

На правах рукописи



Тыскинеева Ирина Евгеньевна

РАЗРАБОТКА МЕТОДА СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ
И ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ КИПЯЩЕГО СЛОЯ

Специальность 05.14.01 – Энергетические системы и комплексы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иркутск 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Восточно-Сибирский государственный технологический университет технологий и управления»

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
Дамбиев Цырен Цыдэнович

Официальные оппоненты:

Елсуков Владимир Константинович

доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Братский государственный университет», кафедра «Промышленная теплоэнергетика», профессор кафедры

Степанова Елена Леонидовна

кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, отдел тепловых систем, старший научный сотрудник

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Забайкальский государственный университет, г. Чита

Защита диссертации состоится «10» апреля 2018 г. в 13:30 на заседании диссертационного совета Д 003.017.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН) по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, к. 355.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИСЭМ СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, к. 407 и на сайте <http://isem.irk.ru/dissert/case/DIS-2017-10/>

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью составителя, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, на имя учёного секретаря диссертационного совета.

Автореферат разослан «__» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 003.017.01,
доктор технических наук, профессор



**Клер
Александр Матвеевич**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Согласно Энергетической стратегии (ЭС) России задачей развития энергетики в сфере экологии и противодействия изменению климата является всемерное сдерживание роста и уменьшение негативного влияния добычи, производства, транспортировки и потребления энергоресурсов на окружающую среду, климат и здоровье людей.

В число мер, способствующих решению данной задачи, входят:

- переход в отраслях ТЭК на принципы наилучших доступных технологий;
- создание системы мониторинга и учет экологических и природоохранных рисков;
- стимулирование научных исследований и поддержка разработки перспективных технологических решений, направленных на снижение негативного воздействия на окружающую среду и экологических рисков;
- создание экологически чистых, низкоуглеродных и ресурсосберегающих технологий производства, транспортировки, хранения и использования энергетических ресурсов.

Также стратегией определены приоритетные технологии в развитии теплоэлектроэнергетики, направленные на отечественные разработки для крупномасштабного применения на период до 2035 года:

- котлоагрегаты с циркулирующим кипящим слоем на угле для паротурбинных конденсационных энергоблоков;
- котлоагрегаты с циркулирующим кипящим слоем на угле для паротурбинных теплофикационных энергоблоков;
- новые технологии газификации твердого топлива, включая биомассу и бытовые отходы, например на основе плазменно-энергетических технологий.

Котлы по технологии КС и ЦКС демонстрирует хорошие адаптационные возможности к изменению качества угля, обладают хорошими маневренными свойствами, обеспечивают эффективное снижение негативного воздействия угольной энергетики на окружающую среду.

Поэтому, для Республики Бурятия и Забайкальского края, в которых основным источником производства тепла и электроэнергии является уголь, наиболее значимыми будут цели и задачи в решении технологических и экологических проблем. И прежде всего это сводится к тому, что энергетические установки на угле должны быть экологически безопасными для окружающей среды.

В связи с вышеизложенным, можно отметить, что проведение исследований сжигания Бурятских и Забайкальских углей и внедрение технологии ЦКС на котлоагрегатах, для снижения воздействия на окружающую среду, актуальны.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с научно-исследовательской темой ВСГУТУ «Охрана окружающей среды в водосборном бассейне реки Селенги и озера Байкал в целом», 2000-2004 гг. № ГР 01870019608; государственным контрактом на выполнение научной работы по разработке «Республиканской целевой программы энергосбережения Республики Бурятия на период до 2020 года», № 317 от 28.09.2009; госбюджетной темой «Эксплуатация систем теплоснабжения в условиях РБ на основе энергосбережения», 2011-2015 гг. № ГР 01201254531.

Степень разработанности темы.

Исследования по изучению технологии кипящего и циркулирующего кипящего слоя, эффективности применения данных технологий для снижения негативного воздействия угольных ТЭС и котельных на окружающую среду проводились такими авторами как Баскаков А.И., Беляев Л.А., Рябов Г.А., Кан Чан Ир, Загородский И.А., Долгушин

И.А., Русских Е.Е., Скопцов Ю.В., Suzuki, Basu P., Lafanechere L., Jestjn L., Ishida K., Hasegava Y., Roper B., Thomas G. и др.

Несмотря на большое количество отечественных и зарубежных работ, посвященных данной тематике, практического применения этих технологий сжигания в России не так много. Достаточно обширно рассмотрены вопросы, посвященные проблемам утилизации тепла уходящих газов, исследованиям гидродинамики, оптимизации параметров энергоблоков, газификации различных видов биомассы в кипящем слое, исследованиям процессов, протекающих при совместном сжигании угля и биомассы. Однако, большая часть исследований посвящена работе котлов с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС) средней и большой мощности.

В диссертационной работе соискателем проведены исследования по сжиганию Бурятских и Забайкальских углей в котлах малой мощности с топками высокотемпературного циркулирующего кипящего слоя (ВЦКС) и низкотемпературного кипящего слоя (НТКС). Предложенный метод системного подхода к оценке мероприятий по минимизации негативного воздействия объектов теплоэнергетики на воздушный бассейн, прежде не рассматривался.

Цели работы включают разработку метода по снижению вредного воздействия энергетических комплексов на окружающую среду, с применением системного подхода (на примере теплоэнергетического комплекса города Улан-Удэ); обоснование применения технологии кипящего слоя экспериментальным путем и оценку эффективности внедрения данной технологии.

В соответствии с целями были поставлены следующие задачи:

- произвести анализ существующих методов очистки вредных выбросов, способов сжигания угля, негативного влияния объектов теплоэнергетики на воздушный бассейн и разработать метод по снижению вредного воздействия энергетических комплексов на окружающую среду, с применением системного подхода;
- произвести расчет уровней загрязнения вредными выбросами от отдельных источников энергии;
- исследовать процесс сжигания Бурятских и Забайкальских углей в топках с высокотемпературным (ВЦКС) и низкотемпературным (НТКС) кипящим слоем и получить математическую модель зависимости концентрации оксидов азота от температуры слоя и коэффициента избытка воздуха;
- определить эффективность внедрения технологии кипящего слоя для снижения негативного воздействия теплоэнергетики на воздушный бассейн города Улан-Удэ.

Методологическую и теоретическую основу исследования в данной работе составляют комплексный анализ и системный подход к изучению рассматриваемых задач. При работе над диссертацией использовались методы математического моделирования, расчета концентраций загрязняющих веществ и оценки эколого-экономической эффективности.

Научная новизна:

1. Предложен метод исследования проблемы загрязнения атмосферного воздуха с применением системного подхода, который позволяет в комплексе рассмотреть оценку вредных выбросов от отдельных источников энергии, модернизацию котельного оборудования и варианты развития системы энергоснабжения с учетом минимизации вредного воздействия на воздушный бассейн.
2. На основе экспериментальных данных построены регрессионные зависимости (математическая модель) концентрации оксидов азота от температуры слоя и коэффициента избытка воздуха при сжигании Бурятских и Забайкальских углей в топках ВЦКС и НТКС.
3. Выполнена эколого-экономическая оценка по техническому перевооружению муниципальных котельных малой мощности и вариантов расширения ТЭЦ-2 города Улан-

Удэ, где показана эффективность технологии кипящего слоя, которая может иметь практическую значимость.

Достоверность работы. Достоверность результатов получено на основе многочисленных экспериментальных исследований, неоднократно апробировалось путем сопоставления расчетных данных с показателями работы ряда котлоагрегатов с кипящим слоем. Использовались программы «УПРЗА Эколог 4.0», STATISTICA 8.0, Excel 2010. Проводились замеры концентрации вредных выбросов от котлоагрегатов с применением портативных приборов (анализатор testo 350, testo 340).

Личный вклад автора. Личное участие автора заключается в разработке метода системного подхода, проведении экспериментов, получении моделей и анализе экспериментальных данных.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты работы представляют интерес для теплогенерирующих предприятий и могут послужить обоснованием при принятии решений по развитию тепло- и энергоснабжения.

Полученные данные используются в учебном процессе при изучении следующих дисциплин (Энергосбережение и экология, Котельные установки и парогенераторы) на кафедре «Тепловые электрические станции» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления.

Положения, выносимые на защиту.

1. Метод исследования проблемы загрязнения атмосферного воздуха с применением системного подхода, который позволяет в комплексе рассмотреть оценку вредных выбросов от отдельных источников энергии, модернизацию котельного оборудования и варианты развития системы энергоснабжения с учетом минимизации вредного воздействия на воздушный бассейн.

2. Регрессионные зависимости концентрации оксидов азота от температуры слоя и коэффициента избытка воздуха, построенные на основе экспериментальных данных, при сжигании Бурятских и Забайкальских углей в топках ВЦКС и НТКС.

3. Эколого-экономическая оценка технического перевооружения муниципальных котельных малой мощности и вариантов расширения ТЭЦ-2 города Улан-Удэ, показывающая эффективность технологии кипящего слоя.

Соответствие паспорту специальности. Диссертационная работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности ВАК 05.14.01 – «Энергетические системы и комплексы»: пункт 1. «Разработка научных основ исследования общих свойств, создания и принципов функционирования энергетических систем и комплексов, фундаментальные и прикладные системные исследования проблем развития энергетики городов, регионов и государства, топливно-энергетического комплекса страны»; пункт 4. «Разработка научных подходов, методов, алгоритмов, программ и технологий по снижению вредного воздействия энергетических систем и комплексов на окружающую среду».

