

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.310.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 03 декабря 2024 г., № 26

О присуждении Мирсалихову Кириллу Маратовичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Влияние аэродинамических факторов и условий формирования дымового факела на основные параметры дымовых труб ТЭС» по специальности 2.4.5 – «Энергетические системы и комплексы» принята к защите 17 сентября 2024 г. (протокол заседания № 22) диссертационным советом 24.2.310.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51, приказ № 1181/нк от 12.10.2022 г.

Соискатель Мирсалихов Кирилл Маратович, 22 октября 1996 года рождения,

в 2020 году с отличием окончил магистратуру ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» по направлению подготовки 13.04.01 – «Теплоэнергетика и теплотехника» (диплом магистра с отличием №1016350000145),

в 2024 году окончил очную аспирантуру при ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» по направлению подготовки

13.06.01 – «Электро- и теплотехника».

Работает в должности инженера ПТО 2 категории в филиале АО «Татэнерго» Казанская ТЭЦ-1, в должности ассистента кафедры «Химия и водородная энергетика» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Атомные и тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

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

Официальные оппоненты:

1. **Кудинов Анатолий Александрович**, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», кафедра «Тепловые электрические станции», профессор;

2. **Прохоров Вадим Борисович**, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», кафедра «Тепловые электрические станции», профессор

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина**», г. Иваново, в своём положительном заключении, подписанном доктором технических наук, профессором, проректором по научной работе Тютиковым Владимиром Валентиновичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой «Тепловые электрические станции» Горшениным Сергеем Дмитриевичем, **указала**, что представленная диссертационная работа

выполнена на высоком уровне и представляет собой завершённое научно-квалификационное исследование, посвящённое 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 расчёты 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 её 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 её автор Мирсалихов К.М. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ по теме диссертации общим объёмом 7,56 печатных листа и авторским вкладом 3,67 печатных листа; работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus – 2, объёмом 1,84 печатных листа и авторским вкладом 0,61 печатных листа; в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК по специальности диссертации – 3, объёмом 3,49 печатных листа и авторским вкладом 1,76 печатных листа; в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК по другим специальностям – 1, объёмом 1,58 печатных листа и авторским вкладом 0,79 печатных листа; работ, опубликованных в материалах и тезисах международных научных конференций

– 4, общим объёмом 0,65 печатных листа и авторским вкладом 0,51 печатных листа.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

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. – Т. 23. – №1. – С. 131-145. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-1-131-145>

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. – Т. 25. – №1. – С. 3-13. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2023-25-1-3-13>

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. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2024-26-3-132-145>

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

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>

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>

На диссертацию и автореферат поступило 12 отзывов. Из них

положительных – 12. С замечаниями – 11.

Отзывы прислали:

1. Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автоматизированных систем управления тепловыми процессами» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», (г. Москва) **Аракелян Эдик Койрунович**.

Замечания:

1) При проведении расчетных и экспериментальных исследований, не указаны с какой погрешностью они проведены и насколько адекватны полученные результаты. Приведенные данные по погрешности в заключении в тексте автореферата не нашли подтверждения.

2) Отсутствие в автореферате пояснений к некоторым рисункам с большим числом графиков (рис. 3,4,11) затрудняет восприятие материала и заключения по работе.

2. Доктор технических наук, профессор кафедры «Тепловая и атомная энергетика» имени Андрющенко А.И. ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» **Байрамов Артем Николаевич**

Замечания:

1) В разделе «Степень разработанности темы» не указаны недостатки предыдущих исследований по теме диссертации.

2) В разделе «Практическая значимости» первые три абзаца больше относятся к научной новизне. Целесообразно было бы упомянуть, в чем конкретно будет заключаться модернизация дымовых труб ТЭС?

3) Из научной новизны не очень ясно, какой новый: эффект достигается в результате определения траектории (параметров) дымового факела.

4) Из автореферата не ясно (не обозначено) с какой целью определяется траектория дымового факела и как это повлияло на эффективность 3-х, 4-х ствольной дымовой трубы?

5) В автореферате не показано, на сколько снижаются тягодутьевые затраты и возможный экономический эффект.

3. Кандидат технических наук, заместитель главного инженера (по эксплуатации) филиала АО «Татэнерго» Казанская ТЭЦ-1 (г. Казань) **Безруков Роман Евгеньевич**.

