

**ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА  
ХОХЛОВА ДМИТРИЯ АЛЕКСАНДРОВИЧА,  
кандидата технических наук, доцента,  
на диссертацию Рыжего Ивана Алексеевича  
«Обоснование рекомендаций по управлению топочным процессом  
с использованием вихревых поворотных горелок на пылеугольных  
энергетических котлах», представленную на соискание учёной степени  
кандидата технических наук по научной специальности  
2.4.5. Энергетические системы и комплексы  
(технические науки)**

**Актуальность темы диссертации.** Угольная генерация сохраняет значимое место в структуре отечественной энергетики, особенно в регионах, где уголь является основным или одним из основных видов топлива для тепловых электрических станций. При этом значительная часть действующего котельного оборудования эксплуатируется длительное время и требует технического перевооружения, направленного на повышение надёжности, экономичности, экологических показателей и гибкости регулирования режимов работы.

Одной из характерных эксплуатационных проблем пылеугольных энергетических котлов является изменение свойств поставляемого топлива. Колебания влажности, зольности и теплоты сгорания угля приводят к изменению температуры газов на выходе из топки, затрудняют поддержание номинальной температуры перегретого пара, повышают риск шлакования поверхностей нагрева и могут ухудшать технико-экономические показатели работы котла.

Диссертационная работа Рыжего И.А. посвящена обоснованию рекомендаций по управлению топочным процессом с использованием вихревых поворотных горелок, позволяющих регулировать положение факела по высоте топочной камеры. Рассматриваемая задача имеет практическое значение для модернизации действующих пылеугольных котлов и представляет научно-технический интерес в части расчётного, конструкторского и экспериментального обоснования нового способа воздействия на топочный режим. В связи с этим тема диссертации является актуальной.

**Научная новизна работы состоит в следующем:**

1. Предложены рекомендации по уточнению расчёта параметра относительного расположения максимума температур по высоте топки при повороте горелок.

2. Получены расчётные данные о влиянии угла вертикального поворота горелок на температуру газов на выходе из топки котла БКЗ-210-140 при изменении характеристик сжигаемого угля; на этой основе обоснован рациональный рабочий диапазон вертикального поворота горелок.

3. Получена эмпирическая зависимость изменения температуры перегретого пара от угла поворота пилотного образца горелки, установленного на действующем котле БКЗ-210-140 Томской ГРЭС-2.

4. Предложены принципы и алгоритм корректировки топочного режима при использовании системы сжигания с поворотными горелками.

**Теоретическая значимость** диссертации заключается в развитии представлений о влиянии положения факела по высоте топки на температурный режим пылеугольного котла. Полученные расчётные и модельные результаты могут быть использованы при дальнейшей проработке методики определения параметра относительного расположения максимума температур по высоте топки для котлов с регулируемым положением факела.

Предложенный подход также представляет интерес для дальнейшего исследования влияния поворотных горелок на режимы работы котлов при изменении свойств топлива, в переходных режимах и при необходимости расширения допустимого диапазона нагрузок пылегазовых котельных установок.

**Практическая значимость** диссертации состоит в том, что разработанная вихревая поворотная пылегазовая горелка была изготовлена, смонтирована и испытана на действующем энергетическом котле. Таким образом, результаты диссертации не ограничиваются расчётно-конструкторской стадией, а включают промышленную апробацию пилотного технического решения.

Предложенные конструктивные решения по горелке, системе поворота, уплотнениям, подвижному щиту и отдельным элементам, работающим в условиях высоких температур и запылённости, могут быть использованы при проектировании новых и модернизации действующих горелочных устройств пылеугольных энергетических котлов.

Полученные расчётные и экспериментальные данные, а также разработанные рекомендации по управлению топочным режимом могут применяться при создании объектно-ориентированных систем поддержки оператора и последующем развитии автоматизированных систем управления положением факела.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Содержание диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» по следующим направлениям исследований:

пункт 1 - Разработка научных основ (подходов) исследования общих свойств и принципов функционирования и методов расчета, алгоритмов и программ выбора и оптимизации параметров, показателей качества и режимов работы энергетических систем, комплексов, энергетических установок на органическом и альтернативных топливах и возобновляемых видах энергии в целом и их основного и вспомогательного оборудования. В диссертации предложены расчётные подходы и рекомендации по выбору диапазона угла поворота горелок, а также алгоритм корректировки топочного режима пылеугольного котла.

пункт 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. Работа содержит расчёты по нормативному методу, CFD-моделирование топочного процесса и натурные испытания пилотной поворотной горелки на промышленном котле.

