

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе ФГБОУ ВО  
«Новосибирский государственный  
технический университет», д.т.н., доцент



С. В. Брованов

« \_\_\_\_\_ » 2022 г

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» на диссертационную работу Карпенка Виктора Ивановича «**Совершенствование технологии сжигания водоугольного топлива в теплогенераторах малой и средней мощности**», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 – «Промышленная теплоэнергетика».

### 1. Актуальность темы диссертационной работы.

Актуальность работы обусловлена необходимостью вовлечения в производственно-хозяйственную деятельность отходов обогащения углей, содержащих значительную долю горючей массы. В настоящее время эта масса твердых тонкодисперсных отходов углеобогащения (ТДОУ) по технологическим особенностям и составу не может быть утилизирована в топках слоевого и прямоточного сжигания котлов малой и средней мощности. По этой причине они на практике не используются и направляются в отвалы.

Предлагается утилизировать ТДОУ в качестве компонента водоугольного топлива (ВУТ), технология приготовления которого и сжигание разрабатываются в настоящее время. Это решение дает

значительный эффект и экологические преимущества. Работы в этом направлении проводятся в Кузбасском научно-практическом центре СибГИУ и ООО НПЦ «Сибэкотехника», г Новокузнецк, где разработана научно-технологическая основа для успешного продвижения этой тематики в малой теплоэнергетике. Автор диссертационного исследования успешно работает в этом направлении уже несколько лет.

Исследования проводились в рамках проектов № 2010-218-02-174 «Разработка технологии и создание пилотного образца автоматизированного энергогенерирующего комплекса, работающего на отходах углеобогащения» по Постановлению Правительства РФ от 09.04.2010 г., № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства», грантов РФФИ и Правительства Красноярского края № 17-48-240386, 18-48-242001 и 18-41-242004, Соглашения № 14. 583.21.0004 о предоставлении субсидии от 16 июля 2014г.

## **2. Практическая значимость результатов работы.**

Разработаны, созданы и апробированы в стендовых и опытно-промышленных условиях конструкции теплогенераторов малой и средней мощности с вертикальной и горизонтальной осью вихря в адиабатической камере сжигания ВУТ.

Определены на основании выполненных автором термодинамического анализа и численных расчетов процесса сжигания ВУТ технологические режимы сжигания суспензионного топлива из угольных шламов и ТДОУ в вихревых адиабатических топках, что позволяет определять их оптимальные конструктивные параметры уже на стадии проектирования. Внедрение результатов работы осуществлено при разработке теплогенераторов малой и средней мощности для сжигания ВУТ, приготовленного на основе ТДОУ на шахте «Заречная», ОАО «Междуречье» и других предприятиях. Разработаны конструкции и созданы теплогенераторы, работающие на ВУТ, для сушки зерна, а также на базе котлов «Теплотрон». В процессе апробации получены высокие показатели их эффективности: механический недожог составил не более 5%, КПД котлов составил более 86%. Большое практическое значение имеет экологическая составляющая от использования в котельных ВУТ, что позволяет в 1,5-3,5 раза снизить вредные выбросы золы, оксидов азота, двуокиси серы и бенз(а)пирена в атмосферу от теплогенераторов малой и средней мощности.

Определена технико-экономическая эффективность применения теплогенераторов малой и средней мощности, работающих на ВУТ разного

качества для различных отраслей промышленности и жилищно-коммунального хозяйства. Разработанный автором бизнес-план создания пилотного теплоснабжающего комплекса ВУТ на основе теплогенераторов малой (1,6 МВт) и средней (11,6 МВт) мощности с приемлемыми сроками окупаемости до 3 лет открывает возможности для применения этой технологии в народном хозяйстве страны.

### **3. Содержание выполненной работы.**

Диссертация состоит из введения, пяти глав с выводами, основных научных результатов и общих выводов по работе, списка использованных источников из 106 наименований, 2 приложений, изложена на 166 страницах машинописного текста, содержит 43 рисунка и 39 таблиц.

**Во введении** обоснованы актуальность темы, цель и задачи исследования. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** рассмотрено состояние вопроса развития топливной базы энергетики за счет утилизации тонкодисперсных отходов обогащения углей, что имеет важное экономическое и экологическое значение и является частным случаем развития технологий ВУТ в промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве. Приведены сравнительные характеристики технологий сжигания ВУТ над слоем, в кипящем слое, при факельном сжигании, в котлах с циркулирующим кипящим слоем и вихревым сжигании. Показано, что наиболее эффективно горение водоугольного топлива, забалластированного влагой и минеральными компонентами, можно осуществлять при использовании вихревых адиабатических топков.

