

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

Институт Энергетический _____
Направление подготовки Энергетическое Машиностроение _____
Кафедра Парогенераторостроения и парогенераторных установок _____

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Тестирование специальных программных продуктов при численной оценке образования оксидов азота при сжигании твердого топлива

УДК 621.182.2-66:661. 98:004.054

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ5А	Корзилова Ирина Евгеньевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Визгавлюст Наталья Викторовна	к.т.н., каф. ПГС и ПГУ		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Елена Александровна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Преподаватель	Бородин Юрий Викторович	к.т.н., доцент каф. ЭБЖ		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Парогенераторостроения и парогенераторных установок	Заворин Александр Сергеевич	д.т.н., зав. каф. ПГС и ПГУ		

Планируемые результаты обучения по ООП 13.04.03 Энергетическое машиностроение

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Универсальные компетенции</i>		
Р1	Способность и готовность самостоятельно учиться и развивать свой общекультурный и интеллектуальный уровень, изменять свой научный и научно-производственный профиль в течение всего периода профессиональной деятельности с учетом изменения социокультурных и социальных условий, вести педагогическую работу в области профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1,3; ПК-11), Критерий 5 АИОР (п. 2.6.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	Способность проявлять и использовать на практике навыки и умения организации работ по решению инновационных инженерных задач в качестве члена или руководителя группы, нести ответственность, в том числе в ситуациях риска, за работу коллектива с применением правовых и этических норм при оценке и самооценке профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов, проблемных инженерных задач	Требования ФГОС ВО (ОК-2; ОПК-1; ПК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.3., п. 2.4., п. 2.5.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	Способность и готовность приобретать и применять новые знания и умения с использованием методологических основ научного познания и библиографической работы с привлечением современных технологий, понимать роль информации в развитии науки, анализировать её естественнонаучную сущность, синтезировать и творчески применять при решении инновационных профессиональных задач	Требования ФГОС ВО (ОК-1,3; ПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р4	Способность и готовность проявлять в инновационной деятельности глубокие естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте	Требования ФГОС ВО (ОК-1; ОПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р5	Способность осуществлять коммуникации в профессиональной сфере и в обществе в целом,	Требования ФГОС ВО (ОК-2,3; ОПК-2,3), Критерий 5

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	принимать нестандартные решения с использованием новых идей, разрабатывать, оформлять, представлять и докладывать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке	АИОР (п. 2.2.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р6	Способность и готовность выполнять инженерные проекты с использованием современных технологий проектирования для разработки конкурентно способных энергетических установок с использованием знаний теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах и аппаратах	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-1,2,3), Критерий 5 АИОР (п. 1.3.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р7	Способность и готовность ставить и решать инновационные задачи инженерного профиля, анализировать, искать и вырабатывать компромиссные решения с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний в условиях неопределенности, использовать методы решения задач оптимизации параметров в различных сложных системах	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-1,2,5), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р8	Способность и готовность проводить инновационные инженерные исследования, технические испытания и (или) сложные эксперименты, формулировать выводы в условиях неоднозначности с применением глубоких теоретических и экспериментальных методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, строить и использовать модели с применением системного подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ, описывать результаты выполненной работы, составлять практические рекомендации по их использованию	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-4,5,6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4, п. 1.6.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р9	Способность и готовность оценивать техническое состояние объектов профессиональной деятельности, с применением современного оборудования и приборов, анализировать и разрабатывать рекомендации по их надежной и безопасной эксплуатации, понимать проблемы научно-технического развития сырьевой базы, современных технологий по утилизации отходов в энергетическом машиностроении и теплоэнергетике и научно-техническую политику в этой области	Требования ФГОС ВО (ОПК-1; ПК-7,8,9), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
P10	Способность и готовность к эффективному участию в программах освоения новой продукции и технологий, использованию элементов экономического анализа в практической деятельности на предприятиях и в организациях, готовность следовать их корпоративной культуре	Требования ФГОС ВО (ПК-9,10), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, п. 2.1.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

<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>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Состояние проблемы снижения выбросов вредных веществ, образующихся при сжигании твердого топлива 2. Численное моделирование процесса образования оксидов азота при сжигании твердого топлива <ol style="list-style-type: none"> 2.1. Физико-математическая постановка задачи исследования 2.2. Исходные данные для численного моделирования 3. Применение специальных программных продуктов при численной оценке образования оксидов азота при сжигании твердого топлива. 4. Анализ результатов численных исследований специальных программных продуктов при оценке образования оксидов азота при сжигании твердого топлива. 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6. Социальная ответственность
--	--

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Эскиз объекта исследования (формат А4) – 1 лист 2. Электронная презентация.
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Елена Александровна
Социальная ответственность	Бородин Юрий Викторович

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Выполнен перевод двух научных статей по тематике диссертации

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Визгавлюст Н.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ5А	Корзилова И. Е.		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация включает в себя: 87 страниц, 24 рисунка, 20 таблиц, 32 источника и 6 приложений.

Ключевые слова: оксиды азота, твердое топливо, математическое моделирование, пакеты прикладных программ.

Объектом исследования был выбран паровой котел БКЗ–320–140ПТ спроектированный и изготовленный Барнаульским котельным заводом ООО «БКЗ», установленный на Иркутской ТЭЦ-3.

Цель работы – тестирование пакетов прикладных программ, позволяющих производить численное моделирование оксидов азота при сжигании твердого топлива в топочной камере котельного агрегата.

Методологической базой при проведении сравнения специальных программных продуктов, направленных на численную оценку образования оксидов азота, были выбраны заложенные в их основу математические модели, которые позволяют приближенно описать какое-либо явление и объект реального мира при помощи математики.

В процессе исследования проводились: подготовка исходных данных для создания модели, её расчет при номинальной нагрузке, расчет выбросов оксидов азота.

В результате исследования получены данные по выбросам оксидов азота в выбранных программных продуктах, построены сравнительные графики отображающие результаты тестирования.

Область применения: энергетическое машиностроение, математическое моделирование.

Магистерская диссертация работа выполнена с использованием Microsoft Office Word 2013 шрифтом Times New Roman №14.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями

дискретизация: Дифференциальные уравнения в частных производных, описывающие непрерывный процесс, а также вспомогательные (граничные и начальные) условия, преобразуются в систему дискретных алгебраических уравнений.

математическая модель: Описание системы с использованием математических понятий. Модель может помочь объяснить систему, изучить влияние различных компонентов, и делать прогнозы о поведении системы.

массовая доля: Отношение или процент одного вещества из всего вещества

паровой котел: Устройство имеющее топку, обогреваемое продуктами сжигаемого в ней топлива и предназначенное для получения пара давлением выше атмосферного, используемого вне самого устройства.

процесс горения: Высокотемпературный экзотермический окислительно-восстановительный процесс между топливом и окислителем, обычно кислородом воздуха.

статистическая модель: Описание связей между основными переменными моделируемого объекта в установившемся режиме без учета изменения параметров во времени.

топочная камера: Это часть котельного агрегата, где сжигается топливо.

универсальность: Характеристика, описывающая полноту отображения моделью изучаемых свойств реального объекта.

В настоящей работе были использованы ссылки на следующие стандарты:

1 Приказ Минпромторга России № 653 от 31 марта 2015 года "Об утверждении плана мероприятий по импортозамещению в отрасли энергетического машиностроения, кабельной и электротехнической промышленности Российской Федерации".

2 Федеральный закон N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008.

3 СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки"

4 СН 2.2.4/2.1.8.566. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.

5 СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.

6 СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

7 СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы

8 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Санитарные правила и нормы "Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий".

9 Правила устройства электроустановок (7-е изд.).