Замечание:

1) В работе рассмотрены конструктивные параметры дымовых труб и их влияние на траекторию факела, однако не уделено достаточно внимания влиянию эксплуатационных условий, таких как возможные колебания объемов выбросов и их температуры в процессе эксплуатации энергетических котлов.

4. Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Электроэнергетики и электротехники Физико-технического института ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. Вернадского» (г. Симферополь) **Бекиров Эскендер Алимович**.

Замечания:

1) Из текста автореферата не ясно, что в работе подразумевается под аэродинамическими факторами. Не ясно, рассматривалось ли взаимодействие между телом (дымовой трубой) и обтекающим его воздухом, что является одной из основных задач аэродинамики.

2) Из текста автореферата не ясно, как были построены зависимости, представленные на рисунке 1. В приведенных выражениях отсутствует параметр скорости выхода газов из устья, значения которой отложены по оси абсцисс на указанном выше рисунке.

3) Из текста автореферата не ясно, почему в расчетах, результаты которых приведены на рисунке 3, были взяты данные по состоянию на 2018 и 2023 гг. Не приведено обоснование выбора вышеуказанных данных.

4) Из текста автореферата не ясно, почему в третьей главе при расчетах трехствольной дымовой трубы с тремя стволами разного диаметра, минимальное расстояние между стволами было принято 1,2 м, а минимальное расстояние между стволами и оболочкой 1,0 м.

5. Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Тепловых электрических станций» ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» (г. Новосибирск) **Боруш Олеся Владимировна**.

Замечание:

1) Из текста автореферата неясно, проводились ли автором оценки по измерению величины затрат энергии на собственные нужды тягодутьевого оборудования при изменении скорости дымовых газов?

6. Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Дизайн» ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (г. Новочеркасск) **Веселовская Елена Вадимовна**.

Замечание:

1) В автореферате не указано как именно учитываются экологические факторы, в частности, приземные фоновые концентрации основных загрязняющих примесей, при выборе оптимальных размеров дымовых труб.

7. Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика и холодильные машины» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (г. Астрахань) **Ильин Роман Альбертович**, *замечания отсутствуют*.

8. Кандидат технических наук, доцент, директор Высшей школы атомной и тепловой энергетики **Калютик Александр Антонович**, кандидат технических наук, доцент, доцент Высшей школы атомной и тепловой энергетики **Тринченко Алексей Александрович** ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (г. Санкт Петербург).

Замечания:

1) Следует указать, о каких допустимых концентрациях, создаваемых дымовой трубой, идет речь на странице 8 (формула 3) автореферата.

2) Принимая во внимание большой объем выполненных математических вычислений, желательно указать использованные для этого численные методы.

9. Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Тепловые

электрические станции» Белорусского национального технического университета (Республика Беларусь, г. Минск) **Карницкий Николай Борисович.**

Замечания:

1) На с.8 приведена формула (3) для определения высоты дымовой трубы. Ранее в этой формуле присутствовал поправочный коэффициент p_n для расчета многоствольных труб, зависящий от числа стволов в трубе n отношения расстояния между ближайшими стволами на выходе t к диаметру ствола d_0 (на выходе) и от угла наклона выходного участка ствола к вертикальной оси α . В приведенной формуле этот коэффициент отсутствует. Требуется пояснения.

2) Возможно ли применение полученных автором методик и рекомендаций применительно к двухствольным трубам (В работе речь идет только о трехствольных и четырехствольных трубах), а в пределе к одноствольной трубе? Какие при этом будут корректировки?

10. Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техносферной и экологической безопасности» ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (г. Красноярск) **Кулагина Татьяна Анатольевна.**

Замечания:

1) К сожалению, из рассмотренных источников выпала работа Р. Скоррера «Аэрогидродинамика окружающей среды». Изд-во Мир, 1980. 550 с., в которой подробно рассмотрены вопросы формирования факела из дымовых труб, приведены различные факторы, влияющие на этот процесс, что несомненно повлияло бы на более глубокий анализ предмета диссертации.

2) Имеются неточности в расшифровке используемых формул, так в выражении (3) на стр. 8 $C_{тр}$ имеет не понятный статус, ведь дымовая труба не создает концентрацию, а транспортирует вещества с определенной концентрацией от источников их образования. Т.е. этот показатель, наверное, максимальная приземная концентрация какого-то компонента выброса в зоне влияния предприятия.

