящим каналом.

В работе [7] выявлены задачи численного моделирования температурного режима морских акваторий, эксплуатируемых для водоснабжения и распыления теплоты с низким потенциалом атомных электрических станций, на примере АЭС, расположенной на побережье морского залива.

Более подробно про описание алгоритма для оптимальных режимов на примере Калининской АЭС рассказывается в работе [8]. Описывается последовательность работы и компьютерная программа для вычисления наиболее подходящих режимов использования системы промышленного водоснабжения Калининской АЭС. Условия наиболее подходящих режимов определяются при нестационарных метеорологических обстоятельствах и конденсационных нагрузках атомной электростанции. Аналитическим методом определяется наиболее подходящий расход охлаждающей воды на турбины,

создается карта режимов с данными по наиболее подходящему распределению расхода воды между охлаждающими элементами и выявлением режимов с предельно допустимой тепловой мощностью на естественные озёра-охладители. Усовершенствование работы системы охлаждения атомной электростанции с нагрузкой 4000 МВт позволяет экономить не менее 155000 МВт*ч электроэнергии в год. Выработанная концепция может применяться для улучшения работы систем промышленного водоснабжения ТЭС и АЭС.

В работе [9] рассматривается влияние работы энергоблоков Волгодонской АЭС на экосистему водоема- охладителя. А именно, изучение состояния экологической системы показало нестабильность трофических связей, значительную работоспособность анаэробов, снижения количества фитопланктона, существенное возрастание зообентоса, биообрастаний, снижение количества травоядных рыб и переизбыток хищной рыбы в экологической системе водоема-охладителя, что само по себе несет существенное преобразование в экосистеме. В свою очередь требуется уравновесить состояние экологической системы для того, чтобы существенно понизить экологическую нагрузку Волгодонской АЭС на водоем охладитель.

Были рассмотрены варианты решения в котором предусматривалось строительство градирен, что уменьшит тепловую нагрузку на водоем-охладитель при использовании нескольких энергетических блоков турбины. Для уменьшения уровня солей в водах водоема-охладителя были предложены варианты ее разбавления и применения мембранных фильтров при очищении проточных вод цеха химочистки. Помимо этого основной задачей являлось повысить производительность очистки верхнего стока по предложенной схеме, а также осуществить замену теплообменной фурнитуры конденсатора с медного на титановый. Предприняты меры по уравновешиванию работы экологической системы - зарыбление водоема и вселение автотрофа-ингибитора *Chlorella vulgaris*, останавливающего размножение сине-зеленых водорослей.

Эксплуатация водоема-охладителя в рыбохозяйственных целях уменьшит концентрацию биообрастаний зообентоса, что приведет экологическую систему водоема-охладителя в равновесие.

Подобная ситуация рассматривается в работе [10]. Целью работы являлось прогнозирование влияния выпуска технических (продувочных, образующихся на градирнях) вод Балтийской АЭС в период эксплуатации на естественный термический режим речных вод с использованием моделирования гидродинамических процессов в русле реки и последующим применением полученных данных для оценки ущерба водным биоресурсам р. Неман. Для прогнозирования влияния выпуска технических вод со станции на естественный термический режим речных вод использовалось моделирование гидродинамических процессов в русле реки, а именно квазистационарная гидродинамическая модель участка р. Неман, созданная на платформе программного комплекса SMS (Surface Modeling System 10.1).

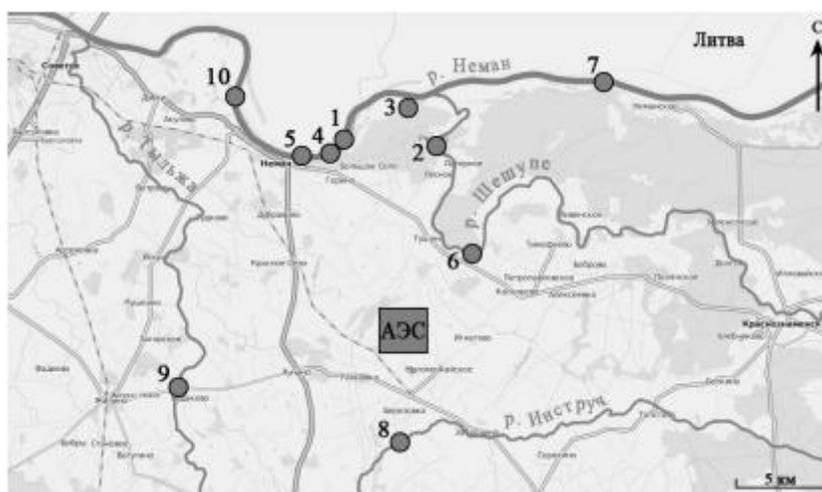


Рис. 1.1 Схема расположения точек отбора гидрохимических и гидробиологических проб в районе строящейся Балтийской АЭС