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на Ежегодной научно-практической конференции преподавателей, научных работников и аспирантов ВСГУТУ г. Улан-Удэ, 2012-2016 гг.; Международной научно-практической конференции в области экологии и безопасности жизнедеятельности г. Комсомольск-на-Амуре, 2006 г.; Международной научной-школе конференции студентов и молодых ученых г. Абакан, 2006 г.; IV школе-семинара молодых ученых России посвященная 50-ю СО РАН п. Истомино БНЦ СО РАН, 2007 г.; Материалы международной научно-практической конференции посвященной 20-летию географического отделения биолого-географического фак-та БГУ г. Улан-Удэ, 2008 г.; Materials of International Scientific Conference «Ecology and rational nature managment», Israel (Tel Aviv), 2014 г.; VII Всероссийской научно-практической конференции г. Улан-Удэ, 2015 г; Всероссийской научно-практической конференции «Электроэнергетика Байкальского региона: Проблемы и перспективы» Улан-Удэ – с. Горячинск, 2016.

Публикации. Результаты работы отражены в 12 печатных работах, 4 из которых опубликованы в журналах рекомендованных ВАК для публикации основных результатов кандидатских и докторских диссертаций, остальные тезисы докладов и материалы конференций.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов по работе, списка литературы и приложений. Работа изложена на 160 страницах и содержит 42 рисунка, 26 таблиц и 3 приложения. Список использованной литературы включает 130 наименований, в том числе 17 на иностранном языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, определена цель исследования, изложены научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса. Метод исследования» представлен обзор методов очистки газовых выбросов и способов сжигания угля в энергетических агрегатах, проведен анализ негативного воздействия объектов теплоэнергетики на окружающую среду, дано общее состояние воздушного бассейна города Улан-Удэ, описаны климатические и метеорологические условия. Предложен метод системного подхода по снижению негативного воздействия энергетических комплексов на окружающую среду, на примере теплоэнергетического комплекса города Улан-Удэ.

Различные технологии очистки дымовых газов от NO_x и SO_2 , применяемые в энергетике, требуют слишком больших капитальных затрат, характеризуются невысокой эффективностью очистки и усложнением эксплуатации котельных установок. Поэтому зачасную решение проблемы сводится не к применению дорогостоящего оборудования по очистке дымовых газов, а к использованию новых технологий сжигания топлива. Так, достаточно перспективным видется внедрение технологии кипящего слоя.

Проведенный анализ экологического состояния города говорит об актуальности работ в области снижения техногенного воздействия теплоэнергетических объектов на окружающую среду. Так, одним из оснований, служит список городов России с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха, представленный Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. В данный список вновь вошел город Улан-Удэ. Расчетный ИЗА (индекс загрязнения атмосферы) на 2016 г. составляет 22,9, что соответствует значению высоко загрязненной атмосферы. В этих условиях становится очевидной необходимость решения данной проблемы в области минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

Одним из ключевых моментов в исследовании проблемы загрязнения атмосферного воздуха является изучение взаимодействий в системе «производство – окружающая среда» с целью оценки и прогноза возможных изменений ее состояния, выбора адекватных управляющих воздействий. Решение сложных задач взаимодействия промышленно-энергетического комплекса и окружающей среды предполагает применение системного подхода, учитывающего широкий спектр факторов и откликов.

Сложность процессов, протекающих в системе «производство – окружающая среда» конкретного района влияния промышленно-энергетического комплекса, объясняется наличием большого числа факторов воздействия, разнообразием откликов, нелинейным, асинхронным характером связей между ними. Это делает необходимой, наряду с традиционными методами экспертных оценок и статистического анализа, разработку новых способов математической формализации, концептуального описания взаимодействий как между элементами системы, так и внутри них.

Особенно важна реализация данной задачи при создании автоматизированных информационно-систем по охране окружающей среды, осуществляющих функции наблюдения, оценки и прогнозирования объекта исследования. В данном случае моделирование

реализует задачу разработки модели как инструмента изучения состояния объекта в прошлом, настоящем и будущем с учетом развития промышленности.

Состав изучаемого объекта (рисунок 1) характеризуется наличием трех элементов, каждый из которых, обладая известной степенью независимости, является также сложной системой. Схема взаимодействия между ними представлена на рисунке 2.

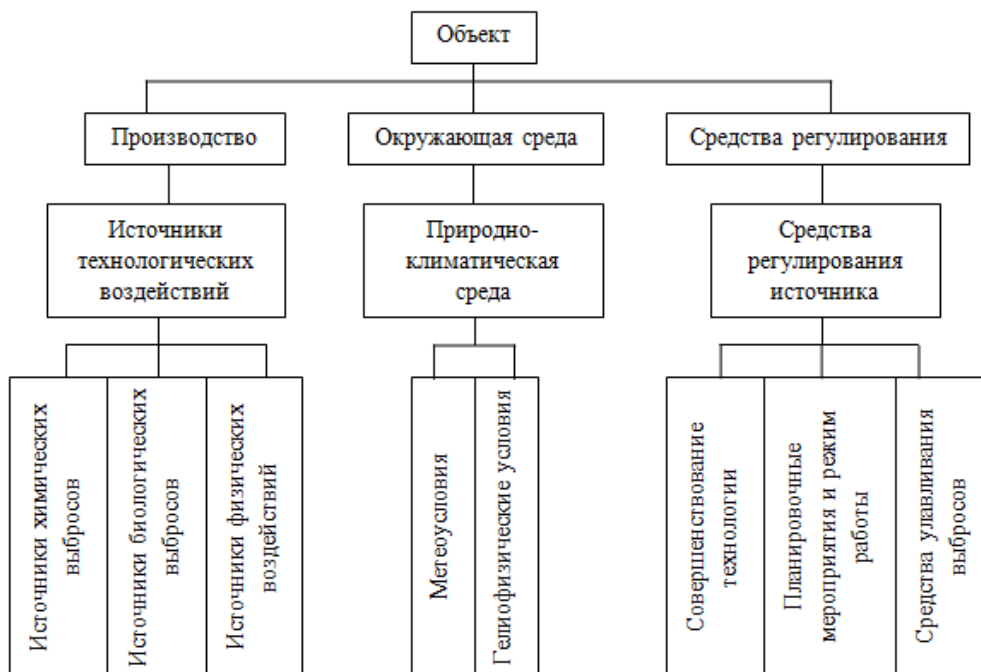


Рисунок 1 – Схема взаимодействия изучаемого объекта

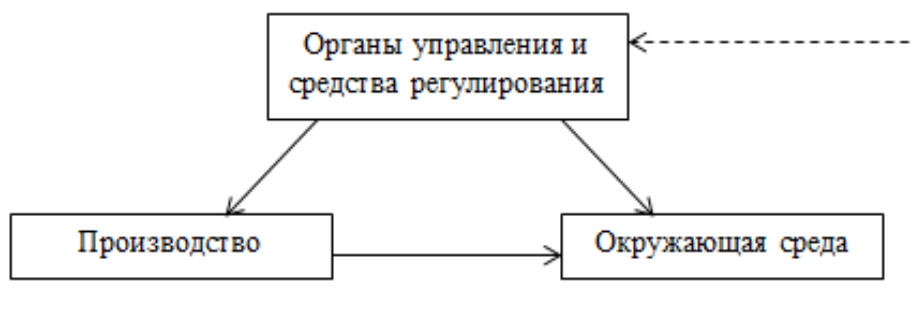


Рисунок 2 – Схема взаимодействия элементов системы
«производство – окружающая среда».

—— воздействия; ----- информационные потоки

При моделировании такой сложной системы избран путь разработки модели, представляющей собой совокупность разнообразных форм математического и экспертного описания характеристик элементов объекта и их взаимодействий, объединенных единой целью, алгоритмическим и программным обеспечением.

Предлагаемая модель F (рисунок 3) системы «производство – окружающая среда» предназначена для имитации поведения элементов системы в зависимости от воздействия комплексного потока факторов, влияющих на состояние каждого и на систему в целом.

Модель состоит из нескольких блоков. Блок F1 – блок формирования источника воздействия, который включает в себя подблоки F1.1 и F1.2. Подблоки F1.1 и F1.2. гене-

рируют выходные характеристики выбросов и воздействий на атмосферу. Это делается путем инженерных расчетов, основанных на входных параметрах: характеристиках сырья, режиме работы производства и других параметрах технологического процесса, особенностях оборудования, условиях удаления выбросов и т.д. К выходным характеристикам относятся показатели выбросов и воздействий, необходимые для последующего определения изменений атмосферы, например: координаты, объемы, температуры, химический состав, скорость выбросов, высота и диаметр труб и т.п.

Блок F2 – природно-климатические факторы. Для учета природно-климатических факторов в модель введен блок F2 – метеорологические условия и явления. Выходными параметрами являются температура, скорость и направление ветра, давление и влажность, туманы и др. Входами в блок служат преимущественно результаты реальных наблюдений за метеорологическими, синоптическими и другими факторами, а также выходы из подблока F1.1, характеризующие возможные воздействия выбросов на метеоусловия.

Блок F3 – состояние воздушного бассейна. Блок описывает формирование качественных и количественных характеристик состава и свойств атмосферы. Его входными параметрами являются выходные параметры подблока F1.1 и выходные параметры блока F2. Задача блока состоит в расчете значений концентраций примесей в атмосферном воздухе любой точки района и количества отдельных веществ, осаждающихся на поверхность района.

Блок F4 – средства регулирования. Данный блок включает в себя планировочные мероприятия, методы и средства улавливания выбросов, совершенствование технологии, режимы работы оборудования. Входом в блок служит информация из блока F1 и данные контролирующих служб предприятия. Выходными параметрами блока являются отдельные комплексные и интегральные показатели и характеристики состояния окружающей среды.

Блок F5 – оценка результатов. Этот блок предназначен для предметной (в соответствии с требованиями специальных исследований в зависимости от изучаемого явления) и гигиенической оценки выходов из блоков модели F1 – F4. Таким образом, формируется модель для выработки оптимального решения при планировании социально-экономического развития региона.



