

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Ивановский
государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук,
профессор
Гютиков Владимир Валентинович



«11» ноября 2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Мирсалихова Кирилла Маратовича

**«Влияние аэродинамических факторов и условий формирования дымового
факела на основные параметры дымовых труб ТЭС»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.4.5 – «Энергетические системы и комплексы»

На отзыв представлена диссертационная работа, изложенная на 188 страницах и включающая в себя введение, четыре главы, заключение, список литературы и четыре приложения. Работа содержит 55 рисунков и 27 таблиц, список использованных источников включает 109 наименований. В приложениях приведены блок-схема для определения основных параметров дымовых труб, основные программные решения для поиска минимальных диаметров оболочки дымовых труб с тремя и четырьмя стволами разного диаметра, акт об использовании результатов диссертационной работы на Казанской ТЭЦ-1.

Актуальность темы диссертации

В условиях постоянного роста потребностей в электроэнергии, повышение эффективности и надежности работы тепловых электростанций (ТЭС) становится приоритетной задачей государственной энергетической политики. В феврале 2019 года вступило в силу Постановление Правительства РФ №43, которое регулирует отбор и финансирование проектов модернизации объектов ТЭС, включая мероприятия по реконструкции и строительству дымовых труб. Этот нормативный акт заложил правовую основу для реализации капиталоемких проектов, направленных на обновление технического оборудования станций, с учетом современных экологических и экономических стандартов.

Одной из наиболее значимых проблем при строительстве и реконструкции

ТЭС является высокая стоимость строительства дымовых труб, сопоставимая со стоимостью строительства главного корпуса.

Тяжелые условия работы, связанные с одновременным действием значительных ветровых нагрузок, солнечной радиации, высоких температур в условиях агрессивности компонентов дымовых газов, напрямую влияют на надежность работы, эксплуатационные затраты и срок службы дымовых труб. Учет этих факторов требуют особого подхода при их проектировании.

Преждевременное разрушение или повреждение дымовых труб могут иметь катастрофические последствия для производственных процессов на электростанции, поскольку приведут к остановке больших мощностей на длительный срок. Это нанесет серьезный экономический ущерб, особенно в условиях жёсткой конкуренции на энергетическом рынке.

Несмотря на имеющийся богатый опыт проектирования и эксплуатации дымовых труб до сих пор не потеряли актуальности вопросы, связанные с разработкой и внедрением новых конструктивных решений с учетом оптимизации аэродинамических, прочностных и теплотехнических характеристик.

Актуальность настоящей работы связана с решением одной из ключевых задач по разработке эффективных конструкций дымовых труб, которая заключается в исследовании влияния основных параметров дымовой трубы (скорость дымовых газов, высота и количество газоотводящих стволов) на ее надежность, стоимость строительства и эксплуатации, а также срок службы.

Общая характеристика работы

Во введении изложена актуальность темы диссертации, представлены основные цели и задачи исследования. Определена научная новизна, а также теоретическое и практическое значение представленной работы. Выделены ключевые положения, выносимые на защиту. Освещены использованные методы исследования, продемонстрирована достоверность и обоснованность полученных результатов, а также представлены данные об апробации работы.

В первой главе представлен обзор существующих методик проектирования дымовых труб, применяемых как в России, так и за рубежом. Отмечено, что ни одна из рассмотренных методик выбора основных параметров трубы не основана на определении оптимальной скорости выхода уходящих газов из устья, исходя из минимума совокупных затрат на строительство и эксплуатацию дымовой трубы.

Выполнен анализ конструкций отечественных и зарубежных дымовых труб. Сделан вывод о том, что существенных различий в их конструктивном исполнении нет.

Отмечено, что наиболее предпочтительным вариантом конструкции является многоствольная дымовая труба с железобетонной оболочкой и проходным зазором между газоотводящими стволами.

Во второй главе изложена разработанная автором методика определения оптимальных параметров дымовых труб, основанная на анализе экономических и аэродинамических факторов. Автор предлагает подход, включающий определение оптимальной скорости газов и геометрических параметров трубы для

минимизации суммарных дисконтированных затрат. Методика позволяет учитывать технико-экономические показатели в условиях различных моделей развития экономики, что делает её применимой для одноствольных и многоствольных дымовых труб. Особое внимание уделено расчетам, которые связывают экономические и технические показатели дымовых труб, что позволяет найти оптимальные варианты конструкции и снизить эксплуатационные затраты.

В третьей главе разработана методика расчета минимального диаметра железобетонной оболочкой многоствольной дымовой трубы с тремя и четырьмя газоотводящими стволами различных диаметров. В результате расчетного исследования выявлено, что использование трехствольных дымовых труб может дать экономическое преимущество по сравнению с конструкциями, имеющими большее количество стволов, благодаря меньшим затратам на материалы и более простому конструктивному исполнению. Рассмотрены новые конструктивные схемы для трехствольных и четырехствольных труб со стволами разных диаметров. Выявлены их преимущества и недостатки. С использованием авторской методики проанализированы возможности дополнительного снижения совокупных затрат за счет изменения параметров дымовых газов в каждом стволе многоствольных дымовых труб.