Оглавление

Оглавление	10
ВВЕДЕНИЕ	12
1 Обзор литературы	15
2 Объект и методы исследования	21
3 Краткое описание методов решения математической модели	27
3.1 Программный модуль ANSYS FLUENT	27
3.2 Вычислительный пакет FIRE 3D – NO _x , (ППП FIRE 3D – NO _x)	29
4 Расчет выбросов оксидов азота при сжигании твердого топлива при помощи программного продукта ANSYS FLUENT	31
4.1 Задание начальных и граничных условий	31
4.2 Особенности дискретизации объекта	34
4.3 Построение математической модели	35
4.4 Тестирование программного продукта при моделировании выбросов оксидов азота при сжигании твердого топлива	38
4.5 Оценка эффективности и надежности работы топочной камеры котельного агрегата на основе анализа визуальных и графических результатов численного моделирования	38
5 Расчет выбросов оксидов азота при сжигании твердого топлива при помощи программного продукта FIRE 3D– NO _x	45
5.1 Тестирование программного продукта при моделировании выбросов оксидов азота при сжигании твердого топлива	45
5.2 Оценка эффективности и надежности работы топочной камеры котельного агрегата на основе анализа визуальных и графических результатов численного моделирования	46
6 Анализ полученных результатов	52
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	57
7.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	57
7.2 Разработка устава научно-технического проекта	60
7.3 Планирование процесса управления НТИ	62
7.4 Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности результатов исследования	66
8 Социальная ответственность	70
8.1 Производственная безопасность	71
8.2 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	76
8.3 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	79
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА	81
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	82
Приложение А	87
Приложение Б	88
Приложение В	89
Приложение Г	90

Приложение Д.....	91
Приложение Е.....	109

ВВЕДЕНИЕ

Защита окружающей среды от вредных выбросов – актуальнейшая проблема современности. Ежедневно атмосферный воздух загрязняется новыми нехарактерными для него физическими, химическими и биологическими веществами. К химическим загрязнителям окружающей среды относятся газообразные вещества и аэрозоли (оксид углерода и азота, углеводороды, диоксид серы и другие). Самым опасным из оксидов группы NO_x для окружающей среды и здоровья человека является диоксид азота. Он способен приводить к существенным изменениям в организме человека и повышает риск развития онкологии.

Более сорока процентов от общего количества выбрасываемых в окружающую среду оксидов азота является продуктом горения органического топлива в энергетических котлах тепловых электрических станций (ТЭС) [1].

Ежегодно требования к экологической безопасности окружающей среды ужесточаются. Согласно ГОСТ Р 50831-95 для ТЭС, которые продолжают работу после 2016 года выбросы оксидов азота должны составлять не более 200 мг/м^3 для твердых топлив (при мощности $> 300 \text{ МВт}$).

Сегодня, для создания и внедрения на рынок нового конкурентоспособного изделия ему необходимо придать высокие потребительские качества. Для этого требуется оценить, как поведет себя выпускаемый продукт в реальных условиях эксплуатации. Проведение испытаний на прототипах – это трудоемкое, долгосрочное и дорогое занятие, которое повышает стоимость изделия. Убедиться в работоспособности выпускаемого продукта, при этом уменьшив его конечную стоимость, позволит использование инструментов компьютерного инженерного анализа для решения конструкторских задач и расчета технологических процессов (CAE-инструментов).

Целью выпускной квалификационной работы является тестирование пакетов прикладных программ, позволяющих производить численное моделирование оксидов азота при сжигании твердого топлива в топочной камере котельного агрегата.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- теоретический анализ, используемых в настоящее время, кинематических схем химических реакций образования оксидов азота;
- выбор метода решения математической модели;
- проведение вычислительного эксперимента, позволяющего протестировать и сделать вывод о точности расчётов выбросов оксидов азота путем сравнения полученных результатов с данными натурального эксперимента;
- оценка ресурсоэффективности и социальной безопасности проводимого тестирования.

В качестве методов решения математической модели были выбраны следующие пакеты прикладных программ: ANSYS FLUENT (зарубежная разработка) [2] и FIRE 3D – NO_x (отечественная разработка, Приложение А).

Объектом исследования был выбран паровой котел БКЗ–320–140ПТ спроектированный и изготовленный Барнаульским котельным заводом ООО «БКЗ», установленный на Иркутской ТЭЦ-3. Данный котельный агрегат является одним из немногих, на котором проводились натурные эксперименты в эксплуатационных условиях и были реализованы технологические способы внутритопочного подавления выбросов оксидов азота [3]. В результате достигнут предельно допустимый уровень NO_x в дымовых газах для действующего котла с топкого жидкого шлакоудаления.

Практическая значимость работы заключается в выявлении наиболее подходящего пакета прикладных программ, предназначенного для расчёта выбросов оксидов азота при сжигании твердого топлива.

Область применения: энергетическое машиностроение, ТЭС.

Реализация и апробация работы. По теме диссертации опубликованы работы, представленные на следующих конференциях, форумах: Интеллектуальные энергосистемы: II Международный молодёжный форум [4], XXI международной научной конференции «Современные техника и технологии» [5], [6], VIII международная научно-практической конференция «Научно-технический прогресс в металлургии» [7], международной научной конференции «EPJ Web of Conferences» [8].

1 Обзор литературы

Защита атмосферного воздуха от загрязнений является одной из более острых проблем современности. В общей массе токсичных веществ, выбрасываемых различными технологическими устройствами, оксиды азота составляют 18 – 40 %. Теплоэнергетика является одним из основных «поставщиков» оксидов азота в окружающую среду [1].

При горении топлива в топочных камерах паровых котлов образуются оксиды азота двух типов – оксид NO и диоксид NO₂, причем на выходе дымовых газов из труб оксид азота NO составляет 95%.

Источником оксидов азота NO_x, при факельном сжигании органических топлив, может служить молекулярный азот, содержащийся в воздухе или азотосодержащие элементы топлива. В связи с этим принято разделять оксиды NO_x на воздушные и топливные. Также воздушные подразделяются на термические (NO_x образующиеся при высоких температурах в зоне горения путем молекулярного азота кислородом) и «быстрые» (оксиды азота, которые образуются в зоне относительно низких температур путем реакции молекулярного азота с углеводородными радикалами и дальнейшим взаимодействием с гидроксидом OH) [3].

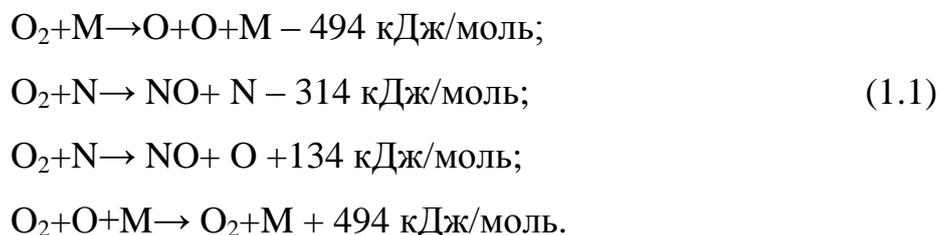
Процентное содержание каждого из трех видов оксидов азота на выходе из котельного агрегата зависит:

- от количества связанного азота в сжигаемом топливе;
- от температурного уровня в зоне горения топлива;
- от некоторых параметров топочного процесса.

Рассмотрим схемы образования топливных, термических и «быстрых» оксидов азота более подробно.

