

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию **Верещетина Владимира Артуровича**

«Совершенствование низкоэмиссионных газогорелочных устройств котлов ТЭС», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты»

**Актуальность избранной темы.** Постоянное ужесточение требований по ограничению вредных выбросов тепловыми электростанциями обуславливает необходимость совершенствования технологий сжигания органического топлива, и в том числе природного газа. Природный газ считают «экологически чистым» топливом, однако при его сжигании в топках энергетических котлов образуются токсичные оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ). Разработкой и совершенствованием конструкций низкоэмиссионных газогорелочных устройств занимаются ОАО «ВТИ», ОАО «НПО ЦКТИ», МЭИ и другие организации. Работа В.А. Верещетина посвящена созданию методических основ, разработке и экспериментальному обоснованию рекомендаций по проектированию газогорелочных устройств с низким выходом  $\text{NO}_x$ , что позволяет считать тему диссертации вполне *актуальной*.

**Обоснованность и достоверность основных научных положений, выводов и рекомендаций.** Основные положения, представленные на защиту, получены на основе аналитических исследований, численного моделирования, лабораторных и промышленных экспериментов. Автор разумно сочетает расчёт, физический эксперимент и численное моделирование, сопоставляя их результаты. При этом использованы метрологически аттестованное оборудование, апробированные методики, а результаты опытов и расчётов показали взаимное соответствие. Автор объективно и самокритично сравнивает собственные данные с известными из литературных источников и делает логически правильные выводы. Сказанное позволяет считать основные научные положения, выводы и рекомендации диссертационной работы *обоснованными и достоверными*.

**Научная новизна.** В работе получены новые расчетные и экспериментальные данные о влиянии условий смесеобразования при стадийном сжигании природного газа на образование  $\text{NO}_x$ ; на основе вычислительного эксперимента установлено влияние конструкции основных типов амбразур газовых горелок на характер протекания процессов в факеле и генерацию  $\text{NO}_x$ ;

получены расчетные и экспериментальные данные о влиянии внутренней рециркуляции дымовых газов и балластирования окислителя (внешней рециркуляции продуктов сгорания) в газовых горелках на выход  $\text{NO}_x$ . Предложены и исследованы новые конструкции низкоэмиссионных горелок и технологические схемы, позволяющие повысить надежность и эффективность и снизить вредные выбросы котельных установок при сжигании природного газа и мазута. Сказанное приводит к выводу о *научной новизне* основных результатов работы.

**Практическая ценность.** Особое значение автор придает практическому применению своих предложений, понимая, что именно в нём обретает законченность работа инженерного профиля. Автор предлагает и успешно внедряет новые конструкции горелочных устройств и технологические схемы организации топочного процесса на котельных установках с паровыми и водогрейными котлами различной мощности; предлагает использовать результаты своих исследований как при реконструкции, так и при создании новых энергетических котлов. Результаты работы использованы при составлении отраслевых стандартов. Сказанное подтверждает *практическую ценность* диссертации В.А. Верещетина.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях, неоднократно и успешно докладывались на конференциях различного уровня, где получили высокую оценку специалистов.

**Оценка содержания диссертации и автореферата.** Диссертация содержит введение, четыре главы и заключение.

*Во введении* обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, отмечены научная новизна, практическая значимость полученных результатов и основные положения, выносимые на защиту.

*Первая глава* – обзорная и «постановочная». Обзор хорошо структурирован, снабжён простыми и наглядными иллюстрациями. Глава обозначает проблемы в исследуемой области и подводит к выявлению цели и постановке задач собственного исследования.

*Вторая глава* посвящена экспериментальным исследованиям на стендовой установке. Автор исследует закономерности образования  $\text{NO}_x$  в зависимости от конструктивных особенностей горелки, условий смесеобразования, наличия и отсутствия внутренней рециркуляции дымовых газов при сжигании природного газа.

*В третьей главе* представлены результаты вычислительного эксперимента, в котором исследовалось влияние конструктивных элементов горелки, конфигурации амбразуры и внешней рециркуляции дымовых газов на образование  $\text{NO}_x$  в пламени горелки. Для численного моделирования горения углеводородного топлива автором выбран современный программный код ANSYS CFX, широко используемый для решения подобных задач. В результате моделирования выявлены особенности протекания процессов в факеле и определены уровни снижения генерации  $\text{NO}_x$ .

*Третья глава* посвящена разработке и внедрению горелок для сжигания генераторного и полукоксового газа. На основании расчетных оценок и результатов промышленных испытаний предложены рациональные конструкции горелочных устройств, отличающиеся повышенной надежностью, ремонтпригодностью и улучшенными экологическими показателями. Уточнена методика контроля режимов работы горелок и котла в целом с учетом специфических свойств сжигаемых газов.

*В четвертой главе* представлены результаты разработок и внедрения низкоэмиссионных горелочных устройств. В результате промышленных испытаний паровых и водогрейных котлов доказана эффективность технических и технологических решений, направленных на снижение вредных выбросов. Приведены рекомендации по созданию низкоэмиссионных газогорелочных устройств.

*Закключение* соответствует полученным результатам.

Содержание автореферата соответствует идеям, тексту и выводам работы.

**Замечания по диссертации:**

1) Результаты анализа технологических методов снижения  $\text{NO}_x$  желательно было бы представить в виде сравнительной таблицы.

2) Было бы целесообразно провести верификацию математических моделей на экспериментальных данных стендовых исследований. Это позволило бы проверить на адекватность модели и количественно оценить расхождение расчета с опытом;

3) Численное моделирование выполнялось на метане. Проводилась ли автором оценка погрешности расчетов за счет упрощения состава природного газа?

4) К сожалению, автор не приводит оценок погрешностей измерений и определений величин в промышленном эксперименте на котельных установках.

5) По тексту диссертации встречаются незначительные опечатки.

Отмеченные замечания не снижают общего положительного впечатления о работе.

Оформление диссертации и автореферата соответствует современным требованиям.

Диссертация выполнена на достаточно высоком уровне, по содержанию **соответствует заявленной специальности.**

**Заключение по диссертации.** Считаю, что кандидатская диссертация В.А. Верещетина «Совершенствование низкоэмиссионных газогорелочных устройств котлов ТЭС» представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно-обоснованные технические и технологические решения, имеющие существенное значение для повышения эффективности использования газообразного и жидкого топлива в энергетике.

Диссертация удовлетворяет требованиям (в том числе п. 9) Положения о порядке присуждения учёных степеней, а В.А. Верещетин заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент,  
главный научный сотрудник  
аналитического отдела № 277,  
доктор техн. наук, доцент

Григорьев  
Константин  
Анатольевич

28.05.2018

ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И. И. Ползунова» (ОАО «НПО ЦКТИ»)  
ул. Атаманская, 3/6, Санкт-Петербург, 191167  
тел.: (812) 297-76-91  
e-mail: kg1210@mail.ru

Подпись К.А. Григорьева заверяю:  
Ученый секретарь ОАО «НПО ЦКТИ»

В.М. Ляпунов