Четвертая глава посвящена экспериментальному и численному моделированию формирования дымового факела вне дымовой трубы. Приведены результаты натурных экспериментов, проведенных с использованием аэрологического теодолита и фотосъемки для анализа траектории факела. Разработана имитационная модель формирования факела уходящих газов за дымовой трубой с использованием CFD-пакета ANSYS Fluent. Разработана методика и проведена верификация CFD-модели с помощью данных натурального эксперимента, что позволило повысить точность моделирования. Изучено влияние конструктивных параметров выходной части трубы на формирование начального участка дымового факела, а также сформулированы рекомендации по корректировке выходных параметров многоствольных труб для улучшения аэродинамических и экологических характеристик выбросов вредных веществ.

В заключении изложены основные результаты диссертационной работы и перспективы дальнейших исследований.

Значимость результатов для развития соответствующей отрасли науки, научная новизна исследования

Результаты диссертационной работы обладают высокой значимостью для развития энергетической отрасли в области проектирования энергоэффективных конструкций дымовых труб ТЭС. Разработанные в работе методики и подходы, учитывающие аэродинамические и экономические факторы могут быть использованы при планировании и обосновании инвестиций, направляемых на модернизацию и строительство дымовых труб. Предложенные методы и результаты могут быть внедрены в стандарты и нормативные документы, регулирующие проектирование дымовых труб. Это обеспечит более точный подход к расчёту и выбору конструкций труб, увеличит экологическую

безопасность и сократит затраты на выбросы и их контроль.

Научная новизна диссертационной работы состоит в комплексном подходе к оптимизации проектирования дымовых труб тепловых электростанций, который включает разработку методик, учитывающих как технико-экономические факторы, так и аэродинамические характеристики. В частности, предложена методика определения оптимальных скоростей уходящих газов в устье дымовой трубы, направленная на минимизацию дисконтированных затрат с учетом конструкционных и аэродинамических характеристик. Кроме того, в работе получено аналитическое решение задачи по определению минимально возможного внутреннего диаметра железобетонной оболочки многоствольной дымовой трубы со стволами разного диаметра. Разработана методика определения траектории дымового факела с помощью фотоснимка, позволяющая оценить его мгновенные характеристики. Для исследования начального участка дымового факела и влияния выходной части дымовых труб на его распространение разработана верифицированная CFD модель.

Степень достоверности и апробация результатов

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений диссертационной работы обеспечивается использованием современных научных методов и инструментов анализа, а также проверенными практическими подходами к исследованию.

Использование общепринятых методов исследования: в работе применены классические методы технико-экономического анализа, аэродинамического моделирования и численных расчетов, что обеспечивает корректность и обоснованность полученных результатов.

Верификация численной CFD модели распространения траектории дымового факела выполнена по результатам натурных экспериментов с использованием аэрологического шаропилотного теодолита и фотосъемки.

Аналитические решения и точность расчетов: найденные аналитические решения для определения оптимальных параметров дымовых труб, таких как минимально возможный диаметр железобетонной оболочки и скорость газов, согласуются с ранее опубликованными работами, что подтверждает их правильность.

Результаты диссертационной работы будут использованы при проработке вариантов проектных решений для вновь возводимых труб для действующей тепловой электростанции, что подтверждено актом полезного использования. Это свидетельствует о практической ценности предложенных решений.

Основные результаты диссертационной работы представлены в 4 публикациях в журналах из перечня ВАК РФ, в 2 публикациях международной системы цитирования Scopus и Web of Science. Всего 10 публикаций. Результаты научных исследований по теме диссертации были представлены на 4 международных и всероссийских конференциях.

Таким образом, достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций диссертации подтверждаются как теоретическими расчетами, так и экспериментальными данными, а также практическим применением результатов работы.

Соответствие диссертации паспорту специальности

По тематике и методам исследования диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.4.5 – «Энергетические системы и комплексы»:

п.2. Математическое моделирование, численные и натурные исследования физико-химических и рабочих процессов, протекающих в энергетических системах и установках на органическом и альтернативных топливах и возобновляемых видах энергии, их основном и вспомогательном оборудовании и общем технологическом цикле производства электрической и тепловой энергии;

п.3. Разработка, исследование, совершенствование действующих и освоение новых технологий и оборудования для производства электрической и тепловой энергии, использования органического и альтернативных топлив, и возобновляемых видов энергии, водоподготовки и водно-химических режимов, способов снижения негативного воздействия на окружающую среду, повышения надежности и ресурса элементов энергетических систем, комплексов и входящих в них энергетических установок;

п.4. Разработка научных подходов, методов, алгоритмов, технологий конструирования и проектирования, контроля и диагностики, оценки надежности основного и вспомогательного оборудования энергетических систем, станций и энергокомплексов и входящих в них энергетических установок;

п.7. Исследование влияния технических решений, принимаемых при создании и эксплуатации энергетических систем, комплексов и установок на их финансово-экономические и инвестиционные показатели, региональную экономику и экономику природопользования.