Выполненный анализ состояния существующих проблем при сжигании ВУТ подтверждает актуальность выбранной темы, обоснованность выбора цели и задач диссертационного исследования.

**Во второй главе** изложена теоретическая база использования ТДОУ, основанная на физико-математической модели сжигания ВУТ в топках теплогенераторов малой и средней мощности, предложенной д.т.н., профессором Мурко В.И.. Топливная система в соответствии с этой моделью весьма сложная: в ней есть мелкие капли, содержащие малые частицы угля до 8-10 мкм, капли среднего размера диаметром 60...70 мкм, содержащие частицы 10..15 мкм, крупные капли 150...200мкм, содержащие частицы до 100мкм, и наконец, капли-частицы, размером до 300-500мкм.

Показано, что при температурах в топке около 1000°C наряду с окислением кислородом ведущая роль в процессе горения отводится реакции окисления углерода водяным паром

**В третьей главе** представлено обоснование выбора конструктивных параметров вихревых адиабатических топок для сжигания ВУТ: размеров факела распыла топлива, топочного пространства, газораспускного окна.

**В четвертой главе** представлены результаты разработки конструкций теплогенераторов малой и средней мощности с горизонтальными и вертикальными топками. В ходе испытаний показано, что ВУТ, приготовленные из углей и угольных шламов различных марок и зольности, надежно воспламеняются и сжигаются в вихревой топке.

**В пятой главе** представлены результаты разработки бизнес-плана пилотного технологического комплекса (ПТК) на основе ВУТ для внедрения теплогенераторов мощностью 1,6 и 11,6 МВт. Приведены основные технико-экономические показатели проекта.

**В приложении** приведены акты и другие документальные подтверждения практического применения и оценки практической значимости результатов диссертационного исследования автора.

Автореферат по содержанию и объему соответствует требованиям, установленным ВАК для авторефератов по указанной специальности, и отражает содержание диссертационной работы, ее основные положения и выводы.

#### **4. Научная новизна результатов работы.**

Результаты исследования демонстрируют хорошее технико-экономические и экологические показатели теплогенераторов небольшой и средней мощности. Особо следует отметить научную и технологическую роль диссертации, которая связана с разработкой новых методов использования твердых отходов обогащения углей и введением их в технологический оборот. Когда-то дизельное топливо (солярное масло) было отходом получения бензина, затем мазут был отходом при получении гаммы продуктов переработки нефти, теперь настала очередь для отходов переработки угля. Все это находится в тренде развития энергетических топлив и угольного комплекса. Новизну результатов характеризуют следующие положения:

1. Определено влияние зольности и выхода летучих на состав газовой фазы в атмосфере топки, режимы сжигания и температуру в топочном пространстве, необходимые для устойчивого горения ВУТ.

2. Показано, что температурный режим стабильного горения ВУТ в адиабатической топке соответствует 850-1100°C в зависимости от выхода летучих веществ при нахождении в топке диспергированных капель и угольных частиц не менее 3-5 секунд.

3. Получены зависимости параметров сжигания ВУТ из угольных шламов и ТДОУ от конструктивных параметров адиабатических топков, теплопроизводительности и характеристик различных видов водоугольного топлива, позволяющие проектировать современные конструкции теплогенераторов малой и средней мощности и определять технологические режимы их работы.

Следует также отметить положительный экологический эффект при сжигании ВУТ в разработанных автором топках малой и средней мощности.

#### **5. Достоверность полученных результатов.**

Достоверность результатов работы обеспечивается использованием современных методов теоретических и экспериментальных исследований в области теоретической и промышленной теплотехники и математического моделирования, а также подтверждением основных положений диссертационной работы результатами экспериментальных исследований разработанных теплогенераторов, работающих на ВУТ.

#### **6. Полнота опубликованных материалов и апробации работы.**

По результатам диссертации опубликованы 39 работ, в том числе 8 в изданиях рекомендованных ВАК для защиты диссертационных работ. Получено 19 патентов на изобретения и полезные модели по тематике работы.

Апробация результатов работы была проведена на 6 международных научно-промышленных конференциях и 3 семинарах и конференциях с международным участием в период 2011-2017гг.

#### **7. Замечания по работе.**

Имеются неясности в тексте диссертации и автореферата, требующие дополнительного пояснения.

1. Из текста диссертации непонятно, почему отходы углеобогащения (стр. 11 диссертации) отнесены к разряду возобновляемых энергетических источников.