пункт 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. В диссертации разработана вихревая поворотная пылегазовая горелка с мероприятиями по снижению выбросов  $\text{NO}_x$ , а также предложены технические решения, направленные на повышение управляемости и надёжности работы котла.

В целом, тема, объект исследования, методы и полученные результаты соответствуют паспорту научной специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы».

**Обоснованность и достоверность** результатов, научных положений и выводов диссертационной работы обеспечиваются использованием апробированных методов теплового расчёта котельных агрегатов, применением программ BoilerDesigner и ANSYS Fluent, сопоставлением расчётных данных с результатами испытаний, а также проведением натурной апробации пилотного образца горелки на действующем котле БКЗ-210-140.

В работе выполнено сопоставление результатов расчёта по нормативному методу и численного моделирования, что позволяет оценить влияние положения факела на температуру газов на выходе из топки с использованием двух независимых подходов. Экспериментальная часть подтверждает принципиальную работоспособность предложенного технического решения и наличие влияния угла поворота горелки на температуру перегретого пара.

Следует отметить, что часть полученных результатов относится к пилотной стадии внедрения и требует дальнейшего накопления экспериментальных данных при расширении числа поворотных горелок на котле и при исследовании более широкого набора режимов. Тем не менее представленные материалы достаточны для обоснования основных выводов диссертации.

**Апробация работы и публикации по теме диссертации.** Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на ряде научно-технических конференций и форумов. В частности, результаты были представлены на конференции «Невская энергетическая перспектива 2024» (Санкт-Петербург, 11-13 сентября 2024 г.), IV Международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики» (НИУ «МЭИ», Москва, 21-25 октября 2024 г.), Международной научно-технической конференции «Техническое перевооружение ТЭС - масштабы и приоритеты. Совершенствование основного и вспомогательного оборудования, технологических схем и систем» (Москва, 29 октября 2024 г.).

Кроме того, материалы исследования обсуждались на XII Всероссийской конференции с международным участием «Горение топлива: теория, эксперимент, приложения» (Новосибирск, 11-14 ноября 2024 г.), Всероссийском форуме «Енисейская теплофизика 2025» (Красноярск, 14-19 апреля 2025 г.) и II Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные вопросы эксплуатации котлов ТЭС: проблемы и пути их решения» (АО «ВТИ», Москва, 15 мая 2025 г.).

По теме диссертации опубликована 21 работа, в том числе 13 публикаций в журналах, входящих в перечень ВАК и индексируемых в базе Scopus, а также получены 3 патента на полезную модель. Указанный объём апробации и публикаций является достаточным для кандидатской диссертации.

**Общая характеристика структуры и содержания диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа содержит 163 страницы печатного текста, 17 таблиц, 86 рисунков. Список литературы включает 136 наименований.

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, определены объект исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приведены положения, выносимые на защиту, сведения об апробации и публикациях.

**В первой главе** выполнен литературный обзор, включающий анализ состояния угольной энергетики, существующих подходов к регулированию топочного режима, известных конструкций поворотных горелок и требований к системе сжигания с возможностью изменения положения факела по высоте топки. На основании обзора сформулированы задачи диссертационного исследования.

**Во второй главе** представлены результаты расчётных исследований влияния положения факела на топочный режим котла БКЗ-210-140 Томской ГРЭС-2. Рассмотрены варианты работы котла при изменении характеристик угля, выполнены расчёты в BoilerDesigner и моделирование в ANSYS Fluent, проведено сопоставление результатов и обоснован диапазон вертикального поворота горелок  $\pm 15^\circ$ .

**В третьей главе** приведены технические решения по конструкции вихревой поворотной пылегазовой горелки. Рассмотрены основные узлы горелки, система вертикального и горизонтального поворота, мероприятия по снижению выбросов  $\text{NO}_x$ , решения по уплотнениям и подвижному щиту. Описаны доработки отдельных элементов по результатам первичного опробования.

**В четвёртой главе** изложены результаты экспериментальных исследований работы пилотного образца горелки на действующем котле БКЗ-210-140. Показана стабильность работы горелки в исследованных режимах, приведены данные по влиянию поворота горелки на температуру перегретого пара и паропроизводительность котла. Отдельного внимания заслуживает то, что в приложении к работе дополнительно приведены наблюдения по шлакованию насадки горелки в ходе испытаний.

**В пятой главе** разработаны рекомендации по управлению топочным режимом при использовании системы сжигания с поворотными горелками. Предложена структура алгоритма контроля и корректировки режима горения, включающая ранжирование контролируемых параметров по степени значимости и использование эмпирических зависимостей для выбора управляющего воздействия.