3) Положения, выносимые на защиту, сформулированы неудачно и не

отвечают по сути своему назначению.

11. Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Химия и экология» Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (г. Набережные Челны) **Маврин Геннадий Витальевич.**

Замечание:

1) Следовало бы указать, для каких условий предложенные конструктивные решения могут быть менее эффективны или требуют адаптации, а также возможные ограничения методики при использовании на разных типах ТЭС.

12. Доктор технических наук, заведующий отделением парогенераторов и топочных устройств АО «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени теплотехнический научно-исследовательский институт» (г. Москва) **Тугов Андрей Николаевич.**

Замечания:

1) В работе концентрация $C_{тр}$, создаваемая дымовой трубой, принималась постоянной. Данная концентрация зависит не только от высоты трубы и условий рассеивания загрязняющих веществ, но и от их концентрации в дымовых газах (массового выброса). Имеется ли возможность варьирования данного параметра в разработанной методике?

2) *CFD*-моделирование является мощным инструментом анализа, но в работе недостаточно ясно показано, как его результаты могут быть адаптированы для массового проектирования. Больше внимания можно было бы уделить упрощению результатов моделирования для их более широкого практического применения в инженерных решениях.

3) Какие конкретно результаты работы были использованы на Казанской ТЭЦ-1?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследований и их

квалификацией, позволяющей определять научную и практическую ценность диссертации.

Официальный оппонент Кудинов Анатолий Александрович является доктором технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и молекулярная физика», является специалистом по анализу и совершенствованию тепловых схем и тепломеханического оборудования ТЭС и систем теплоснабжения. Занимается фундаментальными исследованиями в области тепло- и массообмена в энергетических установках.

Официальный оппонент Прохоров Вадим Борисович является кандидатом технических наук по специальности 05.14.01 - «Общая Энергетика», занимается исследованием процессов сжигания топлива, численного моделирования топочных устройств, снижением выбросов загрязняющих веществ и повышением энергоэффективности теплоэнергетических систем, в том числе занимается вопросами утилизации тепла дымовых газов.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», г. Иваново, занимается научной деятельностью по приоритетным направлениям развития науки, техники, выполнением фундаментальных и прикладных научно-инновационных исследований в области теплоэнергетики. К основным научным направлениям деятельности сотрудников кафедры «Тепловых электрических станций» относятся: оптимизация структуры и режимов работы газоотводящих трактов ТЭС и их элементов, математическое моделирование и повышение эффективности технологических процессов теплообмена, моделирование и анализ энергетических характеристик энергетического оборудования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика, предназначенная для определения основных параметров дымовых труб ТЭС, основанная на выборе оптимальной скорости газов при условии минимальных суммарных дисконтированных затрат на

строительство и эксплуатацию дымовой трубы;

разработано 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;

разработана *CFD*-модель начального участка траектории дымового факела, верифицированная натурными данными, позволяющая оценивать влияние параметров выходной части дымовой трубы на формирование дымового факела;

предложены рекомендации по исследованию аэродинамики дымового факела в атмосфере. Результаты исследования влияют на выполнение выходной части многоствольных дымовых труб.

доказано для многоствольных дымовых труб со стволами разного диаметра, минимальный диаметр оболочки может быть получен только в том случае, если «большие» стволы расположены «друг против друга», то есть минимальный диаметр оболочки зависит и от порядка расположения стволов;

доказано снижение суммарных дисконтированных затрат за счет учета особенностей работы каждого ствола в многоствольных дымовых трубах. Если в стволах дымовые газы имеют различную температуру, или через них проходят различные объемные расходы, то и скорости в них должны быть различными;

доказано существенное преимущество применения трехствольной дымовой трубы вместо четырехствольной, позволяющее снизить затраты на строительство и эксплуатацию, за счет меньшего суммарного периметра при сравнимых условиях.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана эффективность разработанных методик и положений, вносящих вклад в расширение представлений об аэродинамических и технико-экономических аспектах, влияющих на проектирование дымовых труб тепловых электростанций, расширяющих границы применимости полученных результатов для одно- и многоствольных конструкций дымовых труб, создающих

