

ОТЗЫВ

официального оппонента 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 специальности «2.4.5 – Энергетические системы и комплексы»

Диссертационное исследование выполнено в рамках направления повышения эффективности работы пылеугольных энергетических котлов. Основной акцент сделан на применении вихревых поворотных горелок. В диссертации справедливо отмечено, что масштабная реконструкция пылеугольных котельных агрегатов с изменением конфигурации поверхностей нагрева, схемы регулирования температуры перегретого пара, организацией рециркуляции дымовых газов в топку требует значительных капитальных затрат. С учетом текущих реалий в угольной отрасли и энергетике России в целом эти изменения маловероятны. Нужны альтернативные подходы. Один из них базируется на совершенствовании конструкций пылегазовых горелок и алгоритмов их управления. В диссертации перечислены специалисты, внесшие наибольший вклад в данном направлении исследований. **Ниша диссертации И.А. Рыжего** состоит в применении комплексного подхода к расчёту влияния положения факела на топочный режим, совмещающего традиционный расчёт по нормативному методу с использованием параметра относительного расположения максимума температур по высоте топки и моделирования топочного процесса с уточнением значения температуры газов на выходе из топки. Объектом исследований выступила разработанная поворотная вихревая горелка, установленная на котле Е-210-13,8КТ (БКЗ-210-140) Томской ГРЭС-2, предназначенная для сжигания каменного угля и природного газа. Разработаны технические решения по вихревой поворотной пылегазовой горелке, позволяющей сжигать газ и уголь в широком диапазоне изменения проектных

характеристик. В этой связи тематика диссертационных исследований И.А. Рыжего является актуальной.

Тема диссертации соответствует приоритетному направлению развития науки, технологии и техники РФ: п. 8 «Энергоэффективность, энергосбережение и ядерная энергетика», направлению Н2 стратегии научно-технического развития России «Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии».

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Рукопись диссертации хорошо структурирована и содержит адекватно расположенные разделы и подразделы в каждой главе. В конце диссертации сформулированы заключения с конкретными установленными количественными эффектами, что особенно важно для диссертаций, подготовленных на соискание ученых степеней по отрасли «технические науки».

Во введении автор сформулировал проблему, на решение которой направлены исследования, и обосновывал целесообразность их проведения с акцентом на применение совокупности экспериментальных и расчетных методов. Обоснована целесообразность применения комплексных методов и подходов.

В первой главе диссертации выполнен анализ текущего состояния угольной отрасли в России и мире. Выделены перспективные направления развития угольной энергетике. Прокомментированы наработки в области конструкций поворотных горелок и типичные требования к горелочному устройству промышленного котла. Сформулированы основные выводы по главе с выделением перечня нерешенных в полной мере научных и производственных задач.

Во второй главе приведены результаты теоретических исследований автора, отражающие влияние положения факела по высоте топочной камеры на температуру газов на выходе из нее. На основании анализа результатов расчётов определён диапазон возможного регулирования температуры газов

при повороте горелок и уточнена методика расчёта параметра М. Сформулированы основные выводы по главе с обоснованием диапазона рационального изменения положения факела по высоте топочной камеры для достижения целевых значений технологических параметров.

В третьей главе приведены разработанные автором технические решения по конструкции вихревой поворотной горелки и их экспериментальное обоснование на спроектированной и изготовленной горелке для котла БКЗ-210-140. Сформулированы основные выводы по главе с обоснованием наиболее эффективных условий сжигания топлива в котле с применением выбранной горелки.

В четвертой главе приведено описание процесса экспериментальных исследований и полученных результатов опытов по оценке влияния угла поворота горелки на интегральные характеристики работы котла. Сформулированы основные выводы по главе с обоснованием наиболее рациональных значений угла поворота.