Несмотря на широкую изученность теплового воздействия сбросных вод электрических станций на водоемы-охладители, мало проработанным остается вопрос термофикации естественных водоемов, используемых в таком качестве. Учитывая, что естественные водоемы, как правило, обладают высокими

показателями биопродуктивности, вопросам рационального природопользования необходимо уделять должное внимание уже на стадии проектирования и строительства объектов энергетики, которые используют для охлаждения природные водоемы. Основное влияние Балтийской АЭС будет оказываться на р. Неман в результате сброса продувочных вод двух энергоблоков.

При рассмотрении модели в источнике [11] можно отметить следующее: на базе сформированной трехмерной гидродинамической модели циркуляции воды и развития ледяного покрова выявлены характеристики воздействия выбросов теплых вод находящихся в эксплуатации и находящихся в разработке энергоблоков Белоярской АЭС на гидротермический режим Белоярского водоема. Влияние выбросов теплых вод существеннее всего заметен неподалеку от выходов каналов сброса воды энергетических блоков, где в зимнее время года образуются полыньи. Увеличение температуры (до 8°C) в зимнее время года недалеко от водосбросов при параллельном использовании двух сразу энергетических блоков впоследствии может оказать отрицательное влияние на работу водоема-охладителя и его воной экосистемы.

В работе [12] отражено развитие численных методов и разнообразие исследований в области математического моделирования. В связи с этим в работе рассматривается проблема, связанная со сложностью выбора наиболее адекватного отражения реальных процессов, осуществляемых в данном природном субъекте. Так как основной задачей исследования является доказательство параметров выбора размеров модели в зависимости от морфометрических критериев водоема-охладителя и области окружающих воздействий, развивающихся протекающие в нем процессы. При изучении анализа использования разработанных моделей, в подавляющем большинстве разработчики используют для разработки внутренних водоемов двухмерное приближение, пропуская изучение их вертикальной структуры. Тогда как,

анализы, осуществленные на ряде водоемов, дают возможность подвести итог о том, что вертикальная структура гидродинамических, а так же термических критериев не носит равномерный характер распределения и может являться причиной значительных отклонений в итогах расчетов, осуществленных с применением двумерных моделей. Основной целью работы служит модификация и адаптация глобальной математической разработки для вычислений параметров гидродинамического и термического режимов водоемов-охладителей при нестационарных внешних отклонениях и батиметрии. Численные опыты с применением трехмерной модели выявили нахождение вертикальной неоднородности распределения температур воды и скоростей течений, а так же существенное ее воздействие на основной тепловой режим водоемов-охладителей. На основе проведенной оценки итогов моделирования явно показано, что при нормальных условиях увеличение длины продольной дамбы приводит к не существенному уменьшению температуры воды на водозаборе в оз. Черном, но при этом увеличение температуры воды за счет нагревания в оз. Святом протекает намного эффективнее, и распространение температуры по вертикали становится более однородным.

Для водоемов-охладителей являющихся частью промышленной теплоэнергетики, располагающихся на территории крупно населенного города, с выбросом теплых вод в естественный водоем и значительной степенью водообмена, острой необходимостью является создание рабочей конструкции с возможностью прогнозирования различных конфигураций теплового факела и распространения температуры сбрасываемой воды. Это ярко продемонстрировано в работе [13]. Нахождение зависимостей температурных параметров водоема-охладителя методами математического моделирования дает возможность делать выводы о необходимости осуществления и решения технических задач по улучшению экологического конфликта. Принятие технических задач требует принять во внимание большой объема фактических

критериев и сложных моделей. Именно из-за этого создание методики выбора эффективного инженерного решения для уменьшения теплового засорения, базированной на моделировании теплового факела и принимающей во внимание специфические особенности водного объекта (морфометрические, гидрологические, экологические, социальные), является важной задачей.