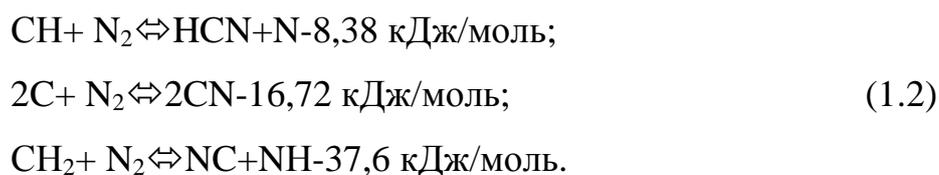
Топливные оксиды азота образуются их из азотосодержащих соединений самого топлива при продувке его горячим воздухом при температуре от 900 до 1000 К на начальном участке факела [3].

Согласно химическим реакциям 1.1 окисления азота предложенными Я.Б Зельдовичем, активную роль в образовании термических оксидов азота играют свободные атомы кислорода и азота.



Согласно представленной выше схеме концентрация термических азотов напрямую зависит от концентрации атомарного кислорода и от температурного уровня в зоне горения.

Образование «быстрых» оксидов азота, согласно ряду реакций 1.2, исследованных С. Фенилиром [3], объясняется связыванием молекул NO с радикалами CH и C₂.



Данные реакции происходят с малыми энергозатратами и могут протекать даже при температуре 1600 К [3].

Снижения выбросов оксидов азота с уходящими газами, в первую очередь возможно с помощью технологических методов:

- сжигание топлива с малым коэффициентом избытка воздуха;
- рециркуляция дымовых газов, многоступенчатое сжигание, впрыск воды;
- выключение из работы одной или нескольких горелок (снижение паропроизводительности) и др. [3].

Для определения более эффективного способа борьбы с выбросами NO_x для каждого конкретного котельного агрегата необходимо проводить натурные эксперименты, которые являются дорогостоящими и трудозатратными. Альтернативой таких исследований, начиная с конца XX века, становится численное моделирование. В настоящее время его эволюция, в рамках компьютерно-технологических сдвигов продолжается.

Рассмотрим некоторые существующие математические модели, позволяющие оценить выбросы оксидов азота без проведения натурального эксперимента.

В источнике [9] описана модель Гусева-Зайчика-Кудрявцева. В данной модели допускается, что все топливные оксиды азота образуются из азота топлива, который вместе с летучими перешел в газообразную фазу, а влиянием азота оставшемся в коксе пренебрегают (рисунок 1.1).

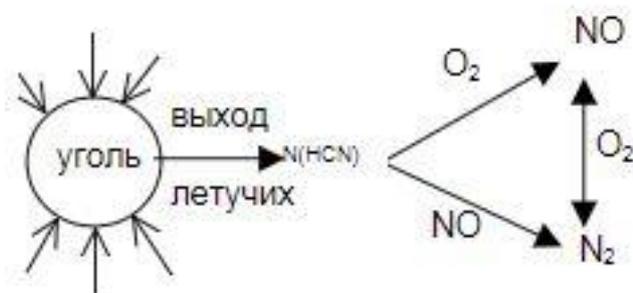


Рисунок 1.1 – Схема образования оксидов азота по математической модели Гусева-Зайчика-Кудрявцева

Расчет образования топливных оксидов азота производится в предположении, что во время горения и выхода летучих происходит деление азотосодержащих компонентов топлива до активного атомарного азота N или цианида водорода HCN. Далее считается, что процесс идет в двух направлениях: образование молекулярного азота в результате регенерации окиси азота или вследствие рекомбинации атомарного азота и окисление азота до оксида азота. Расчетная схема восстановления топливных оксидов описывается системой из трех уравнений [3, 9].

Недостаток модели – эта модель не учитывает догорание коксового остатка, турбулентную диффузию и перенос компонентов топочной среды осредненным движением.

Математическая модель для двухфазных турбулентных течений, реагирующих с горящими распыленными угольными частицами разработали И.К. Гуо и С.К. Чан [10]. Данная модель разрабатывалась путем объединения

обобщенной модели выхода летучих, модифицированной k - ϵ модели, и горения кокса. Уравнения горения как для твердых, так и для газофазных частиц составляется на основе Эйлера подхода, и они решаются численным методом конечных разностей.

Модель учитывает следующие механизмы образования NO_x : термические – описанные Зельдовичем и топливные, которые описываются глобальным механизмом [10], которые в явном виде рассматривают цианиды NO и NO_2 . Механизм образования NO изображен на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Схема образования оксидов азота по математической модели И.К. Гуо и С.К. Чан

Расчетная схема описывается системой [10].

Недостаток модели – данная математическая модель не учитывает пиролиз угля гомогенное горение кокса.

В работе [11] описывается исследование, в основе которого лежит численное моделирование образования оксидов азота NO при горении пылевидного топлива. Математическая модель разработана на базе кинетической модели Митчелла и Тербэлла [12].

В основе кинетического механизма модели лежит 12 суммарных химических реакций. Важные суммарные химические реакции, участвующие в образовании NO_x при сжигании твердого топлива, показаны на рисунке 1.3.

поскольку используется стандартная k - ε модель турбулентности. [16, 17].

В период большого количества программ на первый план выходит понятие адекватности используемой математической модели. Для этого необходимо проводить исследование используемых математических моделей и сравнивать полученные результаты с данными натурального эксперимента.

2 Объект и методы исследования

Методологической базой при проведении сравнения специальных программных продуктов, направленных на численную оценку образования оксидов азота, были выбраны заложенные в их основу математические модели, которые позволяют приближенно описать какое-либо явление и объект реального мира при помощи математики. Сущность моделирования заключается в замене исходного объекта его «образом», что позволяет изучать явление или объект при помощи систем автоматизации (компьютеров).

Постановка вопроса о математическом моделировании любого объекта имеет продуманный алгоритм, который состоит из трех этапов: модель – алгоритм – программа (рисунок 2.1).

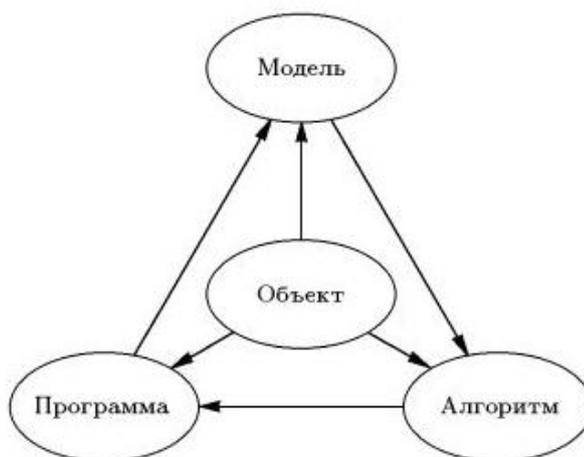


Рисунок 2.1 – Схема постановки математической задачи

На первом этапе анализируются теоретические закономерности, относящиеся к объекту, на основании которых, происходит постановка задачи, определение объекта и основных целей исследования. Так же задаются признаки, позволяющие изучать объект. От точности задания всех данных зависит результат и правдивость расчета [17].

На втором этапе формируется математическая модель объекта. Важно помнить, что полученная модель должна быть информативной, то есть полученный результат должен быть логичным и рациональным.

На третьем этапе происходит анализ построенной модели, который начинается с выбора метода ее решения.

Завершающим шагом математического моделирования является анализ полученных результатов. Признаком достоверности результатов расчета может служить их соответствие реальным условиям работы объекта [17].

Специфика выполняемого исследования заключается в том, что программа (метод решения математической модели) уже выбрана.

Оценка адекватности результатов расчета выбросов оксидов азота при сжигании твердых топлив при помощи математической модели каждого программного продукта будет определена путем сравнения полученных данных с результатами реального эксперимента проведенного на объекте исследования.