В пятой главе представлены разработанные автором рекомендации по управлению топочным режимом при использовании системы сжигания с поворотными горелками. Дано описание алгоритма контроля и корректировки режима горения, который подразумевает возможность работы системы сжигания как с обычными, так и с поворотными горелками. Сформулированы основные выводы по главе с обоснованием условий и режимов горения топлив с различным составом и свойствами.

В заключении представлены укрупненные формулировки выводов по результатам выполненных исследований и обобщений.

Научная новизна результатов диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Предложен комплексный подход к расчёту влияния положения факела на топочный режим, совмещающий традиционный расчёт по нормативному методу с использованием параметра относительного расположения максимума температур по высоте топки и моделирование топочного

процесса в программе ANSYS Fluent с уточнением значения температуры газов на выходе из топки.

2. Разработаны технические решения по вихревой поворотной пылегазовой горелке, позволяющей сжигать газ и уголь в широком диапазоне изменения проектных характеристик.
3. Получена эмпирическая зависимость изменения температуры перегретого пара от величины угла поворота горелки.
4. Разработаны принципы управления топочным режимом с использованием системы сжигания с поворотными горелками и алгоритм корректировки топочного режима.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Разработанные технические решения по конструкции вихревой поворотной горелки могут быть использованы для проектирования поворотных горелок с последующим их тиражированием на энергетических котлах РФ.
2. Обоснована возможность регулирования положения факела по высоте с использованием поворотных горелок, что позволяет существенно расширить номенклатуру сжигаемых на котельном агрегате углей без ухудшения технико-экономических и экологических показателей работы котельного оборудования.
3. Разработанный алгоритм контроля топочного режима позволяет осуществлять управление топочным процессом в автоматическом режиме, и тем самым повысить надёжность работы котельной установки.

Сформулированные научные положения диссертационных исследований **обоснованы**. В тексте автореферата и диссертации приведены результаты, иллюстрирующие правомерность сделанных автором заключений.

Достоверность полученных автором диссертации **результатов** основана на использовании апробированных методов расчёта топочного процесса и сертифицированных программ (расчёт по НТР с использованием программы Boiler Designer; математическое моделирование на основе

программного комплекса ANSYS Fluent), применении поверенных приборов измерений, удовлетворительном совпадении расчётных результатов с измеренными параметрами.

Проводя оценку **научной и практической значимости** основных результатов, положений и выводов, представленных в диссертации, необходимо отметить, что автором выполнена масштабная научно-исследовательская и производственная работа, заслуживающая высокой оценки научного сообщества и специалистов в области сжигания угля в топках пылегазовых энергетических котлов.

Личный вклад автора сформулирован развернуто в автореферате и диссертации. Отмечено, что использование представленных в работе и выносимых на защиту результатов, полученных в ходе совместных исследований, согласовано с соавторами.

Анализ содержания рукописи и автореферата диссертации дает основание для формулирования следующих **замечаний и рекомендаций**:

1. Обзор результатов исследований в диссертации ограничен в основном достижениями отечественных коллективов. В области повышения эффективности работы пылеугольных котельных агрегатов, в том числе с применением поворотных горелочных устройств, мировое научное сообщество и зарубежные компании сделали значительный шаг вперед. Достижения коллективов в Китае и Европе опубликованы и представляются на конференциях международного уровня. Их следовало более подробно рассмотреть в первой главе диссертации. Целесообразны количественные оценки достигнутых в мире целевых показателей с применением поворотных горелочных устройств и автором диссертации для понимания их ниши в мировой науке и практике.
2. Основные результаты исследований получены при выполнении математического моделирования с применением пакета ANSYS Fluent. В этом пакете модели подмодели закрыты для редактирования и работа с ними выстроена в основном в режиме пользователя заложенных кодов, которые валидированы на ограниченных экспериментальных данных.

Параметры сеток по координатами и времени важно корректно выбрать. Этот процесс требует особой проработки и аргументированного обсуждения. Необходимо обосновать выбор расчетных модулей и принятых допущений подробно, так как это определяет границы применимости как самой модели, так и полученных теоретических результатов.