В [14] представлено численное исследование смешанной конвекции в прямоугольной области, но с участками ввода и вывода массы. Рассматривается течение несжимаемой вязкой жидкости и теплообмен в прямоугольной полости с участком ввода и вывода жидкости. При постановке задачи принимается, что температура вводимой жидкости существенно превышает начальную температуру среды в полости и считается известной.

Теоретически исследовано влияние различных условий теплообмена на границах прямоугольной полости с источниками ввода и отвода массы на режимы конвекции вязкой несжимаемой жидкости в сопряженной постановке. Сделан вывод о том, что тепловым режимом жидкости, при реализации смешанной конвекции в условиях ввода и отвода массы в области ограниченных размеров, можно управлять регулируя интенсивность на границах полости.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СМЕШАННОЙ КОНВЕКЦИИ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ.

Рассматривается задача конвективного теплопереноса в прямоугольной полости, имеющей участки ввода и вывода жидкости и одну свободную поверхность. Область решения представлена на рисунке 2.1.

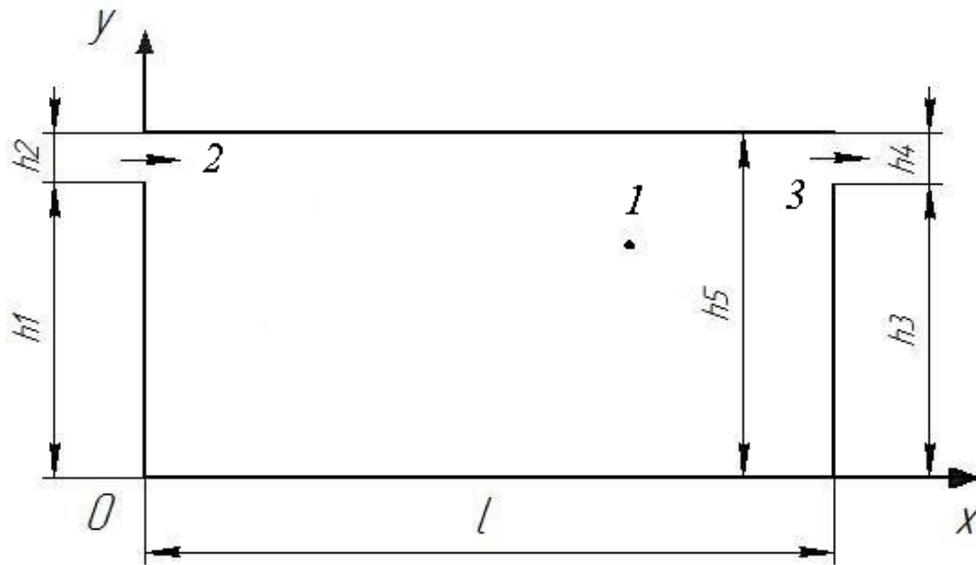


Рисунок 2.1 – Область решения задачи: 1) водоем, 2) участок ввода жидкости в полость, 3) участок вывода жидкости из полости.

При моделировании задачи берется во внимание, что теплофизические свойства жидкости не зависят от температуры. Жидкость считается теплопроводной, вязкой, ньютоновской жидкостью, удовлетворяющей приближению Буссинеска. Режим течения рассматривается ламинарный. Границы полости, за исключением участков ввода и вывода жидкости, считаются непроницаемыми для жидкости. Не учитывается отток массы за счет испарения со свободной поверхности жидкости. В начальный момент времени во всех точках области решения принимается, что температура

стенки полости и жидкости постоянна и одинакова.

Эти допущения не вносят в постановку задачи значительных ограничений, но позволяют значительно упростить решение.

Во входном отверстии (рисунок 2.1) горизонтальная скорость задается постоянной. На выходе из полости для потока жидкости задаются условия симметрии по продольному направлению.

Процесс переноса тепла в области моделирования описывается физической моделью, которая характеризуется системой нестационарных двухмерных уравнений Навье-Стокса в приближении Буссинеска в жидкой фазе с нелинейными граничными условиями.