Объектом исследования был выбран паровой котел БКЗ-320-140ПТ, спроектированный и изготовленный Барнаульским котельным заводом ООО «БКЗ», установленный на Иркутской ТЭЦ-3. Данный котельный агрегат выбран в качестве объекта исследования по следующим соображениям: на нем было эффективно реализовано в эксплуатационных условиях сочетание целого ряда инженерных решений по технологическому внутритопочному подавлению вредных выбросов [18], что позволило достигнуть предельно допустимого уровня выбросов для действующего котла с топкой жидкого шлакоудаления. Результаты эксперимента подробно описаны в источнике [18].

Однобарабанный котельный агрегат БКЗ-320-140ПТ вертикально-водотрубный с естественной циркуляцией, предназначенный для сжигания бурых углей Канско-Ачинского бассейна. Компоновка котла выполнена по П-образной схеме с симметрично расположенными поверхностями нагрева.

Камера горения полуоткрытого типа с жидким шлакоудалением. Топочная камера состоит из двух сообщающихся восьмигранных предтопок, экранированных ошипованными трубами и соединенных коридорами. На каждом предтопке располагается четыре прямоточные двухъярусные горелки. Оси горелок направлены по касательной к воображаемой окружности диаметром 980 миллиметров и наклонены к поду на 15 градусов. Такое расположение горелок создает вихревое движение факела с ветренным вращением потоков в предтопках.

На высоте 111400 мм выступы фронтального и заднего экранов образуют «пережим», отделяющий камеру горения от камеры охлаждения. В нем расположены сбросные горелки, через которые происходит сброс в топку слабозапыленного сушильного агента системы пылеприготовления.

Камера охлаждения выполнена в виде прямоугольной призмы, расположена над пережимом и оборудована гладкотрубными экранами из труб диаметром 64 мм. Котел оборудован четырьмя индивидуальными пылесистемами с промежуточными бункерами. Каждая система оснащена молотковыми мельницами и инерционным сепаратором пыли, с полуразомкнутой схемой по сушильному агенту.

Удаление шлака производится через две летки в слабонаклонном поде, образованном трубами фронтального и заднего экранов. Под летками установлены два шлаковых транспортера с дробленными камерами.

Пароперегреватель котла состоит из четырех ступеней. В состав первой ступени входит потолочный пароперегреватель и «холодный» пакет поверхности нагрева, установленный непосредственно перед поворотной камерой. Вторая ступень состоит из ширмового пароперегревателя. Третья и четвертая ступени расположены в один ряд и установлены в горизонтальном газоходе между ширмами и «холодным» пакетом первой ступени.

В конвективной шахте расположен водяной экономайзер и рекуперативный воздухоподогреватель.

Основные геометрические характеристики топочной камеры котельного агрегата представлены на рисунке 2.2.

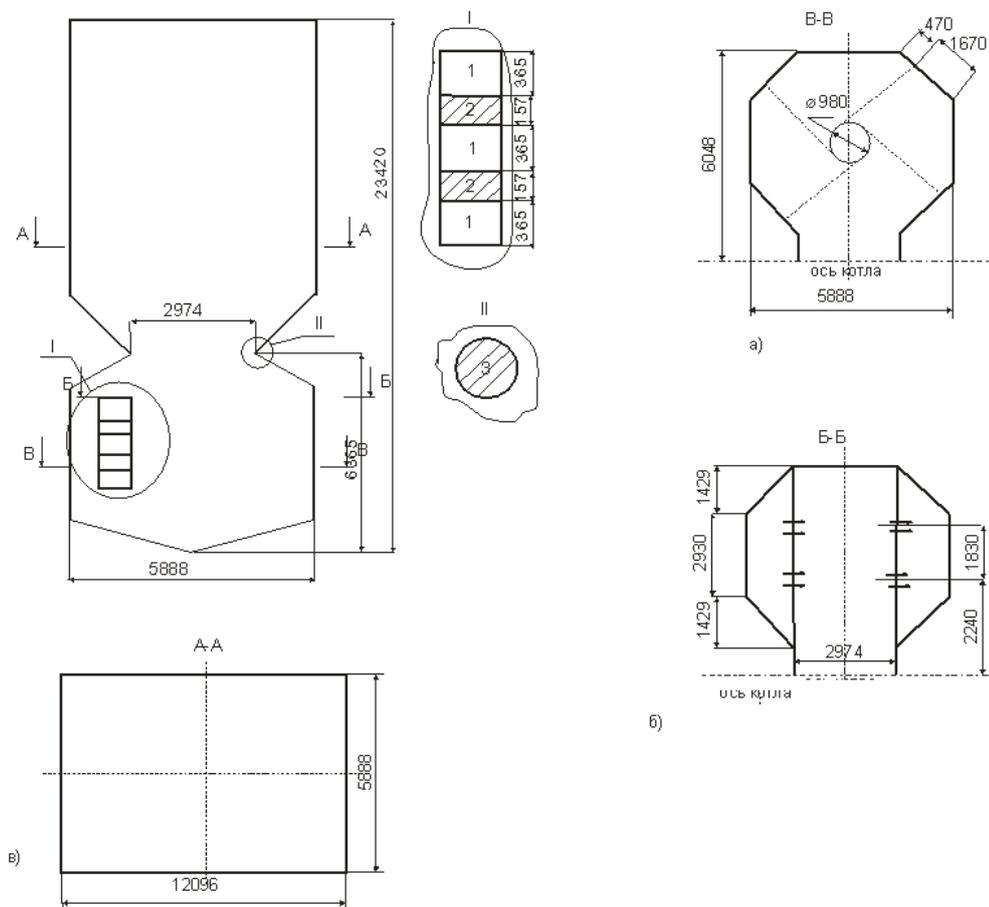


Рисунок 2.2 – Геометрические характеристики топочной камеры котельного агрегата БКЗ–320–140ПТ:

- а) разрез горизонтальное сечение топочной камеры на уровне горелок;
- б) разрез в районе пережима топки; в) горизонтальное сечение топочной камеры в зоне охлаждения

Основные характеристики парового котла представлены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Основные характеристики котельного агрегата БКЗ–320–140ПТ

Наименование показателя	Единица измер.	Обозначение	Значение
1	2	3	4
1. Паропроизводительность	кг/ч	D	320
2. Давление пара в барабане	кг·с/ см ²	P_6	155
	МПа		15,5

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4
3. Давление перегретого пара	кг·с/ см ²	P_{nn}	140
	МПа		14
4. Температура питательной воды	°С	t_{ne}	230
5. Энтальпия питательной воды	ккал/кг	i_{ne}	237,1
	кДж/кг		992,026
6. Температура насыщения	°С	t_n	344
7. Энтальпия насыщенного пара	ккал/кг	i_n	622,5
	кДж/кг		2604,54
8. Температура перегретого пара	°С	t_{nn}	560
9. Энтальпия перегретого пара	ккал/кг	i_{nn}	833,2
	кДж/кг		3486,11
10. Температура холодного воздуха	°С	$t_{хв}$	30
11. Температура воздуха на входе в ВП	°С	$t_{кф}$	50
12. Температура воды, впрыскиваемой в парохладитель	°С	t_{enp}	344
13. Коэффициент избытка воздуха в топке	–	α_m	1,2
14. Температура горячего воздуха	°С	$t_{гв}$	341
15. Присосы в топке	–	$\Delta\alpha_T$	0,05
16. Присосы в пылесистеме	–	$\Delta\alpha_{пп}$	0,04
17. Избыток воздуха в месте отбора на рециркуляцию	–	$\Delta\alpha_{вп}$	1,38
18. Объем топочной камеры	м ³	V_T	1344
19. Площадь поверхности стен	м ²	$F_{ст}$	910,3

В качестве сжигаемого топлива используется бурый уголь. Элементарный состав топлива, геометрические и режимные характеристики горелочных устройств котла, условия подачи пылевоздушной смеси и дисперсный состав топлива представлены в таблицах 2.2 – 2.5.