**В заключении** сформулированы основные выводы по диссертационной работе. Приложения содержат дополнительные расчётные данные, сведения по результатам моделирования, описание элементов гидросистемы, рекомендации по изготовлению и монтажу горелки, а также материалы по оценке шлакования насадки горелки.

Автореферат соответствует содержанию диссертации и отражает её основные положения, результаты и выводы.

#### **Замечания и вопросы по содержанию диссертации.**

1. При сопоставлении расчётов по нормативному методу и результатов CFD-моделирования выводы об уточнении параметра  $M$  сделаны главным образом по температуре газов на выходе из топки. С учётом того, что в топке рассматриваемого котла расположены преимущественно испарительные поверхности нагрева, выбранный подход в целом оправдан. Однако для более полного методического обоснования было бы полезно дополнительно привести распределение падающего лучистого потока или тепловосприятости экранов по высоте топки при различных углах поворота горелок.

2. Предложенное уточнение поправок к параметру  $M$  при повороте горелок представляет практический интерес. При этом область применимости полученных рекомендаций желательно обозначить более явно, поскольку результаты получены для конкретного котла, конкретной компоновки горелок и ограниченного набора исследованных режимов.

3. В тексте диссертации и автореферата отмечено, что увеличение диапазона угла вертикального поворота горелки свыше  $\pm 15^\circ$  потребует усложнения

конструкции горелки. Целесообразно более явно перечислить конкретные конструктивные факторы, ограничивающие дальнейшее увеличение угла поворота.

4. В работе приведена зависимость изменения температуры перегретого пара от угла поворота горелки. С учётом того, что в опытах на работающем котле фактический диапазон поворота был ограничен условиями эксплуатации пилотного образца, желательно более чётко указать, какие точки зависимости получены прямым измерением, а какие определены интерполяцией или расчётной оценкой.

5. Оценка экологического эффекта, связанного со снижением выбросов  $\text{NO}_x$ , в значительной степени опирается на ранее накопленный опыт применения горелок с рассекателями потока пыли. Для рассматриваемого объекта было бы полезно подробнее разграничить вклад новой конструкции горелки, газовой подсветки и общего режима работы котла в изменение концентрации  $\text{NO}_x$ .

6. По тексту диссертации и автореферата встречаются отдельные опечатки и редакционные неточности, не влияющие на содержание работы, но требующие устранения при подготовке окончательного текста.

Приведённые замечания не снижают научной и практической ценности диссертационной работы и носят уточняющий характер.

### **Заключение по диссертационной работе**

Диссертационная работа Рыжего Ивана Алексеевича «Обоснование рекомендаций по управлению топочным процессом с использованием вихревых поворотных горелок на пылеугольных энергетических котлах» является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические решения и рекомендации, имеющие значение для совершенствования топочного режима пылеугольных энергетических котлов.

Основные результаты диссертационной работы удовлетворяют критериям новизны, достоверности, обоснованности и практической значимости. Диссертация обладает внутренним единством содержания, материал изложен последовательно и технически грамотно. Личный вклад автора в получение результатов диссертационной работы обоснован и подтверждается публикациями.

Автореферат и публикации отражают содержание диссертации, её основные положения и выводы. Содержание диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы».

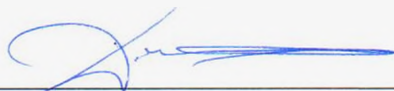
Считаю, что диссертация Рыжего Ивана Алексеевича соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы.

Я, Хохлов Дмитрий Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Рыжего Ивана Алексеевича, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент, кандидат технических наук,  
доцент, ведущий инженер-конструктор  
Акционерного общества  
«Подольский машиностроительный завод» (АО «ЗиО»),  
г. Подольск Московской области

Хохлов Дмитрий Александрович

04 июня 2026 года



Подпись Д.А. Хохлова заверяю

Начальник отдела кадров  
Акционерного общества  
«Подольский машиностроительный завод»,  
г. Подольск Московской области



Перегудова Наталья Николаевна

Акционерное общество «Подольский машиностроительный завод» (АО «ЗиО»)  
Российская Федерация, 142115. Московская область, г. Подольск, ул. Машиностроителей, д. 23.  
Телефон: +7 (495) 913-87-90 (многоканальный)  
Электронная почта: info@podolskmash.ru

7

С отзывом официального  
оппонента Хохлова Д.А.  
ознакомлен ИР. 05.06.2026