Для приведения системы уравнений с соответствующими граничными условиями к безразмерному виду использовались следующие соотношения:

$$X = \frac{x}{L}; \quad X = \frac{x}{L}; \quad Y = \frac{y}{L}; \quad \tau = \frac{t}{t_0}; \quad U = \frac{u}{V_{in}}; \quad V = \frac{v}{V_{in}}; \quad \Theta = \frac{T - T_0}{\Delta T}; \quad \Psi = \frac{\psi}{\psi_0}; \quad \Omega = \frac{\omega}{\omega_0};$$

$$\Delta T = T_{in} - T_0; \quad \psi_0 = V_{in} \cdot L; \quad \omega_0 = \frac{V_{in}}{L};$$

где x, y – размерные координаты; X, Y – безразмерные координаты,

соответствующие x, y ; L – длина полости по оси x ; t_0 – масштаб времени; τ – безразмерное время; u, v – скорости по осям x, y соответственно; Θ – безразмерная температура; T_0 – температура жидкости в начальный момент времени; T_i – температура на испарителе; T_{in} – температура входного потока; U, V – безразмерные скорости соответствующие u, v ; V_{in} – масштаб скорости (скорость потока на входе); ω – вихрь скорости; ω_0 – масштаб вихря скорости;

Ω – безразмерный аналог ω ; ψ – функция тока; ψ_0 – масштаб функции тока; Ψ – безразмерный аналог ψ .

Безразмерные уравнения Навье-Стокса в переменных «вихрь скорости – функция тока – температура» для течения несжимаемой жидкости в режиме смешанной конвекции будут иметь вид:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Omega}{\partial X} + V \frac{\partial \Omega}{\partial Y} = \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 \Omega}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Omega}{\partial Y^2} \right) + \frac{Gr}{\text{Re}^2} \left(\frac{\partial \Theta}{\partial X} \right), \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Theta}{\partial X} + V \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = \frac{1}{\text{Re} \cdot \text{Pr}} \left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial Y^2} \right), \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial Y^2} = \Omega. \quad (2.3)$$

здесь $Gr = \frac{g \beta L^3 \Delta T}{\nu^2}$ - число Грасгофа; g - ускорение, создаваемое массовыми силами; β - температурный коэффициент объемного расширения; ν - коэффициент кинематической вязкости жидкости; L - длина полости; $\text{Re} = \frac{V_{in} L}{\nu}$ - число Рейнольдса; $\text{Pr} = \frac{\nu}{a}$ - число Прандтля; a - коэффициент температуропроводности; $\Theta = \frac{T - T_0}{T_{in} - T_0}$ - безразмерная температура.

Начальные условия имеют вид:

$$\Psi(X, Y, 0) = 0,$$

$$\Omega(X, Y, 0) = 0,$$

$$\Theta(X, Y, 0) = \Theta_0.$$

Граничные условия второго рода:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial X} = Ki, \quad \Psi = 0, \quad \frac{\partial \Psi}{\partial X} = \frac{\partial \Psi}{\partial Y} = 0;$$

где $Ki = \frac{qL}{\lambda(T_{\max} - T_{\min})}$ – число Кирпичева, q – тепловой поток на границах области, λ –

коэффициент теплопроводности воды.

Описание используемых численных методов.

Для решения системы уравнений (2.1) - (2.3) использовался метод конечных разностей. Суть метода конечных разностей заключается в замене производных в дифференциальном уравнении их конечноразностными аппроксимациями.

При использовании метода конечной разности область решения представляется в виде совокупности узлов. После замены частных производных дифференциальных уравнений (2.1) - (2.3) конечными разностями, получаем систему линейных алгебраических уравнений для определения температуры, вихря скорости, функции тока. Для замыкания полученных систем приводятся к разностному виду граничные условия. В результате получаем замкнутые системы линейных алгебраических уравнений, которые решались численными методами в среде Matlab.

Для аппроксимации дифференциальных уравнений разностными использовалась пространственно-временная сетка с координатами:

$$x_i = ih_x, \quad y_j = jh_y, \quad \tau_n = n\tau,$$

где h_x, h_y – шаги сетки по координатам x, y ; τ – шаг по времени; $i = \overline{0, M}$;

$j = \overline{0, N}$; $n = \overline{0, K}$. Т.е. вся расчетная область покрывается сеткой (рис 2.2).