Таблица 2.2 – Элементарный состав сжигаемого топлива [19]

Ирша-Бородинский бурый уголь № 87	Состав угля, %					Рабочая влажность, %	Влага гигроскопическая, %	Рабочая зольность, %	Выход летучих, %	Низшая теплота сгорания, МДж/кг
	C^r	H^r	O^r	S^r	N^r					
	42,3	2,9	13,06	0,19	0,58					
					W^r	W^{ru}	A^r	V^{daf}	Q_i^r	
					33	12	8	47	13,853	

Таблица 2.3 – Геометрические и режимные характеристики горелочных устройств котла

Наименование сопла	Размер, мм	Скорость, м/с	Температура, °С	Расход топлива, кг/с	Доля воздуха, %	Доля воздуха, подаваемого через горелку, %
Вторичный воздух	365×400	48,12	341	0	100	70
Топливная аэросмесь	157×400	16,28	181	$B_p/16$	19,5	25
Сбросные горелки	324×324	14,69	341	0	100	5

Таблица 2.4 – Условия подачи пылевоздушной смеси

Коэффициент избытка воздуха α_m	1,22
Тонина помола R_{90} , %	50
Температура аэросмеси t_1 , °С	181
Температура вторичного воздуха t_2 , °С	341
Расход топлива на котел B_p , кг/с	11,84

Таблица 2.5 – Дисперсный состав топлива

Фракции	Размер частиц, мкм	Содержание фракций, %
1	3	12
2	11	11
3	31	11
4	54	11
5	84	11
6	123	11
7	177	11
8	262	11
9	449	11

3 Краткое описание методов решения математической модели

3.1 Программный модуль ANSYS FLUENT

На сегодняшний день, одним из ведущих разработчиков пакета прикладных программ, предназначенных для компьютерного моделирования, является компания ANSYS, Inc. Основой для разрабатываемых программных продуктов является метод конечных элементов – численный метод, направленный на решения дифференциальных уравнений с частными производными, который широко используется при решении задач теплообмена, гидродинамики, механики деформируемого твёрдого тела и электродинамики.

Для процессов исследования динамики жидкостей и газов компанией был разработан программный модуль ANSYS FLUENT [2]. Данный модуль позволяет моделировать течение жидкостей и газов для промышленных задач с учетом химических реакций, турбулентности и теплообмена. Так, например, данная программа с легкостью позволяет смоделировать процессы горения в топочной камере котельного агрегата, с учетом аэродинамики горения.

ANSYS FLUENT – это удобный программный модуль, позволяющий даже неопытному пользователю достигать высокой производительности труда. Внедрение ANSYS FLUENT в рабочее пространство ANSYS Workbench, а также возможность применения модуля ANSYS CFD-Post для обработки результатов создает пакет прикладных программ, предназначенный для выполнения инженерного анализа в области моделирования течений жидкостей и газов.

Схема организации работы программного модуля ANSYS FLUENT при моделировании оксидов азота представлена на рисунке 3.1.

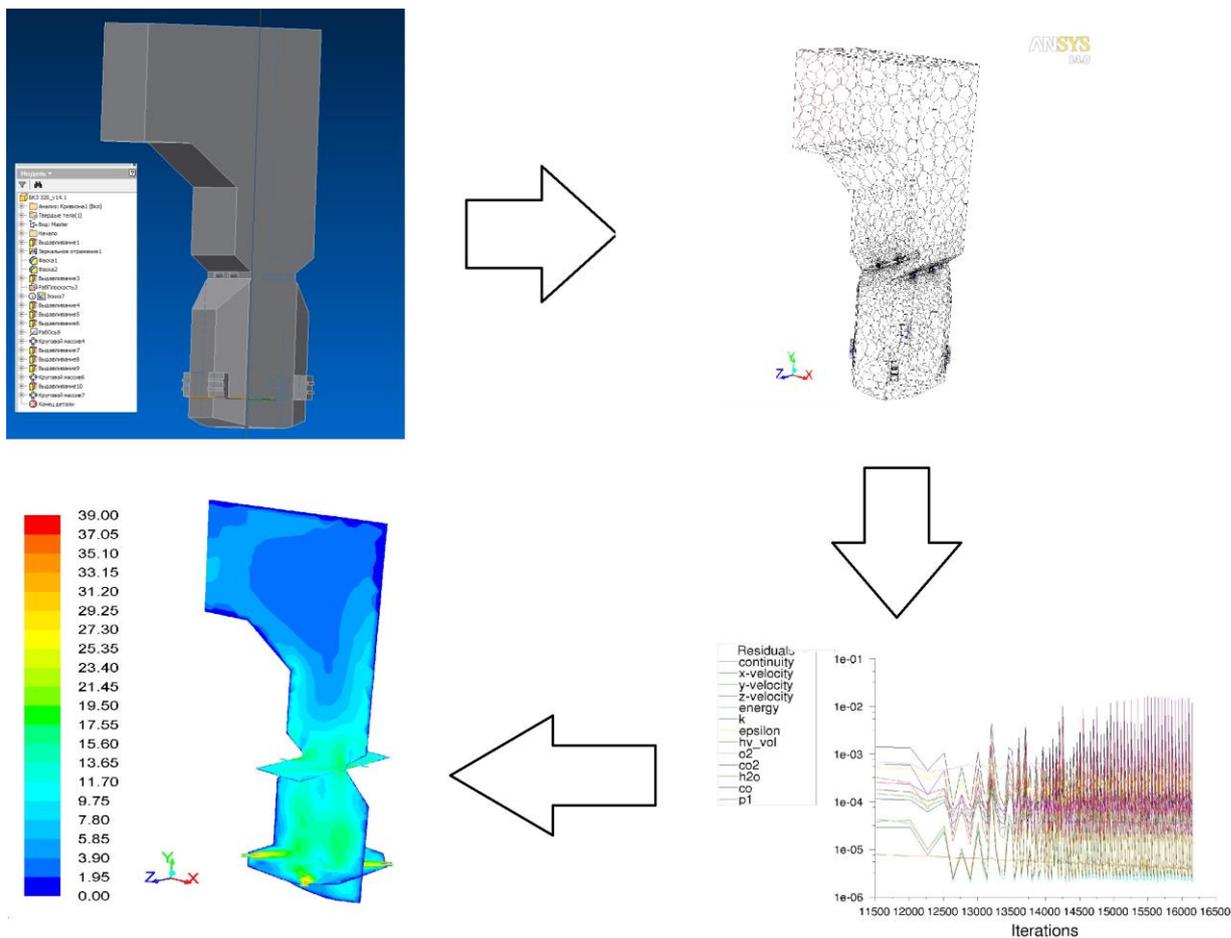


Рисунок 3.1– Схема работы программного модуля ANSYS FLUENT

Исследование выбросов оксидов азота при помощи данного пакета прикладных программ будет состоять из следующих трех основных этапов:

- разработка 3D модели (программный продукт Autodesk Inventor 2014);
- дискретизация объекта (платформа ANSYS Workbench);
- проведение расчета (пакет прикладных программ ANSYS FLUENT).

Особенности данного программного модуля:

- наглядность полученных результатов;
- универсальный инструмент для решения задач течения жидкостей и газов;
- простота изменения математической модели;
- данный продукт является зарубежной разработкой.

В данном программном продукте были исследованы процессы горения следующих котельных агрегатов: ПК – 39 – ИМ, БКЗ–320–140ПТ [20].

