



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по НИК ФГБОУ ВО «КГЭУ»

И.В. Ившин

«19»

2024

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «КГЭУ»

Диссертационная работа «Влияние аэродинамических факторов и условий формирования дымового факела на основные параметры дымовых труб ТЭС» выполнена на кафедре «Атомные и тепловые электрические станции» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет».

В период подготовки диссертации соискатель Мирсалихов Кирилл Маратович являлся аспирантом на кафедре «Атомные и тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» с 2020 года по настоящее время.

В 2018 году Мирсалихов К.М. закончил бакалавриат по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», диплом с отличием №ИТЕ-5606 от 9 июля 2018 ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

В 2020 году Мирсалихову К.М. присуждена степень магистра по направлению подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», диплом с отличием №ИТЕ-6723 от 10.07.2020.

Научный руководитель – Чичирова Наталия Дмитриевна, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Атомные и тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

Диссертационная работа Мирсалихова Кирилла Маратовича «Влияние аэродинамических факторов и условий формирования дымового факела на

основные параметры дымовых труб ТЭС» обсуждалась на расширенном заседании кафедры» «Атомные и тепловые электрические станции» и «Химия и водородная энергетика» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет». По итогам обсуждения на заседании принято заключение:

Актуальность темы диссертационной работы

В феврале 2019 г. вступило в силу Постановление Правительства РФ от 25.01.19 №43 «О проведении отборов проектов модернизации генерирующих объектов тепловых электростанций», которое утвердило правила определения предельных капитальных затрат на реализацию проектов модернизации тепловых электростанций, индексации этих затрат и отбора проектов модернизации. В число мероприятий, которые могут быть предусмотрены проектом модернизации ТЭС, входит в том числе замена (строительство) дымовых труб на электростанциях.

Дымовые трубы являются самым дорогостоящим элементом вспомогательного оборудования на ТЭС. Для станций, работающих на твердом топливе, средняя стоимость строительства дымовой трубы составляет более 70% средней стоимости комплексной замены основных элементов энергетического котла, а максимальная стоимость может превышать 500 млн. руб.

К проектированию и строительству дымовых труб должны предъявляться повышенные требования, так как ошибки и неточности могут привести к серьезному финансовому и экологическому ущербу, поэтому важно правильно определить основные параметры дымовых труб. В современных российских и зарубежных методиках и нормативных документах, касающиеся строительства и проектирования дымовых труб учитываются не все необходимые характеристики и параметры, например, отсутствует технико-экономический расчет скорости выхода дымовых газов. Поэтому появилась необходимость модернизации существующих методик определения основных параметров дымовых труб с учетом последних достижений технико-экономических разработок, а также разработки и применения новых, наиболее надежных и экономичных конструкций дымовых труб с более строгим обоснованием выполнения их выходной части.

Научная новизна исследований

1. Найдено аналитическое решение для определения минимально возможного внутреннего диаметра наружной железобетонной оболочки для трехствольной и четырехствольной дымовых труб со стволами произвольного диаметра при заданных зазорах между стволами и между стволами и оболочкой.
2. Разработана методика определения скорости газов в газоотводящих стволах дымовых труб ТЭС, позволяющая связать экономические условия и

технические решения, отличающаяся учетом конструкционных и гидродинамических особенностей.

3. Установлена взаимосвязь между индивидуальными условиями течения газов в стволах многоствольных дымовых труб и их размерами.

4. Разработана методика определения траектории дымового факела с использованием фотоснимка, позволяющая оценить параметры дымового факела в статичном состоянии.

5. Разработана методика исследования с помощью верифицированной CFD модели гидродинамических характеристик дымового факела, позволяющая оценить влияние параметров выходной части многоствольной дымовой трубы на формирование начального участка дымового факела.

Практическая значимость полученных результатов

1. Разработана новая методика расчета основных параметров дымовых труб с несущей железобетонной оболочкой различных применяемых конструкций с учетом технико-экономических показателей.

2. Показано, что уменьшение суммарного периметра стволов, при сохранении суммарного расхода дымовых газов, позволяет трехствольным дымовым трубам иметь технико-экономическое преимущество перед дымовыми трубами с большим количеством стволов.

3. Разработанная методика выбора диаметров стволов в зависимости от расходов и температур газов в этих стволах позволяет сократить затраты на тягодутьевые машины и как следствие иметь за счет этого более низкие суммарные дисконтированные затраты по сравнению с традиционными вариантами.

4. Разработаны рекомендации по исследованию аэродинамики дымового факела в атмосфере. Результаты исследования влияют на выполнение выходной части многоствольных дымовых труб. Даны также рекомендации по конструкции диффузоров, или, при необходимости, конфузоров с целью выравнивания скоростей газов по стволам на выходе из трубы.