Рисунок 3 – Структурная модель системы «производство – окружающая среда».

В конечном итоге модель F реализуется в виде комплекса взаимосвязанных машинных программ и является средством изучения и прогнозирования состояния системы, анализа возможных последствий управляющих решений с точки зрения изменений окружающей среды.

Во второй главе «Механизмы формирования полей загрязнения и вклад объектов теплоэнергетики в общее загрязнение атмосферы города» рассчитаны поля концентраций загрязняющих веществ от работы котлов теплогенерирующих объектов города Улан-Удэ.

Для оценки загрязнения атмосферы вредными выбросами (прежде всего, это оксиды серы и азота) широко применяются математические модели разной степени сложности.

В общем виде задача прогноза загрязнения воздуха математически может быть определена как решение при определенных начальных и граничных условиях дифференциального уравнения:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 u_i \frac{\partial q}{\partial x_i} = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} k_i \frac{\partial q}{\partial x_i} - \alpha q, \quad (1)$$

где t – время; x_i – координаты; u_i и k_i – составляющие средней скорости перемещения примеси и коэффициента обмена, относящиеся к направлению оси x_i ($i=1, 2, 3$); α – коэффициент, определяющий изменение концентрации за счет превращения примеси; q – концентрация примеси.

В декартовой системе координат уравнение приобретает следующий вид:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + w \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial q}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial q}{\partial z} - \alpha q, \quad (2)$$

Данное уравнение не только описывает пространственное распределение средних концентраций, а также их изменение со временем. И в этой связи оно может рассматриваться как прогностическое уравнение. При решении практических задач данный вид уравнения может упрощаться. Например, вертикальные движения в атмосфере над горизонтальной однородной подстилающей поверхностью малы и практически можно принимать $w=0$ в случае легкой примеси, не имеющей собственной скорости перемещения. Если же рассматривается тяжелая примесь, постепенно оседающая, то w представляет собой скорость осаждения (которая входит в уравнение со знаком минус). Также изменения концентраций в атмосфере со временем носят обычно квазистационарный характер и

практически часто можно исключать член $\frac{\partial q}{\partial t}$, приняв его равным нулю. Таким образом, исходное прогностическое уравнение сводится к обычно используемому уравнению атмосферной диффузии:

$$u \frac{\partial q}{\partial x} - w \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial q}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial q}{\partial y} - \alpha q, \quad (3)$$

Использование фундаментального подхода математического моделирования турбулентной диффузии, который часто называют К-теорией, совместно с обоснованными упрощениями и эмпирическими уточнениями, легло в основу нормативного документа по расчету рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе ОНД-86. Данная методика широко используется для инженерных расчетов и реализована в ряде различных программных комплексов для расчета загрязнения атмосферы.

Расчет рассеивания выбросов загрязняющих веществ проводился с использованием программного комплекса УПРЗА «Эколог» (Унифицированная программа расчета загрязнения атмосферы «Эколог»), сертифицирована и согласована ГГО им. Воейкова (Главная геофизическая лаборатория, ФГБУ «ГГО»). Программа разработана фирмой «Интеграл»,

предназначена для расчета величин концентраций (приземных и на произвольной высоте) вредных веществ в атмосферном воздухе.

Для оценки вклада объектов теплоэнергетики в загрязнение атмосферного воздуха были определены самые значимые. Проведенные расчеты рассеивания выбросов от работы котлов теплогенерирующих объектов, показали превышения ПДК (см. рис. 4-6) в точках жилых зон по следующим веществам: диоксид серы, пыль неорганическая (70-20% SiO_2), пыль неорганическая (до 20% SiO_2) и группы суммации (диоксид азота, оксид азота, диоксид серы, мазутная зола электростанций).

Высокие концентрации в жилых и парковых зонах по диоксиду серы и пыли неорганической (70-20% SiO_2) создаются выбросами Улан-Удэнской ТЭЦ-1. Значения максимальных приземных концентраций по этим веществам соответственно равно 1,08 - 1,21 ПДК и 1,02-1,49 ПДК.

Также Улан-Удэнской ТЭЦ-1 создаются высокие значения концентрации группы суммации (диоксид азота, оксид азота, диоксид серы, мазутная зола электростанций) 1,44-2,05 ПДК. Основной вклад в максимальную приземную концентрацию пыли неорганической (до 20% SiO_2) вносит Улан-Удэнский энергетический комплекс филиал ОАО «ТГК-14» 1,14 ПДК.

Самым значимым предприятием города, с точки зрения объема выбросов загрязняющих веществ, является Улан-Удэнская ТЭЦ-1.

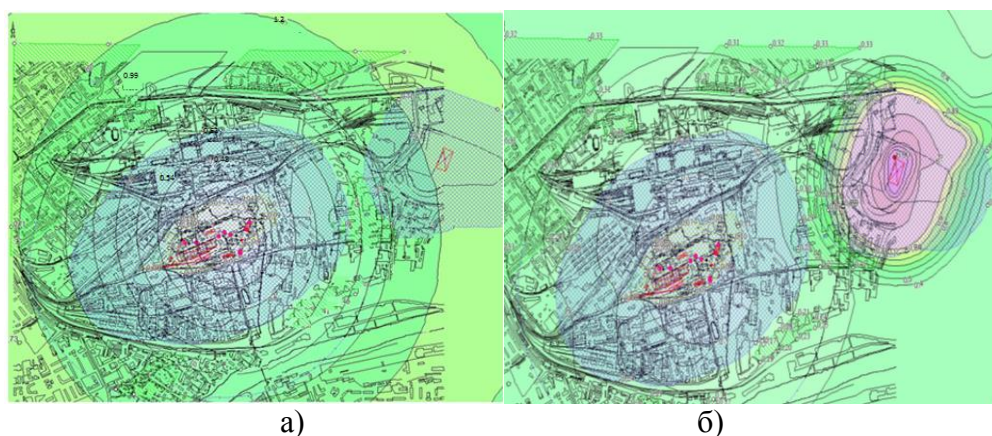


Рисунок 4 – Концентрация диоксида серы (а) и пыли неорганической (б) в долях ПДК, формируемое выбросами Улан-Удэнской ТЭЦ-1



Рисунок 5 – Концентрация пыли неорганической в долях ПДК, формируемое выбросами Улан-Удэнского энергетического комплекса (а) и Улан-Удэнской ТЭЦ-1 (б)

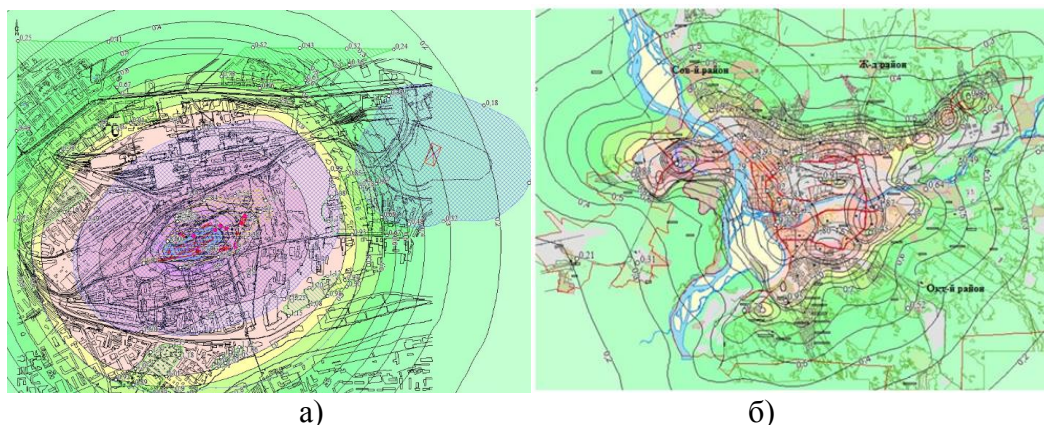


Рисунок 6 – Концентрация группы суммации в долях ПДК, формируемое выбросами Улан-Удэнской ТЭЦ-1 (а) и концентрация диоксида азота от всех объектов теплоэнергетики (б)

В третьей главе «Исследование характеристик горения Бурятских и Забайкальских углей в топках с кипящим слоем» изложена методика экспериментальных исследований и выбраны методы обработки экспериментальных данных, описана конструкция и рабочий режим исследуемых котлоагрегатов.

Испытания проводились в разных диапазонах нагрузки и на разных режимах. Исследования работы котлоагрегатов КЕ-10-14 (ВЦКС) на углях Тугнуйского, Тигнинского месторождения и КВр-23-25-150 (НТКС) на углях Тугнуйского, Тигнинского и Харанорского месторождения показали достаточно высокую эффективность выгорания топлива, маневренность и устойчивость работы при разных нагрузках.

Работа при разных нагрузках показала, высокий диапазон регулирования и возможность работы на минимальных нагрузках от номинала. Изменение температуры слоя представлена на рисунке 7.

По данным графика видно, что при снижении нагрузки температура слоя падает, однако было замечено, что уголь Тигнинского месторождения наиболее стабилен к горению. Также в процессе проведения исследования установили, что уголь Тугнуйского месторождения, при резком изменении нагрузки, в процессе горения подвержен шлакованию в большей степени. То есть происходит плавление золы при быстром увеличении подачи угля в слой, тем самым в результате спекания слоя образуются большие куски инертного оплавленного материала, в результате чего горение прекращается, и котел необходимо останавливать.

Кроме того для котла КЕ 10-14 с высокотемпературным кипящим слоем наиболее оптимальная температура горения в топке составила $990-1050^{\circ}\text{C}$. При температуре 1100°C в топке с ВЦКС начинается процесс шлакования и загрязнения поверхности нагрева, отсюда следует сделать вывод, что данные угли для такого вида топки не совсем подходят, желательно использовать угли с меньшей калорийностью (до 4500 ккал/кг).