3.2 Вычислительный пакет FIRE 3D – NO_x, (ППП FIRE 3D – NO_x)

Вычислительный пакет FIRE 3D – NO_x, является отечественным программным продуктом, разработанным в городе Томске сотрудниками Томского политехнического университета в сотрудничестве с учеными Томского государственного университета. Данный продукт предназначен для математического моделирования пространственных характеристик тепло- и массообмена, аэродинамики и горения в топках котлов при факельном сжигании пылеугольного топлива. ППП FIRE 3D – NO_x, [13] состоит из трех частей, которые осуществляют последовательную обработку данных.

Первая часть, Mesh Creator, осуществляет конвертацию текстового файла расчетных сеток в модель.

Вторая часть, основная, это часть Flow Searcher, осуществляет расчет теплообмена и турбулентных течений с возможным использованием для описания движения частицы угля и ее горения лагранжева метода.

Третья часть, это Data Vision, предназначена для визуализации полученных расчетных результатов. Визуализацию данных на экран можно выполнять как в двухмерном, так и трехмерном пространствах с выводом на экран любого количества характеристик. Приложение Data Vision универсально: полученные, в результате расчета, характеристики могут быть представлены как в векторном, так и скалярном видах. Приложение Data Vision [16] позволяет отображать разрезы по осям координат (X, Y, Z). Благодаря этой функции можно рассмотреть внутреннюю структуру интересующей характеристики.

В данной работе для тестирования была выбрана следующая модификация вычислительного пакета ППП FIRE 3D – NO_x, [14]. Где в качестве постпроцессора используется Flow Searcher, а результаты расчета могут изображаются с помощью Data Vision (рисунок 3.2).

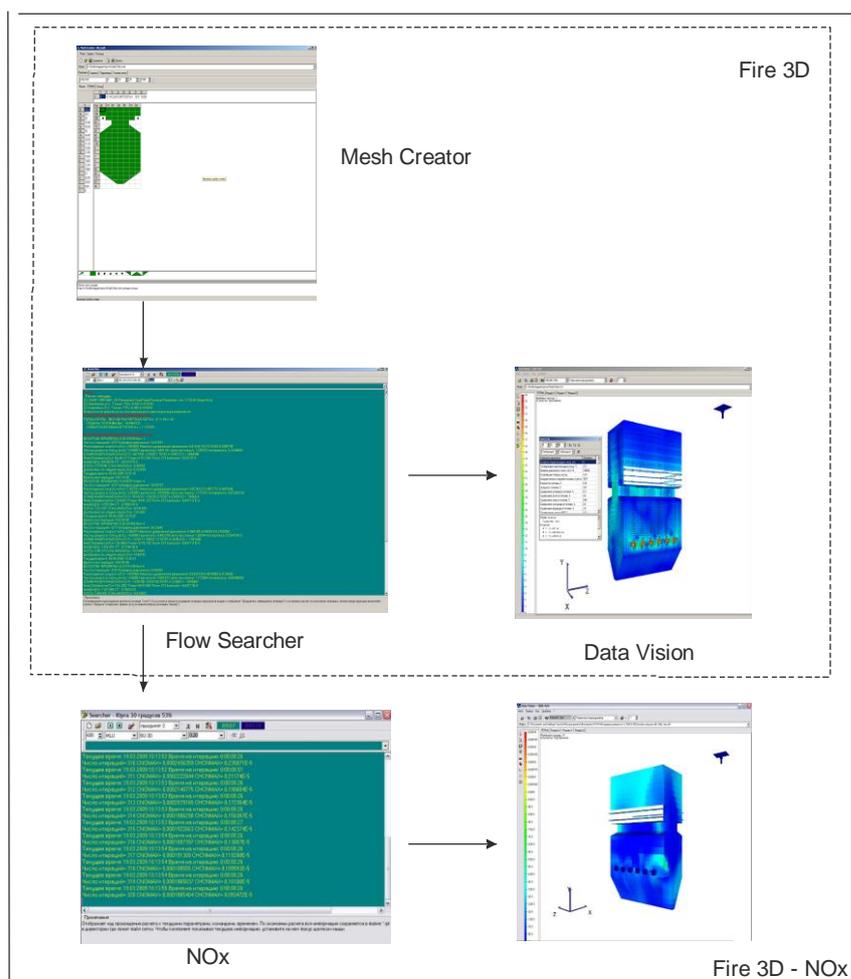


Рисунок 3.2 – Схема организации ППП FIRE 3D– NO_x

Особенности данного пакета прикладных программ:

- ППП предназначен для моделирования процесса горения в топочной камере котельного агрегата;
- наглядность полученных результатов;
- данный продукт является отечественной разработкой.

В данном программном продукте были исследованы процессы горения следующих котельных агрегатов: БКЗ – 220–100ЖШ [9], ПК–39 [21].

4 Расчет выбросов оксидов азота при сжигании твердого топлива при помощи программного продукта ANSYS FLUENT

**5 Расчет выбросов оксидов азота при сжигании
твердого топлива при помощи программного продукта FIRE
3D-NO_x**

6 Анализ полученных результатов

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

Студенту:

Группа 5ВМ5А	ФИО Корзилова Ирина Евгеньевна
-----------------	-----------------------------------

Институт	ЭНИН	Кафедра	ПГС и ПГУ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Энергетическое машиностроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	- примерный бюджет проводимого исследования - 200000 руб.; - в реализации проекта задействованы 2 человека: руководитель, инженер; - необходимо одно рабочее место специалиста с мощной компьютерной техникой и доступом к сети интернет.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов», ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»; - Приказ Минпромторга России № 653 от 31 марта 2015 года "Об утверждении плана мероприятий по импортозамещению в отрасли энергетического машиностроения, кабельной и электротехнической промышленности Российской Федерации".
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам 30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ	- потенциальные потребители результатов НИИ; - анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения; - выявление е сильных и слабых сторон НИИР.
2. Разработка устава научно-технического проекта	- цели и результат проекта; - организационная структура проекта; - ограничения и допущения проекта.
3. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	- планирование выполнения работ; - расчет бюджета затрат на проектирование, в том числе расчет капитальных вложений в основные средства.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	- сравнительная оценка эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Е.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ5А	Корзилова И.Е.		

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Сегодня для создания и внедрения новых на рынок конкурентоспособного изделия необходимо придать ему высокие потребительские качества.

Для оптимизации процесса проектирования и уменьшения стоимости эксперимента пользоваться численным моделированием. Это позволит проанализировать выбросы оксида азота уже на этапе проектирования для вновь вводимых мощностей и проработать несколько вариантов реконструкции для работающего котлоагрегата с подбором оптимально пути решения данной проблемы.

Целью разработки данного раздела является определение перспективности и успешности научно-исследовательской работы.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ;
- разработка устава научно-технического проекта;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования.

7.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ

7.1.1 Потенциальные потребители результатов научно-технического проекта

Потенциальными потребителями результатов проведенного исследования являются отечественные проектные организации и институты, учебные заведения, занимающиеся изучением и решением проблемы, связанной с выбросами в атмосферу оксидов азота тепловыми энергетическими станциями.

Сегментировать рынок услуг методу изучения выявленной ранее проблемы можно по следующим критериям: проведение исследований при помощи натуральных экспериментов, с помощью специализированных программных продуктов (рисунок 7.1).

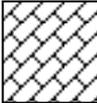
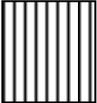
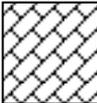
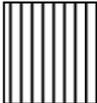
		Цель исследования			
		Обучение специалистов	Внедрение новых технологий	Экономия средств организации	Точность полученных результатов
Потенциальный потребитель	Проектные институты				
	Учебные заведения				
	Научно-исследовательские центры				

Рисунок 7.1 – Карта сегментирования рынка услуг возможности применения в проведение исследований математического моделирования:



7.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ, исследуемых с данной работе, пакетов прикладных программ FIRE 3D – NO_x, и ANSYS FLUENT, позволит оценить сильные и слабые стороны каждой из них. Такой подход необходим для внесения корректив в научное исследование.