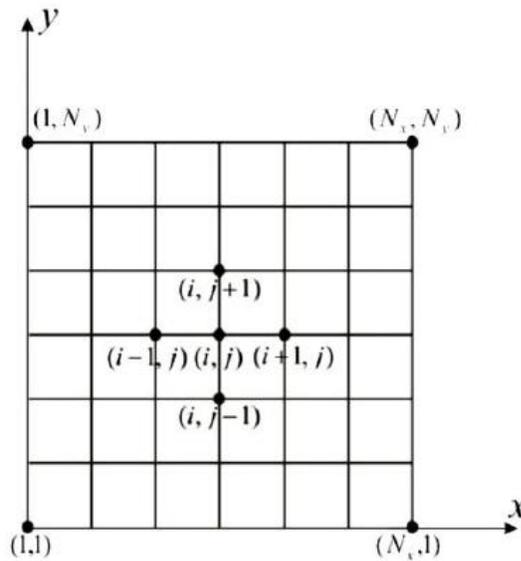


Рисунок 2.2 – Разностная сетка области решения

Так же при вычислениях использовался метод прогонки, который заключается в решении трехточечных разностных уравнений.

Такие уравнения имеют вид:

$$A_i x_{i+1} - B_i x_i + C_i x_{i-1} = F_i, \quad (2.4)$$

где $i = \overline{1, n-1}$.

Предполагается, что существуют такие наборы чисел α_i и β_i , при которых:

$$x_i = \alpha_i x_{i+1} + \beta_i, \quad (2.5)$$

В итоге, решение уравнений вида (2.4) сводится к нахождению прогоночных коэффициентов α_i и β_i по формулам (2.6):

$$\alpha_i = \frac{A_i}{B_i - \alpha_{i-1} C_i}, \quad \beta_i = \frac{\beta_{i-1} C_i - F_i}{B_i - \alpha_{i-1} C_i}, \quad (2.6)$$

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б2Б	Харченко Ульяна Алексеевна

Институт	ЭНИН	Кафедра	Теоретической и промышленной теплотехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

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, амортизационные отчисления, заработная плата научного руководителя.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Нормы амортизации, нормы премии по счету заработной платы.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Ставка по отчислениям во внебюджетные фонды.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Экспертная оценка сравнения ресурсоэффективности и оценки достоверности полученных результатов
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Составление бюджета НИР
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Анализ критериев ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2Б	Харченко Ульяна Алексеевна		

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуются для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью работы является проектирование и создание конкурентоспособной разработки, технологии, отвечающей современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования;
- определение возможных альтернатив проведения научного исследования, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

1. SWOT-анализ сильных и слабых сторон проекта

Тема: Математическое моделирование смешанной в водоеме-охладителе при различной тепловой нагрузке на внешних границах.

Внешняя среда:

I. Макросреда:

Погодные условия в различных регионах России.

Среднегодовая температура по поверхности России изменяется от +14°C до -15 °С. Абсолютный минимум температуры на Дальнем Востоке составляет от -67.8 °С в Верхоянске до -27.2 °С в Находке, в Европейской части России от -58.1 °С в Усть-Щугоре до -13.4 °С в Сочи. Именно погодные условия влияют на скорость остывания воды в водоеме.

Экономическое положение теплоэнергетической отрасли на рынке.

Теплоэнергетика всегда являлась востребованной частью, так как тепловые электростанции составляют основу современной энергетики.

II. Микроуровень:

Характер спроса

Данное исследование возможно использовать для повышения эффективности работы станции, поэтому потенциальные клиенты:

- ТЭС, АЭС, КЭС.

Конкуренты

Конкуренты отсутствуют. Так как рассмотрением данного вопроса в России занимались лишь поверхностно.

Поставщики

Поставщиками программного обеспечения для написания программ и обработки результатов является корпорация Microsoft. Поставщиками техники является компания НР.

Аудитория влияния

Аудиторией влияния на программное обеспечение является администрация Томского Политехнического Университета.

Внутренняя среда:

Проектный продукт и его характеристики

Продукт представляет собой программное обеспечение, результатами работы которой является математическая модель водоема-охладителя с локальными источниками ввода и вывода массы.

Обеспеченность, потребность в основных средствах

Основными средствами является ЭВМ.

Оборотный капитал

Оборотный капитал отсутствует.

2. Экспертная оценка

Для разработки качественного программного продукта, выбор языка программирования является одним из важнейших шагов. Именно от этого выбора будет зависеть качество конечного продукта, быстрота работы, актуальность листинга программы и т.д. Поэтому произведем сравнительный анализ четырех языков программирования.

Экспертная оценка

Формулируется задача: найти аналитическую модель аттестации языка программирования, основывающуюся на его характеристиках.