3. Для науки и практики интерес представляют синергетические эффекты, которые возможны при целенаправленном усилении совокупности эффектов. У автора имеется прогностический инструмент для этого. Целесообразно было показать раздельное влияние состава и свойств топлива, дисперсности, расходов воздуха и топлива, угла поворота горелок и других факторов, а затем в совокупности.
4. В автореферате и диссертации приводятся результаты экспериментов и расчетов на рисунках без пояснения доверительных интервалов и среднеквадратичных отклонений. Не прокомментировано, насколько отличались и как контролировались исходные условия при проведении измерений. Сложно объективно анализировать рассогласование измерений и расчетов и вклад варьируемых факторов в общий процесс. В тексте диссертации приведены комментарии по установленным отклонениям температуры в несколько градусов в то время, как погрешность измерений может быть сопоставима или даже выше.
5. В конце работы целесообразно было выполнить многофакторный анализ эффективности предлагаемых технических решений с учетом экологических, экономических, энергетических, эксплуатационных и технологических индикаторов, нормированных относительно действующих или альтернативных решений.
6. В диссертации встречаются рисунки со сканированными фотографиями и схемами конструкций агрегатов и блоков без ссылок в подписи на первоисточники, что затрудняет их поиск и анализ. Имеются не добавленные в список литературы ссылки в самом тексте в формате «название журнала, год, номер, страницы». Не для всех представленных

установок приводятся масштабные коэффициенты и не описаны размеры основных блоков.

Сделанные замечания **не снижают высокой положительной оценки** диссертационной работы и носят в основном рекомендательный характер для развития исследований автора.

Тема диссертации «Обоснование рекомендаций по управлению топочным процессом с использованием вихревых поворотных горелок на пылеугольных энергетических котлах» соответствует паспорту специальности «2.4.5 – Энергетические системы и комплексы»: п. 1 – разработка методов расчета, алгоритмов выбора параметров, показателей качества энергетических установок на органическом топливе в целом и их основного и вспомогательного оборудования; п. 2 – математическое моделирование, численные исследования рабочих процессов, протекающих в энергетических системах и установках на органическом топливе, их основном и вспомогательном оборудовании и общем технологическом цикле производства электрической и тепловой энергии; п. 7 – исследование влияния технических решений, принимаемых при создании энергетических установок на их финансово-экономические и инвестиционные показатели.

Содержание автореферата соответствует содержанию рукописи диссертации.

Результаты диссертационного исследования апробированы **на всероссийских и международных научных конференциях** (в г. Новосибирск, Красноярск, Москва, Санкт-Петербург и др.) и **публиковались в журналах**, рекомендованных ВАК РФ для публикации материалов кандидатских диссертаций. Всего по тематике диссертационных исследований опубликованы более 20 работ, в том числе 13 статей в журналах и 3 патента РФ на полезную модель.

Заключение

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации И.А. Рыжего можно сделать вывод о том, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой приведены

результаты решения крупной научно-практической задачи в области повышения эффективности пылеугольных энергетических котельных агрегатов. Диссертационная работа выполнена в соответствии с требованиями, предъявляемыми ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а именно пп. 9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (в действующей редакции), а ее автор, Рыжий Иван Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы.

Официальный оппонент, доктор физ.-мат. наук, профессор,
член-корреспондент РАН,
профессор Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова,
заведующий лабораторией тепломассопереноса

Национального исследовательского
Томского политехнического университета

Стрижак Павел Александрович

8 (3822), 701-777, доп. 1910

pavelspa@tpu.ru



Подпись П.А. Стрижака заверяю
Ученый секретарь Национального
исследовательского Томского
политехнического университета,
кандидат геолого-минералогических наук
Новикова Валерия Дмитриевна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30, т. 8 (3822), 701-777, доп. 1910

28.05.2026