Для котла КВр 23-25-150, с топкой НТКС, более оптимальным является уголь Тигнинского месторождения. Тугнуйский уголь оказался калорийным для низкотемпературного вида топки, а Харанорский уголь в связи с большой влажностью $W^p = 40\%$ снижает КПД котла и обуславливает нестабильность процесса горений в слое.

В таблице 1 представлены значения результатов проведенных испытаний по исследуемым углям. Величина КПД при работе котла в эксплуатационных диапазонах нагрузок колеблется в пределах $80-86\%$. Зависимость КПД от нагрузки для испытуемых углей представлена на рисунке 8.

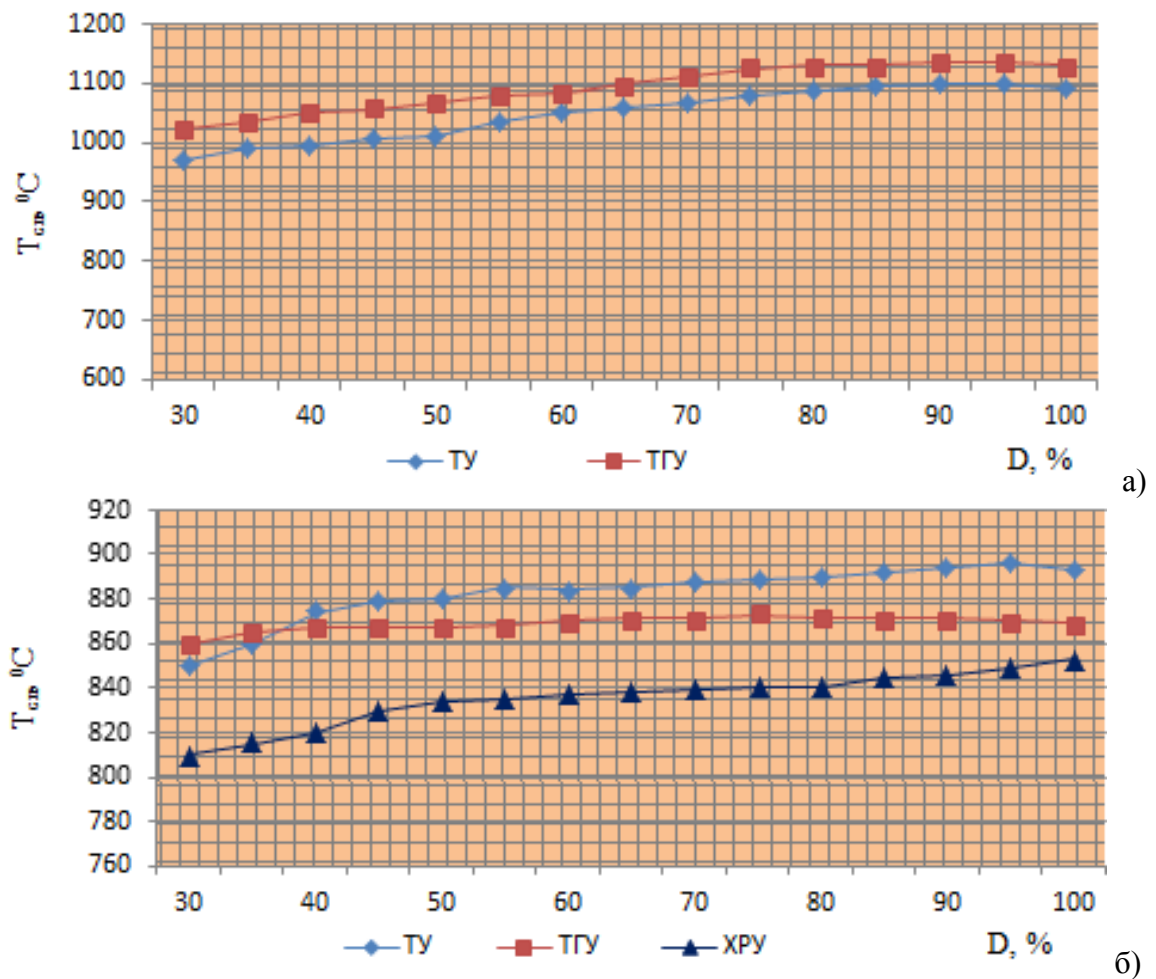


Рисунок 7 – Изменение температуры слоя при различных нагрузках: а) КЕ-10-14; б) КВр 23-25-150

Таблица 1 – Результаты испытаний по двум котлам

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение при нагрузке котла от номинальной КВр 23-25-150 / КЕ-10-14		
		min	mid	max
Тепло/паро-производительность котла	Гкал/ч т/ч	8,0/7,4	14,0/10,5	20,0/15,0
Разряжение в топке	Па	50/20	50/20	50/20
Содержание кислорода в дымовых газах за топкой	%	7,0-8,0/ 9,0-10,0	5,0-6,0/ 7,0-8,0	4,0-5,5/ 5,0-6,0
Коэффициент избытка воздуха за топкой	-	1,52/1,80	1,33/1,68	1,26/1,51
Температура дым. газов за топкой	°C	190/180	200/192	210/215
Температура слоя в топке	°C	850/980	880/1000	900/1052
Высота слоя	мм	500/300	500/300	500/300
Тугнуйский уголь				
Температура уходящих газов за ВЭК		114	120	125
Потери тепла с уходящими газами, q_2	%	9,6/11,7	8,8/10,2	9,2/11,3

Потери тепла с химическим недо- жогом, q_3	%	0,04/0,31	0,04/0,3	0,04/0,3
Потери тепла с механическим недожогом, q_4	%	2,2/3,14	1,99/2,97	2,48/3,2
Содержание СО в уходящих газах	%	0,05/ 0,094	0,048/ 0,083	0,039/ 0,061
Содержание NO _x в уходящих газах	мг/нм ³	224/237	230/261	243/272
КПД котла “брутто”	%	86/82	88/84	86/83
Расход топлива	т/ч	1,2/2,12	1,5/2,6	2,0/3,1
Тигнинский уголь				
Температура уходящих газов за ВЭК		125	130	135
Потери тепла с уходящими газами, q_2	%	8,9/11,6	7,91/10,7	8,7/12,1
Потери тепла с химическим недо- жогом, q_3	%	0,03/0,6	0,03/0,57	0,03/0,57
Потери тепла с механическим недожогом, q_4	%	2,11/3,08	1,98/2,76	2,27/3,13
Содержание СО в уходящих газах	%	0,03/ 0,097	0,04/ 0,085	0,033/ 0,07
Содержание NO _x в уходящих газах	мг/нм ³	211/227	220/234	232/258
КПД котла “брутто”	%	87/83	88/84	87/83
Расход топлива	т/ч	2,3/3,1	2,7/3,82	3,81/4,22
Харанорский уголь				
Температура уходящих газов за ВЭК		135	137	142
Потери тепла с уходящими газами, q_2	%	10,75/-	9,81/-	10,9/-
Потери тепла с химическим недо- жогом, q_3	%	0,05/-	0,05/-	0,05/-
Потери тепла с механическим недожогом, q_4	%	2,28/-	2,0/-	2,6/-
Содержание СО в уходящих газах	%	0,05/-	0,05/-	0,05/-
Содержание NO _x в уходящих газах	мг/нм ³	249/-	258/-	260/-
КПД котла “брутто”	%	84/-	86/-	84/-
Расход топлива	т/ч	3,62/-	4,3/-	5,6/-

Котлоагрегаты с топками ВЦКС и НТКС показали достаточно высокие показатели маневренности, диапазон изменения нагрузки котлов 30-100%, большую универсальность по сжигаемому топливу, быструю растопку и привычные методы эксплуатации, незначительно отличающиеся от обычных слоевых котлов. На рисунке 9 представлены сравнительные показатели экономичности работы котлов с топками НТКС и ВЦКС со слоевыми котлами: КВр 23-25-150 (НТКС), КЕ-10-14 (НТКС) и КВТС-20 (слоевой) и КЕ-10-14 (слоевой).