Модель экспертной оценки строится по следующим параметрам:

1. Распространенность
2. Простота написания
3. Актуальность
4. Размер программного кода
5. Простота проверки ошибок кода

Эксперты оценили характеристики товаров по 10 - ти бальной шкале (10 - max). Далее они оценили важность каждого критерия по 5 бальной шкале (b_i). Все данные представлены в таблицах 1 – 6.

Таблица 1 – Список языка программирования

№	Язык программирования
1	Pascal
2	Delphi
3	MathLab
4	C++

Таблица 2 - Оценка конкурентоспособности экспертом №1

Фирма производитель	Цена	Качество	Гарантия	Технические характеристики	Обслуживание	Сумма
MathLab	10/2,1	8/1,68	7/0,735	8/2,104	10/2,63	9,249
C++	7/1,47	7/1,47	4/0,42	8/2,104	3/0,789	6,253
Pascal	5/1,05	5/1,05	2/0,21	4/1,052	2/0,526	3,888
Delphi	10/2,1	9/1,89	10/1,05	9/2,367	8/2,104	9,511
Важность (b_i) [1-5]	4	4	2	5	4	19
Вес (W_i)	0,21	0,21	0,105	0,263	0,21	1

Для каждого завода изготовителя в столбцах с факторами конкурентоспособности поставлены оценки от 1 до 10, показывающие степень удовлетворения потребностям заказчика.

b_i – важность критерия – в этой строке необходимо было поставить цифру от 1 до 5 (5 – максимальная важность для заказчика).

W_i – весовой коэффициент – в этой строке рассчитан весовой коэффициент каждого фактора конкурентоспособности как отношение важности критерия к сумме важностей всех факторов $\frac{b_i}{b_{\Sigma}}$.

Суммарный весовой коэффициент равен единице – значит расчёт произведён верно. Таким образом, весовой коэффициент W_i показывает долю важности каждого из факторов конкурентоспособности.

Таблица 3 - Оценка конкурентоспособности экспертом №2

Фирма производитель	Цена	Качество	Гарантия	Технические характеристики	Обслуживание	Сумма
MathLab	8/2,08	10/3,6	6/1,26	7/1,47	10/1,6	10,01
C++	9/2,34	6/0,96	3/0,63	9/1,89	2/0,32	6,14
Pascal	3/0,78	6/0,96	3/0,63	5/1,05	3/0,48	3,9
Delphi	9/2,34	10/1,6	7/1,47	10/2,1	9/1,44	8,95
Важность (b_i) [1-5]	4	4	2	5	4	19
Вес (W_i)	0,21	0,21	0,105	0,263	0,21	-

Таблица 4 - Оценка конкурентоспособности экспертом № 3

Фирма производитель	Цена	Качество	Гарантия	Технические характеристики	Обслуживание	Сумма
MathLab	9/1,26	7/1,68	8/1,12	6/1,44	9/2,16	7.66

C++	8/1,12	8/1,92	5/0,7	7/1,68	4/0,96	6.38
Pascal	4/0,56	5/1.2	4/0,56	3/0,72	4/0,96	4
Delphi	10/1.4	9/2,16	8/1,12	8/1,92	10/2,4	9
Важность (b _i) [1-5]	4	4	2	5	4	19
Вес (W _i)	0,21	0,21	0,105	0,263	0,21	-

Таблица 5 - Оценка конкурентоспособности экспертом №4

Фирма производитель	Цена	Качество	Гарантия	Технические характеристики	Обслуживание	Сумма
MathLab	8/2,10	8/2,10	10/1,58	7/0,74	8/1,68	8,2
C++	7/1,84	5/1,32	7/1,11	4/0,42	2/0,42	5,11
Pascal	2/0,53	10/2,63	6/0,95	6/0,63	10/2,10	6,84
Delphi	5/1,32	4/1,05	8/1,26	3/0,32	9/1,89	5,84
Важность (b _i) [1-5]	4	4	2	5	4	19
Вес (W _i)	0,21	0,21	0,105	0,263	0,21	1

Таблица 6 - Итоговые экспертные оценки

Фирма производитель	Эксперт №1	Эксперт №2	Эксперт №3	Эксперт №4	Средняя оценка
MathLab	9,249	10,01	7,66	8,2	35,119
C++	6,253	6,14	6,38	5,11	23,883
Pascal	3,888	3,9	4	6,84	18,628
Delphi	9,511	8,95	9	5,84	33,301

В итоге, по результатам четырех независимых экспертных оценок, самый худший результат получил язык программирования [Pascal](#), а высший средний бал по предоставленным критериям отбора получил язык программирования [MathLab](#).