теоретическую базу для разработки более эффективных и экологически безопасных решений;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих базовых методов исследования, включая *CFD*-моделирование с помощью программной системы анализа методом конечных элементов (*Ansys Fluent*), также применялись системы автоматизированного проектирования двухмерных и трехмерных ассоциативных моделей (*Компас-3D, AutoCAD Inventor*) и системы компьютерной алгебры (*Mathcad, Maxima, Maple*). Кроме того, применялись общенаучные методы исследования в рамках сравнительного, логического, экспериментального, статистического и технико-экономического анализа;

изложены согласно разработанных методик и положений этапы проектирования дымовой трубы: выбор конструкции и технико-экономический расчет, моделирование и верификация, оптимизация и финальный выбор параметров;

изучены связь аэродинамических характеристик дымовых труб с их конструктивными и экономическими параметрами, процесс формирования дымового факела в зависимости от условий выброса дымовых газов, взаимосвязь между конструктивными решениями и соблюдением экологических норм, а также факторы, влияющие на оптимальную скорость газов, включая температуру, объемные расходы газов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены (имеется акт об использовании результатов) рекомендации и методики для оптимизации существующих дымовых труб, а также для проектирования объектов модернизации, реконструкции и строительства новых дымовых труб в филиале АО «Татэнерго» Казанская ТЭЦ- 1;

определены пределы и перспективы практического использования разработанных методик и рекомендаций, включая их применение для

оптимизации существующих дымовых труб, проектирования объектов модернизации и строительства новых дымовых труб на ТЭС;

созданы рекомендации включающие методики оптимизации параметров дымовых труб для их модернизации, реконструкции и проектирования, улучшающие аэродинамические характеристики и снижающие экономические затраты при эксплуатации.

представлена экспериментальная методика исследования траектории дымового факела, основанная на использовании спутниковых фотоснимков, позволяющая определять траекторию и параметры дымового факела в статичных условиях с использованием цифровой обработки изображений.

Оценка достоверности результатов исследований выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании, включая аэрологический шаропилотный теодолит, использовавшийся для определения параметров траектории дымового факела, а также специализированные программные комплексы для цифровой обработки фотоснимков, показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях;

теория построена на базовых принципах гидродинамики, термодинамики и аэродинамики, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации. Теоретические положения применимы как к стандартным случаям, так и к предельным условиям эксплуатации дымовых труб, что расширяет границы их практического использования;

идея базируется на анализе практики проектирования и эксплуатации дымовых труб ТЭС, обобщении передового отечественного и зарубежного опыта;

использовано сравнение авторских данных, полученных в результате численного моделирования и экспериментальных исследований, с данными, ранее опубликованными по рассматриваемой тематике;

установлена согласованность авторских данных с опубликованными результатами, представленными в нормативных документах и исследованиях, в

части определения оптимальных скоростей газов, высоты и диаметра стволов, а также траектории дымового факела.

Личный вклад соискателя состоит в проведении анализа литературы по теме исследования и разработке методики определения оптимальной скорости газов на выходе из устья дымовой трубы. Автор лично принимал участие во всех натуральных экспериментах, а также выполнял последующую обработку полученных данных. Им было найдено аналитическое решение для расчета минимально возможного внутреннего диаметра наружной железобетонной оболочки трехствольных и четырехствольных дымовых труб с произвольными диаметрами стволов при заданных зазорах между стволами и между стволами и оболочкой. Автор разработал *CFD*-модель начального участка дымового факела для одноствольных и многоствольных дымовых труб с различными конфигурациями выходной части.

Диссертационный совет рекомендует использовать разработанные методики и результаты для внедрения в учебные курсы и научные исследования в области энергетики, инженерии и экологии. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в проектной деятельности АО «Теплопроект», ООО «ПСФ Энерго», ООО «ПСК «БелЭнергоСтрой», АО «Яринжком», ООО «ЭнИнТех» и других организациях, занимающихся проектированием и строительством дымовых труб, а также в генерирующих компаниях Российской Федерации.

На заседании 3 декабря 2024 года, протокол № 26, диссертационный совет, за решение научной задачи, имеющей важное значение для развития энергетики, разработку новых научно обоснованных методик и технических решений повышения энергоэффективности и снижения затрат на эксплуатацию ТЭС путем оптимизации проектирования дымовых труб принял решение присудить Мирсалихову К.М. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 16 человек, входящих в состав

совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 13, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя

диссертационного совета

 Ившин Игорь Владимирович

Ученый секретарь

диссертационного совета

 Зиганшин Шамиль Гаязович

3 декабря 2024 г.