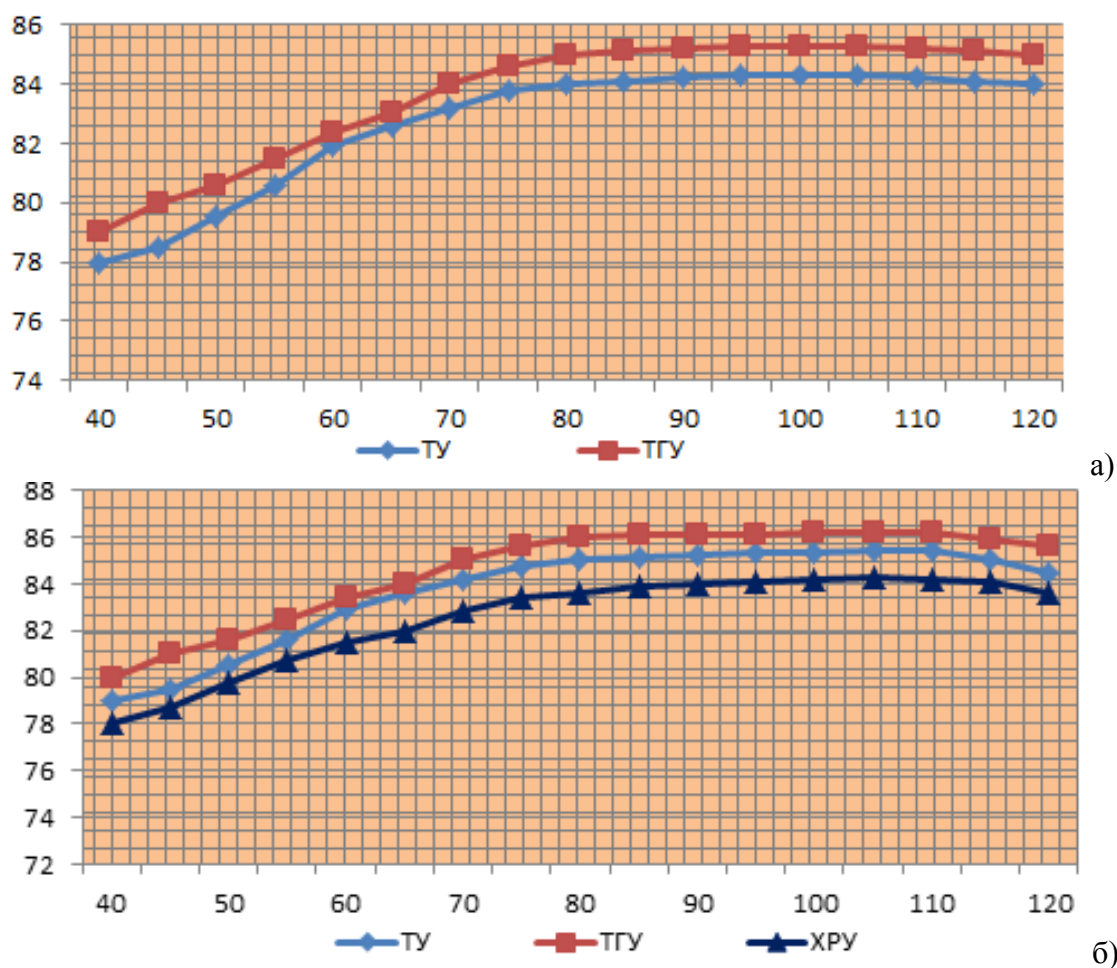


Рисунок 8 – Изменение КПД котла при различных нагрузках:
а) КЕ-10-14; б) КВр 23-25-150

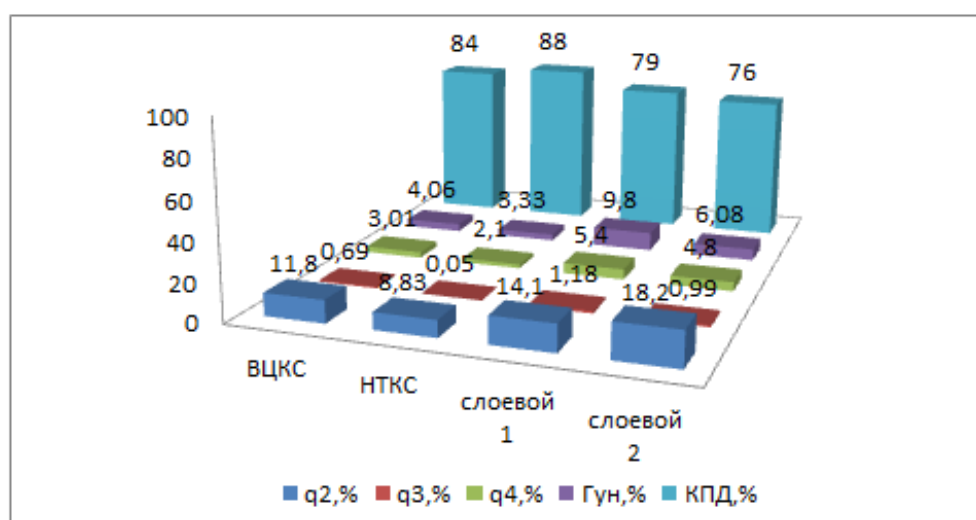


Рисунок 9 – Сравнительные показатели экономичности
работы котлов

Из рисунка видно, что котлы с топками кипящего слоя имеют преимущества перед слоевыми котлами. Однако, в случае сравнения котлов ВЦКС и НТКС, предпочтительно использование технологии низкотемпературного кипящего слоя.

Для более полного изучения процесса горения в кипящем слое Бурятских и Забайкальских углей необходимо использовать системный подход. Системный подход включает планирование эксперимента, разработку математической модели и обработку результатов этого эксперимента. При проведении экспериментов, необходимо выбрать критерий оптимизации, т.е. параметр по которому оценивается исследуемый объект и который связывает факторы в математическую модель.

Основной задачей планирования эксперимента является получение математической модели исследования в виде уравнений регрессий первой или второй степени.

Общий ход построения и последующего использования математической модели сводится к следующему:

- проводится априорное изучение объекта исследования по литературным источникам;
- определяются действующие факторы, влияющие на исследуемый процесс;
- выбирается критерий оптимизации процесса;
- строится модель по результатам проведенных опытов;
- производится оценка адекватности модели;
- проводится анализ полученной модели в оптимизации исследуемого процесса, т.е. обоснование технологических, кинематических и конструктивных параметров;
- появляется возможность обобщить материалы исследований в виде математической модели и дать им статистическую оценку.

В качестве критерия оптимизации была выбрана Y_1 ($C(NO_x)$) – концентрация оксидов азота. Обработка экспериментальных данных проводилась путем полнофакторного эксперимента при оптимизации параметров, а также использовались программы на ПК ЭВМ «STATISTICA-8.0». Данная программа позволяет решать любые задачи в области анализа, обработки данных. Включает широкий набор аналитических процедур и методов: разведочный анализ данных, корреляции, анализ многомерных откликов, множественной регрессии и др.

В результате обработки данных получили следующие уравнения регрессии, описывающие зависимость концентрации оксидов азота от температуры слоя и коэффициента избытка воздуха (а – Тигнинский уголь, б – Тугнуйский уголь, в – Харанорский).

1) математическая модель для котла КЕ 10-14:

$$Y_{1a}=868,399-15587 \cdot X_1-299,5336 \cdot X_2+0,0017 \cdot X_1^2-0,4454 \cdot X_1 \cdot X_2+196,4767 \cdot X_2^2 \quad (4)$$

$$Y_{1б}=-876,5089+1,1271 \cdot X_1+30,095 \cdot X_2 \quad (5)$$

2) математическая модель для котла КВр 23-25-150:

$$Y_{1a}=10777,37-23,807 \cdot X_1-698,59 \cdot X_2+0,0111 \cdot X_1^2+3,6625 \cdot X_1 \cdot X_2-876,4479 \cdot X_2^2 \quad (6)$$

$$Y_{1б}=-541,5937+0,8093 X_1+77,178 \cdot X_2 \quad (7)$$

$$Y_{1в}=-5181,561+7,6307 \cdot X_1+2616,258 \cdot X_2+0,0018 \cdot X_1^2+6,7798 \cdot X_1 \cdot X_2+1067,891 \cdot X_2^2 \quad (8)$$

где X_1 – температура слоя; X_2 – коэффициент избытка воздуха; Y – параметр оптимизации.

Графические зависимости представлены на рисунках 10-14.

По результатам эксперимента, в ходе обработки откликов, мы видим, что увеличение X_1 (температура слоя) приводит к росту концентрации оксидов азота. Такая же ситуация прослеживается и при росте X_2 (коэффициент избытка воздуха). Например, при

$X_2=1,6$ и повышении температуры слоя на 1°C увеличение концентрации составляет $0,252 \text{ мг/м}^3$, а если увеличиваем X_2 до $2,11$ – на $0,728 \text{ мг/м}^3$.

Увеличение выхода летучих приводит к росту выбросов NO_x . Результаты сжигания Бурятских и Забайкальских углей подтверждают данные по влиянию выхода летучих на выбросы оксидов азота. Максимальная концентрация NO_x относится к Тугнуйскому углю, а минимальная – к Тигнинскому углю. На котле КВр 23-25-150 с топкой НТКС при температуре слоя менее 890°C и избытке воздуха менее $1,62$ выбросы NO_x для Тугнуйского угля не превышают 264 мг/м^3 , для Харанорского угля – около 257 мг/м^3 и для Тигнинского угля – 241 мг/м^3 . Для котла КЕ 10-14 с топкой ВЦКС при температуре слоя менее 980°C и избытке воздуха менее $2,01$ выбросы NO_x для Тугнуйского угля не превышают 289 мг/м^3 , для Тигнинского угля – 256 мг/м^3 .

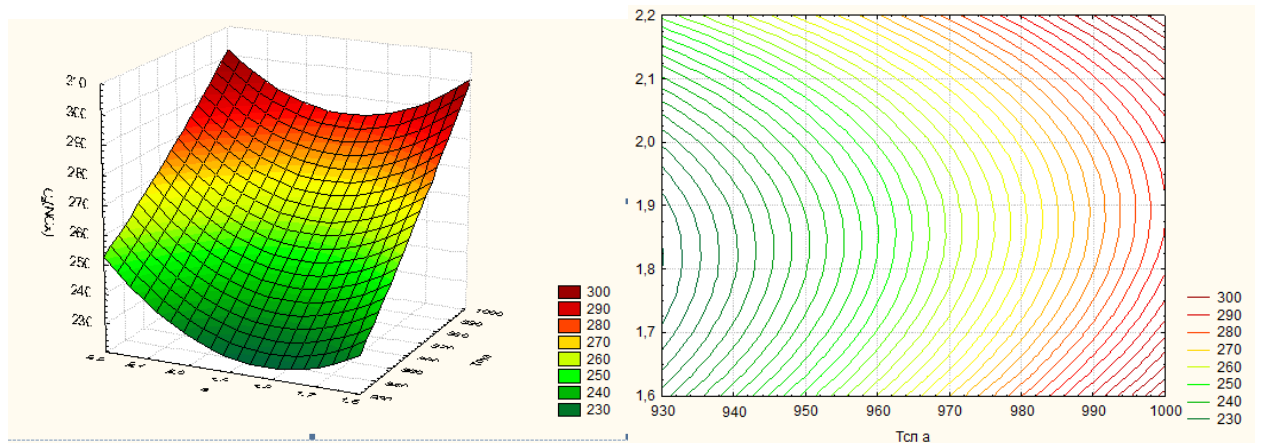


Рисунок 10 – Зависимость концентрации $C(\text{NO}_x)$ от $(T_{\text{сл}}, \alpha)$, Тигнинский уголь (котел КЕ 10-14)