2. Автором (стр.27, 30) предложен тезис об унификации всех каменных углей, базирующийся на малом влиянии выхода летучих на реакционную способность топлива и температуру воспламенения угля. В то же время (стр. 73) автор отмечает, что параметр «выход летучих» серьезно влияет как на температуру воспламенения, так и на температуру устойчивого протекания процесса в камере сжигания.

3. Во второй главе диссертации автор констатирует, что процесс горения различных по структуре капель в адиабатической топке становится идентичным уже по истечении нескольких долей секунды, при этом температурный режим стабильного горения ВУТ устанавливается в границах

850-1100°C, а время нахождения капель ВУТ и угольных частиц в топке должно быть не менее 3-5 сек. Однако далее автор отмечает, что время нахождения горящих частиц и капель ВУТ в вихревой топке пропорционально их диаметру. Скорее всего, это происходит благодаря различию в длине траекторий мелких и крупных частиц и капель. Рассматривать процессы сжигания мелких и крупных частиц, как идентичные, в этом случае сложно.

4. Есть замечание к табл. 2.1 на стр. 62, где общее количество газов, образующихся при сжигании 1 м<sup>3</sup>. ВУТ определялось как сумма объемов воздуха, необходимого для сжигания ВУТ при  $d_v = 1,0$  и объеме водяных паров, образующихся из жидкой фазы ВУТ. Однако, вместо объема исходного воздуха продукты горения будут содержать парциальные объемы  $V_{CO_2}$ ,  $V_{SO_2}$ ,  $V_{N_2}$ ,  $V_{H_2O}$ , последний из водорода в твердой фазе и пара из жидкой фазы. Масса этого объема в м<sup>3</sup> будет больше, чем масса кислорода и азота в составе исходного воздуха и нужно учитывать массу газов, получаемых путем контракции (угара) при высокой температуре горения из минеральной части топлива. Эти газы составляют от 7 до 14 % от массы минеральной части. Таким образом, нарушен закон сохранения массы веществ, вступающих в реакцию и полученных в результате реакции. Эта неточность повлияет на зависимости, представленные рис. 2.2. диссертации.

5. При теоретическом исследовании процесса горения ТДОУ автор использует программу ANSYS FLUENT. Эта программа в числе программируемых топлив не содержит ВУТ. Поэтому для использования программы в случае ВУТ ее необходимо адаптировать, особенно в случае такой сложной полидисперсной системы, как ВУТ на основе ТДОУ. К сожалению, автор не приводит, хотя бы кратко, методику адаптации программы к ВУТ сложного состава. Однако, результаты экспериментальных и теоретических исследований автора коррелируют между собой, что подтверждает такую адаптацию. В чем же заключается ее методика?

6. Имеются формальные недочеты в тексте диссертации и автореферата:

- в таблице 1.3 ( стр. 35) указаны результаты только для температуры 1200°C, но автор при этом делает в тексте ссылку на диапазон температур 1200-1400°C;

- дважды повторяется стр. 38;

- на стр. 116 и 117 имеются повторы текста, начиная со слов «Для сжигания угля и ВУТ...»;

- на стр.68 ссылка сделана на несуществующую формулу (2.10), там же неправильно указана ссылка на формулу (2.8);

- на стр. 81 приведена ссылка на несуществующий рис. 3.5;  
- обозначения индексов в формулах (3.5) – (3.9) имеют неясное происхождение;

- в тексте диссертации (стр. 8) указаны 39 работ, в т.ч. 8 по списку ВАК, тогда как в автореферате (стр. 6) имеется указание на 21 научную работу и 11 статей в журналах по перечню ВАК, где опубликованы основные результаты научных исследований.

Однако, отмеченные выше недостатки не умаляют общей научной и практической значимости полученных диссертантом результатов.

### 8. Заключение.

Диссертационная работа Карпенка В. И. на тему «Совершенствование технологии сжигания водоугольного топлива в теплогенераторах малой и средней мощности» представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную научную тему.

Диссертационная работа Карпенка Виктора Ивановича «Совершенствование технологии сжигания водоугольного топлива в теплогенераторах малой и средней мощности», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, полностью удовлетворяет критериям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор **Карпенко Виктор Иванович** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 - «Промышленная теплоэнергетика».

Диссертационная работа доложена и обсуждена на расширенном заседании кафедры Тепловых электрических станций Факультета энергетики ФГБОУ ВО НГТУ «17» февраля 2022 года (Протокол № 2). Работа получила положительную оценку, рекомендована к защите, по результатам обсуждения составлен настоящий отзыв.

Зав. кафедрой ТЭС  
д.т.н., доцент



Елистратов Сергей Львович

Профессор кафедры ТЭС  
д.т.н., доцент



Овчинников Юрий Витальевич