Реализация результатов работы

Получен акт об использовании результатов диссертационной работы в филиале АО «Татэнерго» Казанская ТЭЦ-1 для объектов модернизации, реконструкции и строительства вновь возводимых дымовых труб.

Соответствие диссертации паспорту специальности

Диссертация является научно-квалификационной работой, соответствует паспорту специальности научных работников 2.4.5 – «Энергетические системы и комплексы»

По тематике и методам исследования диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.4.5 – «Энергетические системы и комплексы» в части пункта 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, пункта 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. 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. 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

Достоверность и обоснованность полученных результатов

Достоверность и обоснованность полученных результатов в рамках настоящей диссертации подтверждаются использованием общепринятых методов исследований, признанных научным сообществом. Эти методы обеспечивают надежность и воспроизводимость результатов, что является основой для их научной значимости. Также в исследовании используются современные прикладные программные продукты, которые позволяют проводить сложные вычисления с высокой точностью и эффективно обрабатывать большие объемы данных. Результаты расчетных исследований удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными, что *подтверждает их корректность и обоснованность. Это согласование является* важным показателем, так как демонстрирует, что теоретические модели и вычисления соответствуют реальным физическим процессам и наблюдениям. Также проведена оценка погрешностей измерений, которая позволяет учитывать возможные отклонения в данных, что способствует более точной интерпретации результатов и их применимости.

Личный вклад автора

Автором проведен анализ имеющейся литературы по вопросам исследования, принято участие в разработке универсальной методики по определению оптимальной скорости в устье дымовой трубы. Автор лично принимал участие во всех натурных экспериментах по определению траектории дымового факела с последующей обработкой результатов. Автор принял участие в нахождении аналитического решения для определения минимально возможного внутреннего диаметра наружной железобетонной оболочки для трехствольной и четырехствольной дымовых труб со стволами произвольного диаметра при заданных зазорах между стволами и между стволами и оболочкой и решил эту задачу геометрически с помощью системы автоматизированного проектирования двумерных и трехмерных ассоциативных моделей. Автором разработана расчетная CFD модель начального участка дымового факела одноствольных и многоствольной дымовых труб, с различными вариантами выходной части.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени

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.

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России и приравненных к ним по специальности 2.4.5

1. Мирсалихов К.М., Грибков А.М., Чичирова Н.Д. Аналитический обзор методик выбора оптимальных параметров дымовых труб. // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021;23(1):131-145. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-1-131-145> (вклад соискателя 60%)
2. Грибков А.М., Мирсалихов К.М., Чичирова Н.Д. Выбор конфигурации поперечного сечения многоствольной дымовой трубы с четырьмя стволами различного диаметра. // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2023;25(1):3-13. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2023-25-1-3-13> (вклад соискателя 50%)
3. Грибков А.М., Чичирова Н.Д., Мирсалихов К.М. Определение траектории дымового факела с использованием спутниковых снимков // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2024. Т.26. № 3. С. 132-145. doi:10.30724/1998-9903-2024-26-3-132-145. (вклад соискателя 40%)

**Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК
Минобрнауки России и приравненных к ним по другим научным
специальностям**

4. Грибков А.М., Мирсалихов К.М., Чичирова Н.Д. Расчет скорости газов в стволах четырехствольной дымовой трубы // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии. 2022. № 15(8). С. 900–914. DOI: 10.17516/1999-494X-0436 (вклад соискателя 40%)

**Научные статьи, опубликованные в международных базах цитирования
Scopus и (или) Web of Science**

5. Zroichikov, N.A., Gribkov, A.M., Saparov, M.I., Mirsalikhov, K.M. Analysis of the Benefits of TPP's Three-Barrel Smokestacks // Therm. Eng. 2020. Vol. 67. P. 610–616. <https://doi.org/10.1134/S0040601520090116> (вклад соискателя 40%)

6. Zroichikov, N.A., Gribkov, A.M., Saparov, M.I., Mirsalikhov, K.M. A General-Purpose Procedure for the Calculation of the Optimum Gas Velocity in Gas Exhaust Ducts of Stacks at Thermal Power Stations // Therm. Eng. 2020. Vol. 67. P. 157–164. <https://doi.org/10.1134/S0040601520030064> (вклад соискателя 40%)

Публикации в других рецензируемых научных изданиях

7. Мирсалихов, К.М., Федоренков, Д.И., Грибков, А.М. Влияние экологических и экономических факторов на выбор оптимальных размеров четырехствольных дымовых труб // Электроэнергетика глазами молодежи - 2018: Материалы IX Международной молодежной научно-технической конференции. В 3-х томах, Казань, 01–05 октября 2018 года / Ответственный редактор Э.В. Шамсутдинов. Том 3. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2018. – С. 115-118. – EDN JTONIV.