3. Календарный план сроков выполнения проекта

Таблица 7 – Перечень работ с количеством необходимых дней

Код работы	Наименование работы	$t_{\min i}$, день	$t_{\max i}$, день	У, человек	$t_{\text{ож}} i$, день
а	Составление и утверждение технического задания	1	1	1	1
б	Оформление технического задания	1	1	1	1
в	Подбор теоретической информации	4	9	1	6
г	Разработка программного обеспечения: двумерная модель конвективного течения в водоеме охладителе	5	7	1	6
д	Разработка программного обеспечения: двумерная модель конвективного течения с вводом определенных критериев для характера течения	5	7	1	6
е	Разработка программного обеспечения: двумерная модель конвективного течения в водоеме охладителе с локальными источникам ввода и вывода массы.	5	7	1	6
ж	Анализ результатов	3	5	2	4
	Разработка экономической части				
з	SWOT – анализ	1	1	1	1
и	Экспертная оценка	1	1	1	1
к	Календарный план	1	1	1	1
л	Расчет стоимости	1	1	1	1
м	Анализ ресурсоэффективности	1	1	1	1
	Расчет БЖД				
н	Обеспечение пожарной безопасности	1	1	1	1
о	Обеспечение микроклимата рабочего места	1	1	1	1
п	Оформление	3	5	1	4

Таблица 8 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
	2	Оформление технического задания	Студент
Подбор и исследование ранние проведенных работ	3	Подбор теоретической информации (литература)	Студент
Теоретические исследования	4	Разработка программного обеспечения: двумерная модель конвективного течения в водоеме охладителе	Студент
	5	Разработка программного обеспечения: двумерная модель конвективного течения с вводом определенных критериев для характера течения	Студент
	6	Разработка программного обеспечения: двумерная модель конвективного течения в водоеме охладителе с локальными источникам ввода и вывода массы.	Студент
	7	Анализ результатов	Руководитель, студент
Разработка экономической части	8	SWOT - анализ	Студент
	9	Экспертная оценка	Студент
	10	Календарный план	Студент
	11	Расчет стоимости	Студент
	12	Анализ ресурсоэффективности	Студент
Расчет БЖД	13	Обеспечение пожарной безопасности	Студент
	14	Обеспечение микроклимата рабочего места	Студент
Оформление работы	15	Оформление	Студент

Таблица 9 – Календарный план

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кi} , кал.дн	Продолжительность выполнения работ																		
				Март																		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы	1	+																		
2	Оформление технического задания	Студент	1		+																	
3	Подбор теоретической информации (литература)	Студент	6					+	+	+	+	+	+									
4	Разработка программного обеспечения: двумерная модель конвективного течения в водоеме охладителе	Студент	6											+	+	+	+	+	+			
5	Разработка программного обеспечения: двумерная модель конвективного течения с вводом определенных критериев для характера течения	Студент	6																+	+	+	
6	Разработка программного обеспечения: двумерная модель конвективного течения в водоеме охладителе с локальными источникам ввода и вывода массы.	Студент	6																			
7	Анализ результатов	Руководитель, студент	4																			
8	SWOT – анализ	Студент	1						+													
9	Экспертная оценка	Студент	1							+												
10	Календарный план	Студент	1								+											
11	Расчет стоимости	Студент	1									+										
12	Анализ ресурсоэффективности	Студент	1										+									
13	Обеспечение пожарной безопасности	Студент	1			+																
14	Обеспечение микроклимата рабочего места	Студент	1				+															
15	Оформление	Студент	4																			