Конкретные рекомендации по использованию результатов диссертации и выводов

Результаты диссертации рекомендуется использовать для решения задач оптимизации конструкций дымовых труб при их строительстве и модернизации для тепловых электростанций и других промышленных объектов. Разработанные методики помогут снизить капитальные и эксплуатационные затраты за счет более точного расчета режимных и конструктивных параметров труб, таких как скорость газов и геометрия стволов, с учетом экономических факторов. Применение CFD-моделей распространения дымового факела позволит улучшить прогностическую модель распространения вредных выбросов в реальных условиях. Эти методики могут быть рекомендованы для включения в нормативные документы, регламентирующие проектирование и эксплуатацию газоотводящих трактов.

Замечания по диссертационной работе

1. В тексте диссертации приведены расчетные выражения для определения мощности, затрачиваемой на транспорт газов через дымовую трубу (формула (2.2.12)) и требуемого перепада давлений, который складывается из потерь на трение, на местные сопротивления, с выходной скоростью и самотяги дымовой трубы (формула (2.2.13)). Согласно приведенным выражениям увеличение самотяги дымовой трубы приведет к увеличению требуемого перепада давлений и увеличению мощности, затрачиваемой на привод тягодутьевой машины, что, на наш взгляд, является нелогичным. Увеличение разрежения на входе в дымовую трубу должно способствовать снижению мощности, затрачиваемой на привод дымососов. Просим пояснить.

2. Учитывает ли разработанный подход по оптимизации дымовых труб влияние выбранного способа организации тяги (под наддувом, с уравновешенной тягой) на оптимальную скорость уходящих газов на выходе из дымовой трубы? Каким образом это можно учесть?

3. В главе 4 автор делает вывод, что разработанная CDF модель позволяет учесть особенности формирования дымового факела и выбрать наиболее эффективный вариант выполнения выходной части дымовой трубы. Просим пояснить, по каким критериям предлагается определять эффективность рассматриваемого варианта? Только по траектории факела?

4. При исследовании влияния аэродинамических характеристик дымовой трубы на формирование дымового факела для РК Азино автором было установлено, что при одинаковых условиях ствольность и установка диффузора не оказывают существенного влияния на траекторию факела. Вывод следовало бы дополнить, при каких параметрах диффузора (угол раскрытия и высота) его установка не влияет на траекторию факела. Возможно, при иных параметрах диффузора вывод получился бы диаметрально противоположным.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Заключение по диссертационной работе

Представленная диссертационная работа выполнена на высоком уровне и представляет собой завершенное научно-квалификационное исследование, посвященное актуальной теме оптимизации параметров дымовых труб тепловых электростанций. Работа направлена на решение актуальной задачи снижения капитальных и эксплуатационных затрат при строительстве и эксплуатации дымовых труб. В диссертации использованы современные методы научного анализа, включая технико-экономические расчеты и аэродинамическое моделирование, что обеспечивает высокую научную и практическую ценность представленных результатов.

Результаты, выносимые на защиту, прошли апробацию на научно-технических конференциях и были опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Автореферат диссертации полностью соответствует ее содержанию и точно отражает основные научные положения и выводы.

Диссертационная работа Мирсалихова Кирилла Маратовича на тему «Влияние аэродинамических факторов и условий формирования дымового факела на основные параметры дымовых труб ТЭС» соответствует требованиям ВАК Минобрнауки РФ, установленным в пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства № 842 от 24.09.2013 г. в актуальной редакции), и ее автор Мирсалихов К.М. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы.

Диссертация и отзыв были рассмотрены на заседании кафедры «Тепловых электрических станций» № 4 от 8 ноября 2024 г.

Отзыв подготовлен 9 ноября 2024 г.

Заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО «ИГЭУ»
кандидат технических наук, доцент



Горшенин С.Д.

Сведения о лице, утвердившем отзыв:

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Ивановский
государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина»
доктор технических наук, профессор
Тютиков Владимир Валентинович

Сведения заверяю
Ученый секретарь Ученого совета
ФГБОУ ВО «ИГЭУ»
кандидат экономических наук, доцент



Вылгина Ю.В.

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»
Почтовый адрес: 153003, Центральный федеральный округ, Ивановская область,
город Иваново, улица Рабфаковская, дом 34
Телефон: +7 (4932) 269-999; +7 (4932) 269-696
E-mail: office@ispu.ru