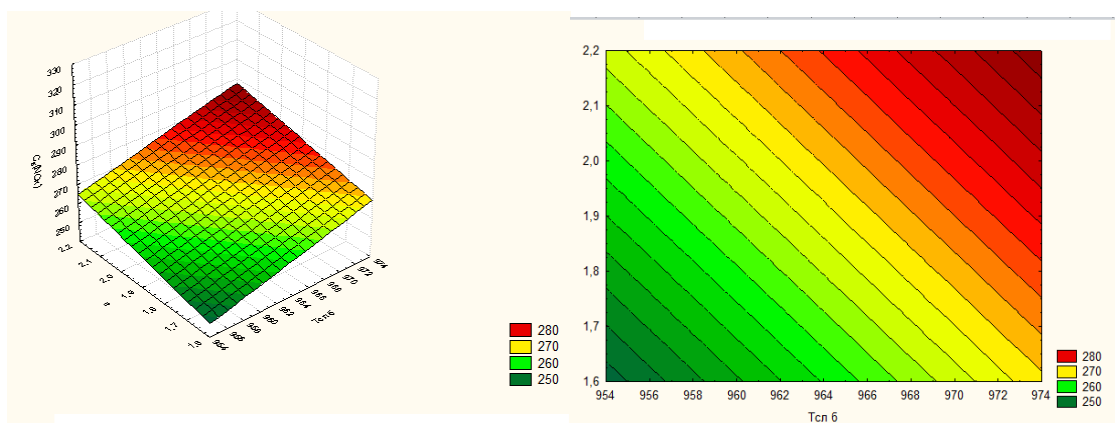


Рисунок 11 – Зависимость концентрации $C(\text{NO}_x)$ от $(T_{\text{сл}}, \alpha)$, Тугнуйский уголь (котел КЕ 10-14)

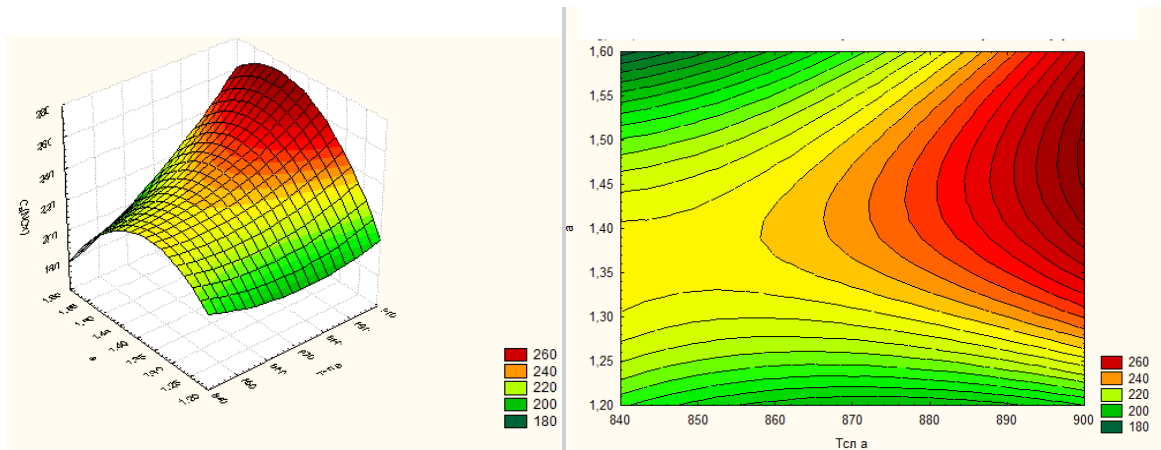


Рисунок 12 – Зависимость концентрации $C(\text{NO}_x)$ от $(T_{\text{сл}}, \alpha)$
Тигнинский уголь (котел КВр 23-25-150)

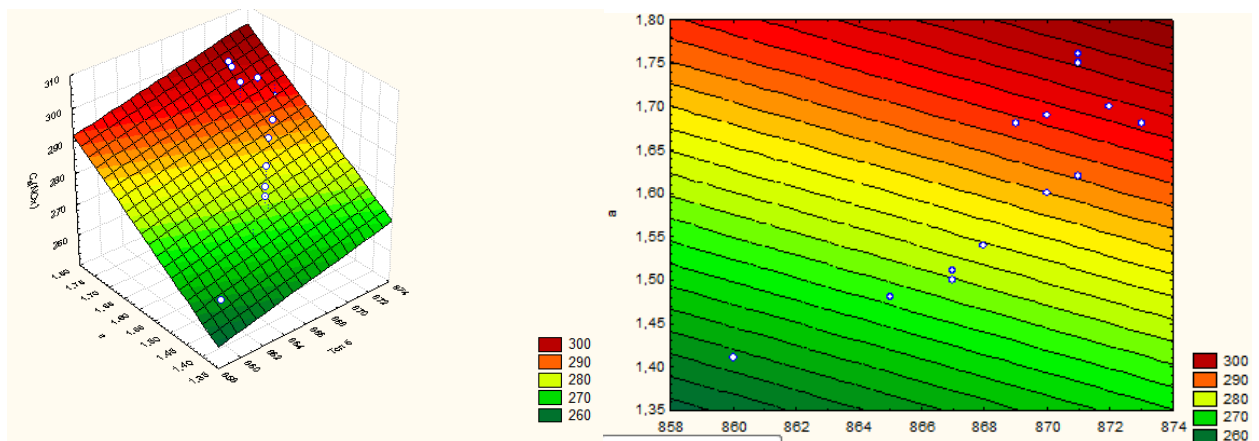


Рисунок 13 – Зависимость концентрации $C(\text{NO}_x)$ от $(T_{\text{сл}}, \alpha)$
Тугуйский уголь (котел КВр 23-25-150)

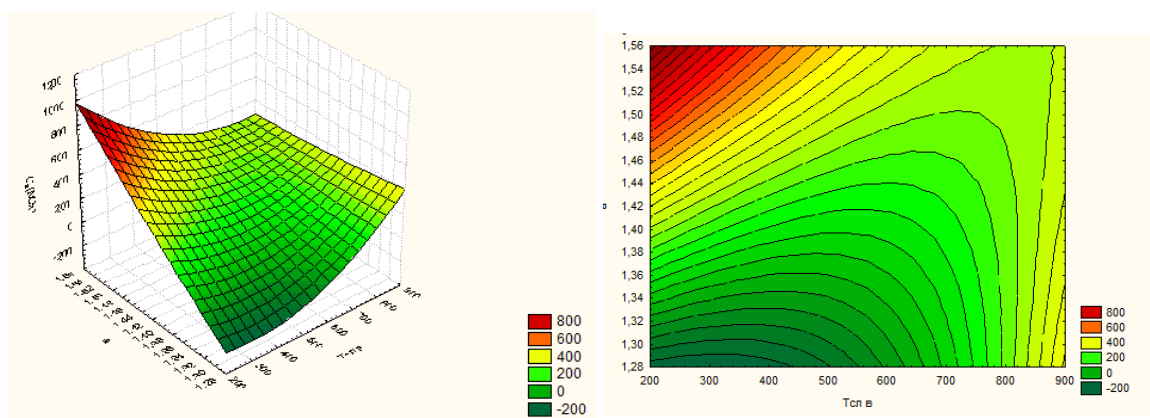


Рисунок 14 – Зависимость концентрации $C(\text{NO}_x)$ от $(T_{\text{сл}}, \alpha)$
Харанорский уголь (котел КВр 23-25-150)

В четвертой главе «Практическое внедрение технологии ЦКС на энергетических объектах Бурятии и Забайкальского края» дана оценка эффективности применения технологии КС в котлоагрегатах Бурятии и Забайкальского края. Предложен вариант по техническому перевооружению муниципальных котельных малой мощности на технологию КС и установки на ТЭЦ-2 города Улан-Удэ двух энергоблоков с котлами ЦКС. Произведен расчет эколого-экономической эффективности и ЧДД (чистого дисконтированного дохода) предлагаемых мероприятий.

В городе Улан-Удэ примерно 70% тепла для централизованного теплоснабжения приходится на ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2. Помимо этого в городе эксплуатируется свыше 200 котельных, из которых 36 находятся в муниципальной собственности. На сегодняшний день стоит проблема большого количества котельных, закрепленных за мелкими коммерческими организациями. Большинство котлоагрегатов малой мощности представляют собой топки со слоевым сжиганием, которые характеризуются низкой эффективностью сжигания, и как следствие, приводит к выбросу значительного количества вредных веществ, не отвечающих санитарно-гигиеническим требованиям.

Как уже отмечалось выше наиболее важным техническим преимуществом данной технологии является обеспечение минимальных выбросов оксидов азота и серы без использования крупногабаритных и дорогих установок очистки. В таблице 4.5 приведено сравнение газовых выбросов в котлах с топкой высокотемпературного кипящего слоя (КЕ-10-14), низкотемпературного кипящего слоя (КВр 23-25-150) и слоевой (КЕ-10-14 и КВТС-20).