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} кал.дн	Продолжительность выполнения работ																		
				Апрель																		
				8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы	1																			
2	Оформление технического задания	Студент	1																			
3	Подбор теоретической информации	Студент	6																			
4	Разработка программного обеспечения: одномерная модель теплопереноса в однородном слое коже под действием нагретой частицы	Студент	6																			
5	Разработка программного обеспечения: двумерная модель теплопереноса в однородном слое коже под действием нагретой частицы	Студент	6																			
6	Разработка программного обеспечения: трехмерная модель теплопереноса в однородном слое коже под действием нагретой частицы	Студент	6																			
7	Разработка программного обеспечения: трехмерная модель теплопереноса в слое коже под действием нагретой частицы с учетом термического разложения белка	Студент	10																			
8	Анализ результатов	Руководитель, студент	4	+	+	+	+															
9	SWOT – анализ	Студент	1																			
10	Экспертная оценка	Студент	1																			
11	Календарный план	Студент	1																			
12	Расчет стоимости	Студент	1																			
13	Анализ ресурсоэффективности	Студент	1																			
14	Обеспечение пожарной безопасности	Студент	1																			
15	Обеспечение микроклимата рабочего места	Студент	1																			
16	Оформление	Студент	4					+	+	+	+											

4. Бюджет проекта на период выполнения работ

В таблице 10 представлено подробное описание расходов на материалы:

Таблица 10 - Расходы на материалы

Расходы	Ед. измерения	Цена	Кол-во	Итого
Канцтовары	-	-	-	1000
Заправка картриджа	шт	500	1	500
Электроэнергия	кВт·ч	4,25	36,4	154,7
Итого:				1 654,7

Таблица 11 - Канцтовары:

Наименование:	Цена
Бумага	350
Ручки	150
Флешка	500
Итого:	1000

Таблица 12 - Потребления электроэнергии:

Источник потребления	Мощность, кВт/ч	Кол-во часов	Итого:
Персональный компьютер	0,2	20	21,6
Ноутбук	0,06	200	12
Освещение	0,05	54	2,7
Принтер и МФУ	0,05	2	0,1
Итого:			36,4

Таблица 13 - Амортизация:

Объект	Норма в год	Стоимость	Величина в год	Кол-во часов	Сумма в час	Время работы, ч.	Стоимость амортизации
Персональный компьютер	20	50000	10000	1720	5,81	20	116,2
Принтер и МФУ	20	8000	1600	382	4,18	2	8,36
Ноутбук	20	30000	6000	2290	2,62	200	524
Итого:							648,56

Зарплата и отчисление на соц. нужды:

Оплата работы руководителя ВКР (бакалавра) почасовая. Норма времени на руководство ВКР бакалавра составляет 22 часа. В соответствии с временным положением о порядке нормирования труда научно-педагогических работников, тариф на почасовую оплату работы доцента составляет 300 руб/час, а значит расходы на оплату труда определяются как:

$$C_{з.п.} = 22 \cdot 300 = 6600 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды $S_{с.н.} = 6600 \cdot 0,3 = 1980$ руб.

Суммарные затраты составят: $C_{сум.} = 6600 + 1980 = 8580$ руб.

В итоге получим:

Таблица 14 – Смета проекта

Наименование	Единичные расчеты			Суммарные затраты			
	Материалы	Зарплата	Амортизация	Материалы	Зарплата и соц. отчисления	Амортизация	Сумма
Разработка программного обеспечения	1654,7	8580	-	1654,7	8580	648,56	10883,26

5. Оценка ресурсоэффективности

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

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

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

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

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{10883,26}{20000} = 0,5442,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{15000}{20000} = 0,75.$$

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

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

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Таблица 15 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Скорость произведения расчетов		0,3	5	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)		0,3	5	5
3. Простота освоения		0,05	5	3
4. Точность расчетов		0,15	4	5
5. Надежность		0,15	3	5
6. Системные требования		0,05	4	4
ИТОГО		1		

$$I_{p-исп1} = 0,3 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,05 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 = 4,9 ;$$

$$I_{p-исп2} = 0,3 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,05 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 = 4,95 .$$

Под исполнением-1 и исполнением-2 понимается то, что осуществить мой проект можно двумя способами, используя для написания модели разные программы.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.исп.1}} = \frac{4,9}{0,5442} = 9,0 ,$$

$$I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.исп.2}} = \frac{4,95}{0,75} = 6,6.$$

С целью определения наиболее целесообразного варианта из предложенных сравним интегральные показатели эффективности вариантов исполнения разработки и определим сравнительную эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} = \frac{9}{6,6} = 1,36.$$

Таблица 16 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,5442	0,75
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,9	4,95
3	Интегральный показатель эффективности	9	6,6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,36	

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило понять, что более эффективным вариантом решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является выполнение работы по первому исполнению.