8. Мирсалихов, К.М. Определение оптимальной скорости дымовых газов в одноствольных дымовых трубах ТЭС // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов, Москва, 12–13 марта 2020 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Центр полиграфических услуг "РАДУГА", 2020. – С. 872. – EDN LWKRYG.

9. Мирсалихов, К.М. Определение оптимальных параметров выхлопных труб ГТУ и способы их модернизации // Энергия-2021: Шестнадцатая всероссийская (восьмая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. В 6 т., Иваново, 06–08 апреля 2021 года. Том 1. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2021. – С. 10. – EDN SQPQJH.

10. Мирсалихов, К.М. Натурные эксперименты по определению траектории распространения дымового факела многоствольной дымовой трубы // Энергия-2022. Теплоэнергетика: Семнадцатая всероссийская (девятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и

молодых ученых. В 6 т., Иваново, 11–13 мая 2022 года. Том 1. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2022. – С. 10. – EDN YZJWSP.

Ценность научных работ соискателя

1. Разработана универсальная методика определения основных параметров дымовой трубы.
2. Найдено аналитическое решение для определения минимально возможного внутреннего диаметра наружной железобетонной оболочки для трехствольной и четырехствольной дымовых труб для стволов произвольного диаметра при заданных зазорах между стволами и между стволами и оболочкой.
3. Показано, что при различных расходах и температурах газов в стволах многоствольных дымовых труб, скорости газов в них следует принимать тоже разными.
4. Разработаны методики, верифицированные результатами натурных экспериментов, по определению траектории дымовых газов с использованием фотоснимков и CFD моделирования.

Рекомендации и выводы

Диссертационная работа Мирсалихова Кирилла Маратовича «Влияние аэродинамических факторов и условий формирования дымового факела на основные параметры дымовых труб ТЭС» обладает высокой степенью актуальности. Основные научные положения и выводы тщательно аргументированы, что подтверждается эмпирическими данными и теоретическими обоснованиями. Изложение материала выполнено с высокой степенью точности и научной обоснованности.

Результаты научных и практических исследований, выполненных в рамках диссертационной работы, представлены в журналах, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки России, а также в индексируемых в международных базах данных, таких как Scopus и Web of Science. Кроме того, основные выводы и результаты исследования были представлены в ряде российских и международных научно-технических конференций.

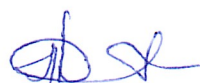
Диссертационная работа Мирсалихова К.М. является завершенной научно-квалификационной работой и соответствует паспорту специальности 2.4.5 – «Энергетические системы и комплексы» по пп. 2,3,4,7 областей исследования.

Результаты, представленные в диссертационной работе Мирсалихова К.М., основываются на высококачественных исследованиях, выполненных с применением современных методов анализа, включая современные программные комплексы и численное моделирование. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, обладают высокой степенью теоретической обоснованности и не вызывают сомнений в их достоверности. Представленные результаты отличаются оригинальностью,

достоверностью и демонстрируют значительную научную новизну, а также практическую значимость. Работа Мирсалихова К.М. не только расширяет теоретические знания в исследуемой области, но и обладает значительным прикладным потенциалом, предлагая новые решения для совершенствования технологий проектирования дымовых труб ТЭС. Таким образом, данная диссертация вносит весомый вклад в развитие научной и инженерной мысли и может служить основой для дальнейших исследований и практических разработок.

С учетом соответствия требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки России, установленным в пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. в редакции от 18.03.2023 г.) к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук, диссертация на тему: «Влияние аэродинамических факторов и условий формирования дымового факела на основные параметры дымовых труб ТЭС» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 - «Энергетические системы и комплексы». Заключение принято на расширенном заседании кафедр «Атомные и тепловые электрические станции» и «Химия и водородная энергетика» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», которое состоялось 18 июня 2024 г., протокол №20-23/24. На заседании присутствовали 22 человека, из них докторов наук 4. Результаты голосования: «за» 22 - человек, «против» - нет, «воздержались» - нет.

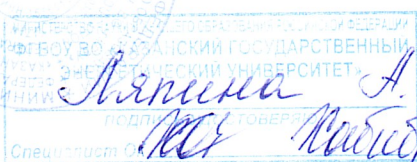
Председатель заседания:
Ляпин Александр Игоревич
к.т.н., доцент кафедры
«Атомные и тепловые
электрические станции»



Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»
420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, 51
Тел. (843)519-42-52, e-mail: kgeu.tes@mail.ru

Сведения о лице, утвердившем заключение

Ившин Игорь Владимирович: доктор технических наук, профессор,
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Казанский государственный
энергетический университет», проректор по науке и коммерциализации,
420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, 51.
Тел. (843)519-43-72, e-mail: ivshin.iv@kgeu.ru



Ляпин А.И.
Мирсалихова О.А.