Итоги анализа позволят сделать более полный вывод о сравниваемых ППП и рассмотреть эффективность их использования не только с технической точки зрения, но и с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Для проведения данного анализа необходимо составить оценочную карту. Данные для сравнения представлены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Сравнение тестируемых ППП [24]

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
1	2	3	4	6	7
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Удобная эксплуатация	0,15	5	3	0,75	0,45
2. Потребность в ресурсах памяти	0,07	5	4	0,35	0,28
3. Точность выполняемых расчетов	0,18	5	3	0,90	0,54
4. Простота эксплуатации	0,18	5	3	0,90	0,54
5. Возможность подключения в сеть ПЭВМ	0,07	5	5	0,35	0,35
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность ППП	0,08	4	5	0,32	0,40
2. Уровень проникновения на рынок	0,04	4	5	0,16	0,20
3. Стоимость	0,15	5	3	0,75	0,45
4. Сервисное обслуживание	0,05	4	5	0,20	0,25
5. Наличие сертификации разработки	0,03	5	5	0,15	0,15
Итого	1	46	43	4,83	3,61

Слабые стороны программного модуля Ansys Fluent при оценке технической ресурсоэффективности, в первую очередь связаны с тем, что он охватывает широкий спектр решения промышленных задач. Данный программный продукт предназначен для решения задач динамики жидкостей и газов [2], в то время как ППП FIRE 3D – NO_x, является узкоспециализированной программой, направленной, непосредственно, на моделирование процессов горения в топочных камерах паровых котлов.

Пакет прикладных программ FIRE 3D – NO_x, является российской разработкой, не уступающей в функциональном плане зарубежным конкурентам. Она с уверенностью может занять нишу моделирования в отрасли энергетического машиностроения.

7.1.3 Выявление е сильных и слабых сторон НИР

Для подтверждения выводов, сделанных в предыдущем разделе, было принято провести комплексный анализ (SWOT-анализ) ППП FIRE 3D – NO_x.

SWOT-анализ используют для изучения внутренней и внешней среды исследования (проекта). Он проводится в несколько этапов.

По результатам проведенного анализа была получена итоговая матрица SWOT-анализа (приложение Г)

Как видно из интерактивной матрицы SWOT-анализа сильные стороны и слабые стороны программы, в основном не связаны с угрозами.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что результаты тестирования программных продуктов конкурентоспособны на современном рынке.

7.2 Разработка устава научно-технического проекта

Под разработкой устава научно-технического проекта подразумевается выявление потребностей заказчика, цели и ожидаемые результаты, составление организационной структуры проекта.

7.2.1 Цели и результат проекта

При выявлении основной цели проведения данного исследования был проанализирован рынок пакетов прикладных программ и выявлены его основные потребители (таблица 7.2), заинтересованные в развитии данной технико-экономической ниши.

Таблица 7.2 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
1	2
Проектные институты	Выполнение приказа Минпромторга России № 653 от 31 марта 2015 года [24]

Продолжение таблицы 7.2

1	2
Учебные заведения	Подготовка высококвалифицированных кадров.
Научно-исследовательские центры	- снижение экономических затрат на исследование способов борьбы выборов оксидов азота при сжигании твердого топлива; - достоверность полученных результатов.

Исходя из ожиданий заинтересованных сторон были сформирована цель и ожидаемые результаты проведения исследования (таблица 7.3).

Таблица 7.3 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Тестирование пакетов прикладных программ, позволяющих производить численное моделирование оксидов азота при сжигании твердого топлива в топочной камере котельного агрегата
Ожидаемые результаты проекта:	Выявление пакета прикладных программ, наиболее подходящего для моделирования выбросов оксидов азота
Критерии приемки результата проекта:	Объективная оценка полученных результатов. Погрешность результатов, полученных при расчете в ППП должна быть предельно допустимая
Требования к результату проекта:	Требование:
	Оформление результатов исследования в соответствии с требованиями нормативно-технической документации
	Оценка результата сторонней организацией
	Предоставление заключения о результатах исследования минимум на двух языках, один из которых русский.

7.2.2 Организационная структура проекта

При проведении сложных научно-исследовательских работ необходимо организовать группу способную разработать сам проект, оценить возможные экономические и социальные риски проекта и выполнить требования потенциальных потребителей.

Для выполнения вышенаписанных требований сформирована следующая группа (таблица 7.4).

Таблица 7.4 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1 Корзилова И. Е., магистрант ТПУ	Исполнитель	Проведение исследования	1000
2 Визгавлюст Н. В., ТПУ, преподаватель ст.	Руководитель исследования	Проверка полученных результатов	70
3 Грахова Е.А, ТПУ, ассистент	Эксперт проекта	Курирование раздела «Финансовый менеджмент»	5
4 Боровиков Ю.В. ТПУ, доцент	Эксперт проекта	Курирование раздела «Социальная ответственность»	5
5 Исакова Ю.И, ТПУ, доцент	Эксперт проекта	Курирование иностранной части проекта	2
Итого			1082

7.2.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта представлены в таблице 7.5

Таблица 7.5 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения
1 Бюджет проекта	200000
1.1 Источник финансирования	Государство, частное финансирование
2 Сроки проекта:	
1.2 Дата утверждения плана управления проектом	20.01.15
2.2 Дата завершения проекта	20.05.17

7.3 Планирование процесса управления НТИ

7.3.1 Планирование выполнения работ

Для плодотворной работы над проводимым исследованием, необходимо определить ключевые события исследования.

В ходе разработки последовательности решения поставленной задачи были выявлены следующие контрольные события (таблица 7.6).

Таблица 7.6 – Контрольные события исследования

Контрольное событие	Дата	Результат
1 Изучение проблемы исследования	01.09.14 –31.12.14	Участие в конференции
2 Выбор подходящих ППП и объекта исследования	01.03.15 –01.04.15	Участие в конференции
3 Проведение тестирования программных продуктов	01.04.15 –31.12.15	Участие в конференции
4 Анализ полученных результатов	01.02.16 –01.03.16	Структурирование накопленного материала для предоставления результатов исследования потенциальным потребителям
5 Исследования ресурсоэффективности и социальной значимости полученных результатов	10.03.17 –10.05.17	Оценка социальных и экономических рисков
6 Предварительная защита исследования внутри института	17.05.17	Оценка адекватности полученных результатов экспертами
7 Представление результатов исследования потенциальным потребителям	16.06.17	Оценка полученных результатов потенциальными потребителями.

Изучение цели исследования включало в себя ознакомление со всеми возможными источниками. Важность данный этапа проекта заключалась в получении теоретической базы в рамках основной цели данной работы.

Выбор подходящих ППП и объекта исследования подразумевал под собой из большого объема информации, найденного при выполнении первого контрольного события, выявить объект и метод исследования. Данная контрольная точка позволила от теоретического ознакомления с проблемой исследования перейти к фазе эксперимента.

7.3.2 Расчет бюджета затрат на исследование

7.3.2.1 Основные расходы на оборудование

Для определения затрат на научно-исследовательскую работу необходимо сметно–плановую калькуляцию (таблица 7.7).

Таблица 7.7– Основные расходы на оборудование

Статьи затрат	Стоимость, руб.
1 Персональный компьютер	32300
2 Комплектующие ПЭВМ	13000
3 Принтер	12500
4 Стол	2400
5 Стул	2000
6 Канцелярские принадлежности	3500
Итого	52500

7.3.2.2 Заработная плата

Для расчета заработной платы приняты дневные ставки для руководителя (эксперта) и инженера в размере 172 руб. и 48 руб. соответственно. Расчет заработной платы производится на основании перечня работ и трудоемкости работ (таблице 7.8).