Таблица 2 – Сравнение газовых выбросов

Показатель	Тип котла			
	КЕ-10-14 (ВЦКС)	КВр 23-25-150 (НТКС)	КЕ-10-14 (слоевой)	КВТС-20 (слоевой)
SO ₂ , мг/м ³	528	438	593	612
NO _x мг/м ³	247	221	356	403

Из таблицы 4.7 видно, что концентрации оксидов азота NO_x в котлах с топками ВЦКС и НТКС составляют не более 300 мг/м³, а в обычных слоевых топках котлоагрегатов (КЕ-10-14 и КВТС-20) эти значения примерно на 40% выше. При использовании возможности эффективного связывания оксидов серы (до 95%) путем подачи в топку известняка, можно добиться вполне оптимальных значений по выбросам. Однако, низкая концентрация оксидов серы (438 мг/м³) для котлоагрегата с топкой НТКС в приведенной таблице, объясняется тем, что в данной топке в качестве наполнителя используют речной песок и собственную золу слоя, в результате происходит связывание оксидов серы. Таким образом, следует отметить, что минералогический состав песка и золы может способствовать эффективному связыванию оксидов серы.

Эффективность от замены слоевых топок на топки с низкотемпературным кипящим слоем определялась отношением полного экономического эффекта к общим затратам, обусловившим его получение. При решении одноцелевой задачи по предотвращению или снижению негативного воздействия того или иного объекта на окружающую природную среду полный экономический эффект равен величине годового предотвращенного ущерба. Для определения величины предотвращенного ущерба используют усредненные расчетные значения экономической оценки ущерба на единицу приведенной массы атмосферных загрязнений для основных экономических районов РФ. Для определения массовых выбросов загрязняющих веществ были взяты результаты значений концентраций при сжигании Бурятских и Забайкальских углей в топках с низкотемпературным кипящим слоем, полученных экспериментальным путем.

Расчет эколого-экономической эффективности переоснащения муниципальных котельных города на технологию кипящего слоя показал максимальный эффект.

Были выполнены прогнозные расчеты рассеивания вредных выбросов с учетом ввода дополнительных мощностей на ТЭЦ-2 по двум возможным вариантам: 1) строительство традиционного пылеугольного котла; 2) строительство котла на базе ЦКС-технологии.

Строительство дополнительных теплофикационных энергоблоков на ТЭЦ-2 города Улан-Удэ обусловлено следующими обстоятельствами:

- повышением экономической эффективности работы станции;
- необходимостью замещения генерирующих мощностей на ТЭЦ-1 с учетом неизбежного вывода в ближайшие годы из эксплуатации морально и физически устаревшего объекта;
- прогнозом на дефицит электрической и тепловой мощности в ближайшем будущем;
- улучшением экологической обстановки центральной части города Улан-Удэ.

Расположение Улан-Удэнской ТЭЦ-2 наиболее оптимально с точки зрения наименьшей антропогенной нагрузки, она находится за территорией города вдали от центра, в зоне ее воздействия нет других серьезных источников выбросов загрязняющих веществ.

Проведенный прогнозный расчет показал, что введение дополнительных энергоблоков на ТЭЦ-2 с применением технологии ЦКС не усугубит техногенную нагрузку на воздушный бассейн города Улан-Удэ и не будут превышены санитарные нормативы по качеству атмосферного воздуха. Концентрации загрязняющих веществ при строительстве котлов с технологией ЦКС будет ниже на 30-40%, чем при строительстве традиционного пылеугольного котла. Результаты расчета по двум возможным вариантам представлены в таблице 3 и на рисунках 13-20.

Таблица 3 – Результаты расчета по двум возможным вариантам

№ варианта	Концентрации вредных веществ, доли ПДК			
	SO_2	NO_x	Пыль неорганическая (70-20% SiO_2)	Группа суммации ($NO_x + SO_2$)
1	0,78	0,67	0,91	0,86
2	0,48	0,36	0,71	0,69

При этом, следует отметить, что данный расчет имеет прогнозный характер и поэтому в случае второго варианта имеется некий «запас» по выбросам загрязняющих веществ. Кроме того, по пыли неорганической в первом варианте концентрации загрязняющих веществ получились в точках жилой зоны близкие к 1 ПДК.

Таким образом, уровень загрязнения при втором варианте будет значительно ниже, чем при первом варианте, что свидетельствует о целесообразности применения технологии ЦКС, которая позволит, в случае увеличения мощностей на ТЭЦ-2, минимизировать негативное воздействие на атмосферный воздух и выполнить санитарно-гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха населенных мест.

В качестве оценки эффективности строительства двух энергоблоков по технологии ЦКС был принят критерий интегрального дисконтированного эффекта, или чистого дисконтированного дохода. Расчет чистого дисконтированного дохода производился с использованием финансовой модели инвестиционного проекта в программе Excel.

Величина чистого дисконтированного дохода составит 7093,975 млн. руб., простой/дисконтированный срок окупаемости 14/18 лет.

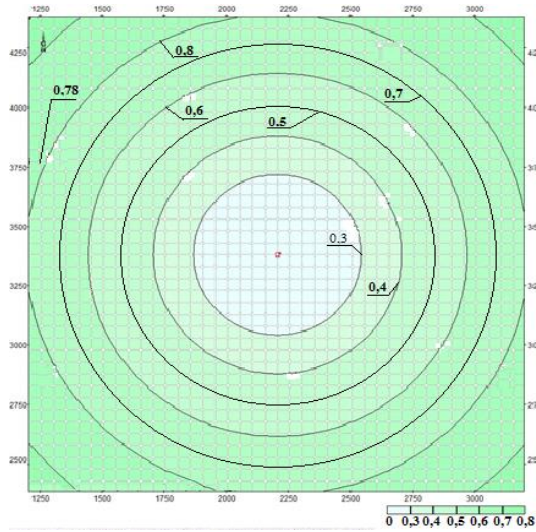


Рисунок 13 – Диоксид серы (1 вариант)

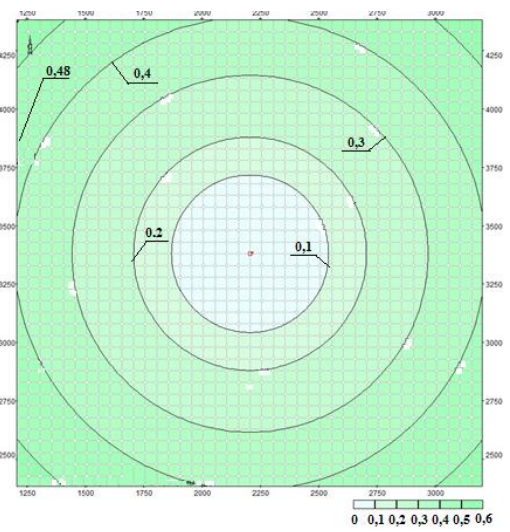


Рисунок 14 – Диоксид серы (2 вариант)

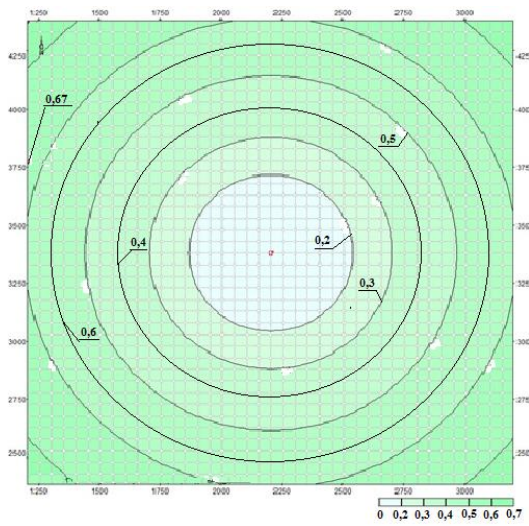


Рисунок 15 – Диоксид азота(1 вариант)

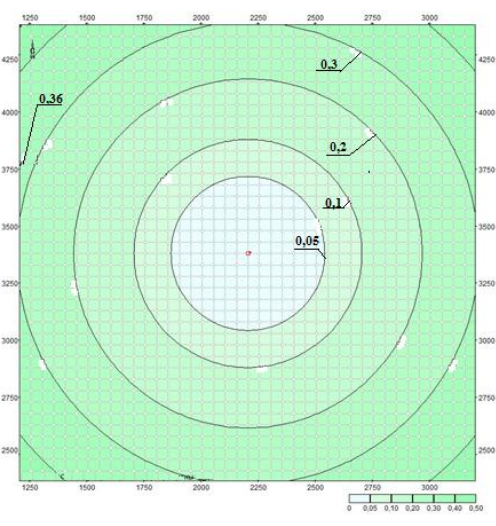
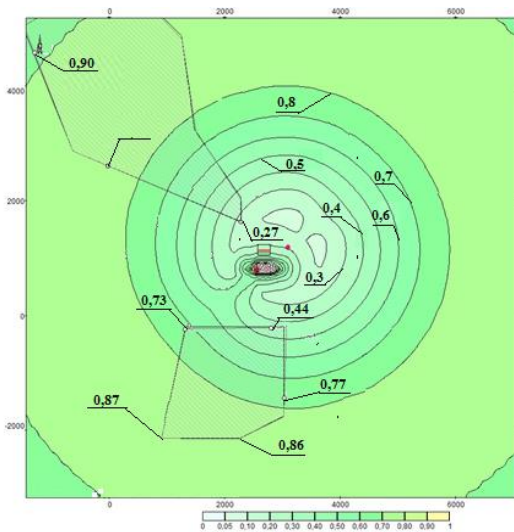
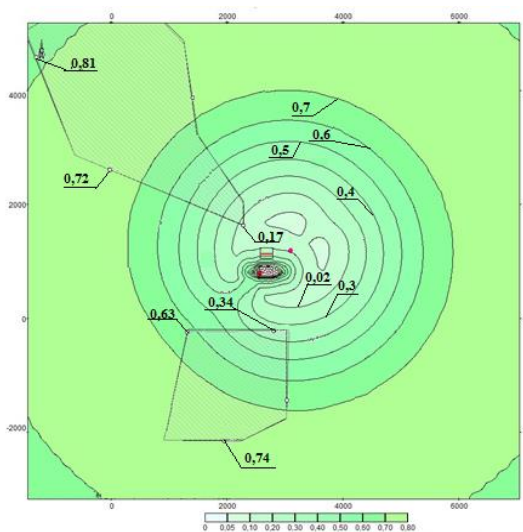


Рисунок 16 – Диоксид азота (2 вариант)

Рисунок 17 – Пыль неорганическая,
70-20% SiO₂ (1 вариант)Рисунок 18 – Пыль неорганическая,
70-20% SiO₂ (2 вариант)

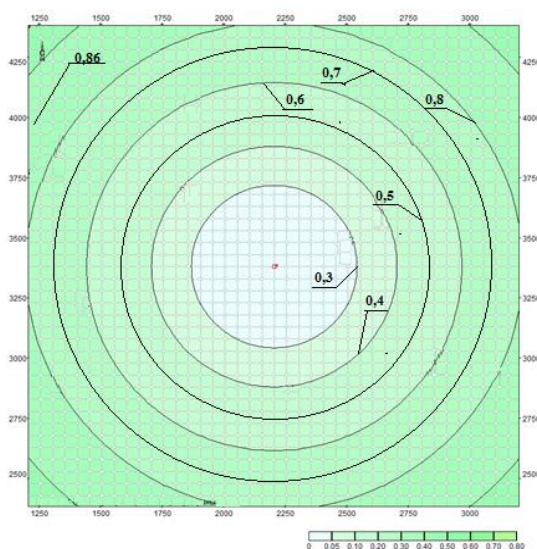


Рисунок 19 – Группа суммации,
 $\text{NO}_x + \text{SO}_2$ (1 вариант)

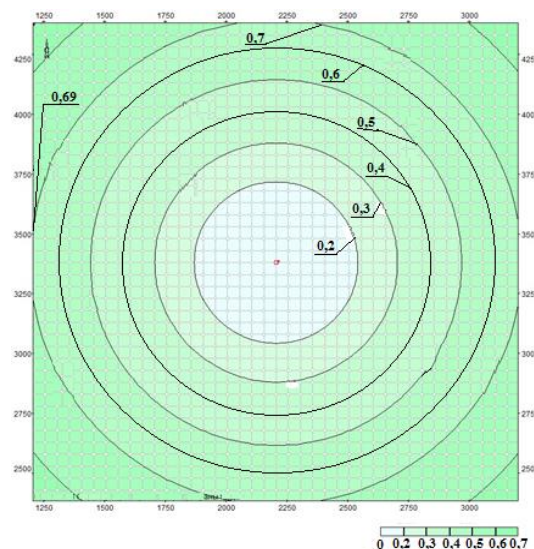


Рисунок 20 – Группа суммации,
 $\text{NO}_x + \text{SO}_2$ (2 вариант)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ экологического состояния города Улан-Удэ говорит об актуальности работ в области снижения техногенного воздействия теплоэнергетических объектов на окружающую среду. Обзор методов очистки дымовых газов от NO_x и SO_2 показал, что данные методы требуют больших капитальных затрат, характеризуются невысокой эффективностью очистки и усложнением эксплуатации котельных установок. Поэтому зачастую решение проблемы сводится не к применению дорогостоящего оборудования по очистке дымовых газов, а к использованию новых технологий сжигания топлива. Так, достаточно перспективным видится внедрение технологии кипящего слоя.

2. Проведенные расчеты рассеивания выбросов показали, превышения 1ПДК в точках жилых зон по следующим веществам: диоксид серы, пыль неорганическая (70-20% SiO_2), пыль неорганическая (до 20% SiO_2) и группы суммации. Высокие концентрации в жилых и парковых зонах по диоксиду серы и пыли неорганической создаются выбросами Улан-Удэнской ТЭЦ-1. Значения максимальных приземных концентраций по этим веществам соответственно равно 1,08 - 1,21 ПДК и 1,02-1,49 ПДК. Также ТЭЦ-1 создают высокие значения концентрации группы суммации (диоксид азота, оксид азота, диоксид серы, мазутная зола электростанций) 1,44-2,05 ПДК. Основной вклад в максимальную приземную концентрацию пыли неорганической (до 20% SiO_2) вносит Улан-Удэнский энергетический комплекс 1,14 ПДК. Самым значимым предприятием города, с точки зрения объема выбросов загрязняющих веществ, является Улан-Удэнская ТЭЦ-1.

3. Исследования процесса горения Тугнуйского, Тигнинского и Харанорского углей в котлах с топками ВЦКС и НТКС показали: достаточно высокую эффективность сгорания топлива, маневренность и устойчивость работы при разных нагрузках; уголь Тигнинского месторождения наиболее стабилен к горению, а уголь Тугнуйского месторождения в процессе горения при резком изменении нагрузки в наибольшей степени подвержен шлакованию; угли Харанорского месторождения из-за повышенной влажности имеют низкое значение КПД по сравнению с другими исследуемыми углями. Отмечается существенный рост потерь теплоты q_2 с уходящими газами, который также связан с повышенной влажностью бурого угля ($W_p = 40\%$).

4. Анализ эффективности применения технологии кипящего слоя показал не только возможность сжигать широкий спектр топлива и получать низкие выбросы оксидов азота

и серы, но и хорошую тенденцию развития. Постоянное усовершенствование повышает их надежность и экономичность, расширяет технические возможности по маневренности. Реконструкция угольных котельных малой мощности по технологии кипящего слоя может стать одним из кардинальных направлений повышения эффективности теплоснабжения с использованием тощих, низкокалорийных, высокозольных углей. Так, расчет эколого-экономической эффективности реконструкции котельных города Улан-Удэ на технологию низкотемпературного кипящего слоя показал максимальный эффект. Прогнозный расчет рассеивания выбросов загрязняющих веществ показал, что введение дополнительных энергоблоков на Улан-Удэнской ТЭЦ-2 с применением технологии ЦКС не усугубит техногенную нагрузку (по сравнению с пылеугольным котлом) на воздушный бассейн города Улан-Удэ. Концентрации загрязняющих веществ при строительстве котлов с технологией ЦКС будет ниже на 30-40%, чем при строительстве традиционного пылеугольного котла. Расчет эколого-экономической эффективности и ЧДД предлагаемых мероприятий показал, что применение технологии НТКС и ЦКС эффективно с экологической и экономической точки зрения. Расчет эколого-экономической эффективности переоснащения муниципальных котельных города на технологию кипящего слоя показал максимальный эффект. Величина чистого дисконтированного дохода составит 7093,975 млн. руб., срок окупаемости 14/18 лет.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи в изданиях перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Дамбиев Ц.Ц., Тыскинеева И.Е., Мадеева Е.В. Анализ загрязнения атмосферного воздуха г. Улан-Удэ объектами теплоэнергетики // Энергетик, 2016 № 3.
2. Дамбиев Ц.Ц., Иванов А.П., Жалсанова Н.А., Тыскинеева И.Е., Ганбаатар Ш. Применение биотоплива в малой теплоэнергетике // Энергетик, 2014 № 12.
3. Дамбиев Ц.Ц., Тыскинеева И.Е., Кушнарев С.Н. Особенности загрязнения атмосферного воздуха города Улан-Удэ // Вестник ВСГУТУ. Улан-Удэ. Изд-во ВСГУТУ, 2014 г. № 5.
4. Дамбиев Ц.Ц., Бербидаев Г.М., Тыскинеева И.Е., Хусаева Д.Д. Эколого-экономические аспекты энергетики в Бурятии: аналитический обзор// Фундаментальные исследования, 2014 № 9. Часть 1. – стр. 252-255.

Статьи и научные труды в других изданиях:

5. Хулакшанова (Тыскинеева) И.Е. Источники экологического риска г. Улан-Удэ // Мат-лы Международной научно-практической конференции в области экологии и безопасности жизнедеятельности. – Комсомольск-на-Амуре, 2006.
6. Хулакшанова (Тыскинеева) И.Е. Негативное влияние деятельности Улан-Удэнской ТЭЦ-1 на окружающую среду // Мат-лы Международной научной школы-конференции студентов и молодых ученых. – Абакан, 2006.
7. Хулакшанова (Тыскинеева) И.Е. К вопросу о загрязнении атмосферного воздуха промпредприятием ТЭЦ-1 г. Улан-Удэ // IV школы-семинара молодых ученых России посвященная 50-ю СО РАН. - Изд-во БНЦ СО РАН, 2007.
8. Хулакшанова (Тыскинеева) И.Е. Методы математического моделирования при прогнозе загрязнения атмосферного воздуха // Мат-лы межрегиональной научно-практической конференции посвященной 20-летию географического отделения биолого-географического фак-та БГУ. – Улан-Удэ, 2008.

9. Тыскинеева И.Е. Прогнозирование загрязнения атмосферного воздуха методом моделирования // Вестник ВСГТУ. Улан-Удэ. Изд-во ВСГТУ, 2009 г. № 2.

10. Dambiev Ts.Ts., Berbidaev G.M., Tyskineeva I.E. The influence of energy efficiency on energy development Buryatia //European Journal Of Natural History № 1. Materials of International Scientific Conference «Ecology and rational nature managment», Israel (Tel Aviv), April25 – May 2, 2014. – стр. 72-73.

11. Мадеева Е.В., Дамбиев Ц.Ц., Тыскинеева И.Е. Характеристика состояния атмосферного воздуха города Улан-Удэ // Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции, 2015 С.31-33.

12. Тыскинеева И.Е., Дамбиев Ц.Ц. Возможные пути снижения загрязнения атмосферного воздуха от воздействия теплоэнергетики // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Электроэнергетика Байкальского региона: Проблемы и перспективы», 2016.

Отпечатано в ИСЭМ СО РАН

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130

Заказ № 17, тираж 100 экз.