Таблица 7.8 – Расчет по статье «Основная зарплата»

Этапы работы	Трудоемкость, чел/день		Суммарная основная заработная плата, руб.
	инженер	руководитель/ эксперт	
1 Постановка задачи	6	15	2868
2. Изучение литературы	70	0	3360
3 Анализ исходной информации	30	20	4880
4 Предварительный технико-экономический анализ	30	8	2816
5 Выбор математической модели	15	15	3300
6 Математическое моделирование в ППР при различных режимах горения	115	30	10680
7 Обработка результатов и основные выводы	122	30	11016
8 Исследование вопросов безопасности жизнедеятельности	12	4	1264
9 Исследование вопросов ресурсоэффективности	12	4	1264
10 Разработка иностранной части	15	4	1408
9 Оформление собранной информации	40	2	2264
Итого:	467	132	45100

Дополнительная заработная плата:

$$З_{\text{доп}} = 0,1 \cdot З_{\text{ос}}; \quad (7.3.2.2.1)$$

$$З_{\text{доп}} = 0,1 \cdot 45100 = 4510 \text{ руб.}$$

Отчисления в социальные фонды (единый социальный налог):

Единый социальный налог (ЕСН) включает в себя отчисления в фонд пенсионного страхования, фонд социального страхования и фонд обязательного медицинского страхования (27%):

$$\text{ЕСН} = 0,27 \cdot З_{\text{общ}} = 0,27 \cdot (З_{\text{всп}} + З_{\text{осн}}); \quad (7.3.2.2.2)$$

$$\text{ЕСН} = 0,27 \cdot (45100 + 4510) = 13390,7 \text{ руб.}$$

Расчет накладных расходов:

К статье «Накладные расходы» относятся затраты на эксплуатацию и обслуживание. Размеры накладных расходов планируются в размере 60% от фонда заработной платы.

$$\text{НУ} = 0,6 \cdot 45100 = 27060 \text{ руб.} \quad (7.3.2.2.3)$$

Издержки на услуги сторонних организаций:

Затраты на услуги сторонних организаций включают в себя услуги транспортировки оборудования, затраты на поставку основных и вспомогательных материалов и прочие взаимосвязи. Затраты на услуги сторонних организаций принимаются и составляют 6000 руб.

7.3.2.3 Расходы на проведение научно-исследовательской работы

Смета данных расходов приведена в таблице 7.9 Рассчитываемая смета расходов включает затраты на приобретение необходимого оборудования, для проведения НИР и текущие расходы.

Таблица 7.9 – Смета расходов на проведение научно-исследовательской работы

Статьи расходов	Расходы, руб.
1	2
1 Оборудование	52500
2 Основная заработная плата	45100

Продолжение таблицы 7.9

1	2
3 Дополнительная заработная плата	4510
4 Отчисление на социальное страхование	13390,7
6 Накладные расходы	27060
7 Услуги сторонних организаций	6000
Итого	148560,7

Как видно из проведенных расчетов полученная смета не выходит за рамки бюджета проекта. Низкая стоимость исследования связана с тем, что исследование проводится на базе Томского политехнического университета.

7.4 Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности результатов исследования

При сравнительной оценке эффективности исследования рассмотрим интегральный показатель эффективности разработки. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{148560,7}{1000000} = 0,148, \quad (7.4.1)$$

где I_{ϕ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

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

$$I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (7.4.2)$$

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 7.10.

Таблица 7.10 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	FIRE 3D – NO _x	Натурный эксперимент	ANSYS FLUENT
1 Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	3	5
2 Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	1	3
3 Помехоустойчивость	0,15	5	3	3
4 Энергосбережение	0,20	4	3	3
5 Надежность	0,25	4	5	4
6 Материалоемкость	0,15	5	1	5
Итого	1	4,4	2,9	3,75

Как видно проведенных расчетов самый низкий интегральный показатель ресурсоэффективности при проведение натурного эксперимента. Для дальнейших расчетов будут использованы показатели FIRE 3D – NO_x и ANSYS FLUENT.

Интегральный показатель эффективности FIRE 3D – NO_x и ANSYS FLUENT определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} = \frac{4,4}{0,148} = 29,73, \quad (7.4.3)$$

$$I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} = \frac{3,75}{0,148} = 25,34$$

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{фир}^p}{I_{фир}^a} = \frac{29,73}{25,34} = 1,17 \quad (7.4.4)$$

где \mathcal{E}_{cp} – сравнительная эффективность проекта;

$I_{тэ}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{тэ}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

В результате сравнения интегрального показателя эффективности было выявлено, что ППП FIRE 3D – NO_x при сравнительной оценке в 1,17 эффективнее ANSYS FLUENT.

8 Социальная ответственность

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

№ п/п	Год публикации	Соавторы, наименование статьи, издательство
1	2014	Корзилова, И. Е. Численное моделирование образования оксидов азота при горении пылевидного топлива [Электронный ресурс] / И. Е. Корзилова, Н. В. Визгавлюст; науч. рук. Н. В. Визгавлюст //Интеллектуальные энергосистемы: труды II Международного молодёжного форума, 6-10 октября 2014 г., г. Томск: в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). —Т. 1. — [С. 260-264]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader.
2	2015	Корзилова И.Е Проект парового котла, предназначенного для замены устаревшего оборудования электрических станций [Электронный ресурс.] /Корзилова И.Е., Визгавлюст Н.В. науч. рук. Н. В. Визгавлюст // Современные техника и технологии том I сборник трудов XXI международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых 5-9 октября 2015 г. в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). —Т. 1. — [С. 88-90]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader.
3	2015	Корзилова И.Е Численный анализ моделей кинетических схем при расчете образования оксидов азота при факельном сжигании твердого топлива [Электронный ресурс.] /И.Е. Корзилова, Н.В. Визгавлюст, Е.А Зуева, Л.В. Чепелян науч. рук. Н. В. Визгавлюст // Труды VIII Международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в металлургии», (23-24 октября 2015 года) // Карагандинский государственный индустриальный университет). —Т. 1. — [С. 411-415]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader.
4	2015	Корзилова, И. Е. Проект парового котла, предназначенного для замены устаревшего оборудования электрических станций [Электронный ресурс] = Steam boiler engineering design for renovation of obsolete power plant equipment / И. Е. Корзилова, Н. В. Визгавлюст; науч. рук. Н. В. Визгавлюст // Современные техника и технологии: сборник трудов XXI международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 5-9 октября 2015 г.: в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). —Т. 1. — [С. 88-90]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader.
5	2016	I. E. Korzilova ; N. V. Vizgavlyust ; K. V. Buvakov ; T. S. Tailasheva ; A. V. Starchenko Analysis of the models in forecastig kinematic scheme education nitrogen oxides in the solid fuel // MATEC Web of Conferences . - 2016 - Vol. 23, Article number 16760303. - p. 1-4
6	2016	Oraz, J. A., Korzilova, I. E., Ermolaev, A. N., Khaustov, S. A., & Dolgih, A. Y. Mathematical model of stacked one-sided arrangement of the burners. // MATEC Web of Conferences, (2016). vol. 92, Article number 16760303. - p. 1-4

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

Приложение А

(обязательное)

Свидетельство о регистрации программного продукта FIRE 3D NOx

Приложение Б

(обязательное)

Памятка

Приложение В

(обязательно)

План эвакуации при пожаре

Приложение Г
(обязательное)
Матрица SWOT-анализа

Приложение Д

(обязательное)

Приложение Е

(обязательное)

Эскиз котельного агрегата БКЗ–320–140