

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Бутакова Евгения Борисовича «Исследование горения и газификации органических топлив с механо- и плазмохимической активацией применительно к энергетике и получению топливного газа», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

### **Актуальность темы диссертации.**

Тепловые электростанции, в топках которых сжигаются угли, вырабатывают в разных государствах от 20% до 40% электроэнергии. Тенденции развития энергетики последних 5 – 10 лет иллюстрирует достаточно значительные изменения энергетической политики многих развитых государств мирового сообщества. Так, например, доля электроэнергии, вырабатываемой атомными электростанциями неуклонно снижается в связи с целым рядом объективных и субъективных факторов (например, авария на АЭС «Фукусима»). Строительство новых АЭС в последние годы начинается только на территориях некоторых стран Азии. В этой связи уголь становится все более и более привлекательным для ТЭС, в основном, в связи с тем, что месторождения этого топлива расположены на всех континентах, и уголь стоит много дешевле нефти и газа. Но при сжигании углей образуются (в отличие от газа и мазута) много антропогенных продуктов (окислы серы и азота, углекислый газ, летучая зола и др.), концентрация которых почти всегда достаточно велика. По этой причине развитие угольной теплоэнергетики происходит медленно и с большим напряжением сил исследователей и конструкторов. Несмотря на то, что исследованием сжигания углей мировое научное сообщество занимается многие десятилетия, в настоящее время нет оснований для вывода о том, что разработана теория горения углей, обеспечивающая возможность существенного повышения эффективности их сжигания в топках паровых и водогрейных котлов. Поэтому в последние годы ведутся интенсивные экспериментальные исследования процессов зажигания и горения углей в пылевидном состоянии, а также различного рода композиций на их основе (водоугольные, органоводоугольные и смесевые топлива). Основная цель таких исследований, выполняющихся во многих развитых странах (США, Япония, Китай, Индия, Австралия), снижение антропогенной нагрузки на окружающую человека среду за счет увеличения полноты сгорания углей и соответствующей минимизации выбросов оксидов серы и азота в атмосферу Земли.



При анализе актуальности темы рецензируемой диссертации следует также отметить, что несмотря на многолетние исследования процессов газификации твердых топлив в России и за рубежом, пока нет убедительных примеров широкомасштабного применения в энергетике технологий газификации углей, обеспечивающих повышение энергетической эффективности ТЭС в сочетании со снижением антропогенной нагрузки на окружающую среду.

В этой связи тема диссертации Е.Б. Бутакова, целью которой является развитие механо- и плазмохимических методов интенсификации горения и газификации углей и углеросодержащих твердых топлив, безусловно актуальна.

По основным отличительным признакам (цели, задачам, методам исследования, защищаемым положениям, основным полученным результатам, своей практической направленности) диссертация Е.Б. Бутакова соответствует приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика», а также критической технологии «Технологии энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе» (утверждены Указом президента РФ 07 июля 2011 года).

### **Общая характеристика работы.**

Диссертационная работа Е.Б. Бутакова состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (97 наименований), двух приложений. Общий объем диссертации составляет 154 страницы (46 рисунков, 97 таблиц).

Во введении автор обосновывал актуальность темы своего диссертационного исследования; сформулировал цель и задачи, основные положения выносимые на защиту, практическую значимость; выделил основные аспекты использовавшихся им методологии и методов исследований.

В первой главе диссертации автором предпринимается попытка описания современных технологий интенсификации процессов горения и газификации углеродсодержащих топлив. В достаточно большом по объему обзоре (38 страниц) рассмотрены на разных уровнях детализации: свойства и характеристики углесодержащих твердых топлив (угля и углесодержащих отходов); технологии механохимической активации; типы воздействия и виды мельничьих реакторов; влияние механической обработки на физические и химические свойства обрабатываемых веществ в твердом состоянии; механоактивация углей; технологии плазмохимической активации.

Во второй главе приведены описания использовавшихся автором диссертации экспериментальных стендов по сжиганию и газификации углей.



В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований воспламенения, горения и газификации механоактивированной угольной пылевзвеси различной степени метаморфизма. Уголь перед экспериментами измельчали на высоконапряженных мельницах типа дезинтегратор и виброцентробежной мельнице. Эксперименты проводились на двух стендах разной тепловой мощности. Результаты исследований дают основания для рекомендации технологии микропомола углей двух марок ГТ т СС для систем безмазутного розжига котельных установок. Установлено, что плазменная активация механоактивированного угля приводит к улучшению состава генераторного газа на выходе. В этой главе приведены результаты и численных исследований паровоздушной газификации угля в поточном реакторе, а также опытно-промышленных испытаний по использованию угля микропомола по технологии Института теплофизики СО РАН для замещения мазута при розжиге котла ПК-40-1.

В четвертой главе представлены результаты исследований автора процессов газификации органических отходов с получением «топливного газа для теплоэнергетики». Эксперименты проведены на примере промасленных древесных опилок. Установлено, что полученный в плазменных газификаторах синтез-газ содержит до 90% горючих компонентов и является высококачественным сырьем для теплоэнергетики. По результатам выполненных экспериментов автор делает вывод, что плазменная технология переработки органических отходов является безотходной по существу (два основных продукта – синтез-газ и гранулированный шлак), экологически чистой (отсутствуют антропогенные выбросы, традиционные для сжигания – окислы азота и серы и летучая зола).

В заключении сформулированы основные полученные при выполнении диссертационного исследования результаты и обобщающие выводы .

#### **Общая методология и методика исследования.**

Методики исследования, применяемые автором диссертации, представляют собой совокупность теоретического и экспериментального подходов к изучению процессов горения и газификации углей и углеродсодержащих твердых топлив с использованием методов механоактивации и плазмохимических для интенсификации горения. Автор использовал как хорошо известные методики и стенд, так и разработанные им. Оригинальной является методика экспериментальных исследований воспламенения, горения и газификации пылевзвеси углей двух степеней помола (механоактивированного и после измельчений на шаровой барабанной



мельнице) в горелочных установках производительностью до 500кг/час с плазменным и ЗЗУ стартом применительно к процессам газификации во второй ступени камеры газификации с оптимизацией расходов углей двух ступеней помола. При выборе методик проведения экспериментов, аппаратуры и средств регистрации основных значимых факторов и характеристик исследуемых процессов горения и газификации автор диссертации использовал современные приборы и аппараты. При планировании экспериментов, их проведении и обработке результатов использовались принятые в последние десятилетия подходы. Анализ основных закономерностей исследовавшихся автором диссертации процессов горения и газификации твердых содержащих углерод топлив проведен с использованием современных представлений о процессах, протекающих в механоактивированных веществах и в низкотемпературной плазме. Необходимо отметить, что физические механизмы процессов термического разложения материалов и веществ в условиях (или после) высоких механических нагрузок изучены очень слабо. Поэтому автору диссертации пришлось работать в области науки, не доведенной пока до построения математических моделей, обеспечивающих достоверный прогноз характеристик горения механоактивированных веществ, например. В качестве основных объектов исследования автором выбраны достаточно типичные и распространенные угли и древесина (опилки), которая также достаточно типична для бытовых отходов на территории РФ. По результатам анализа и обобщения установленных в проведенных сложных и трудоемких экспериментальных исследованиях основных закономерностей исследовавшихся процессов Е.Б. Бутаков сформулировал выводы и положения, совокупность которых вместе с основными результатами его экспериментов можно квалифицировать как решение новой научно-технической задачи, имеющей существенное значение для теплотехники.

### **Научная новизна полученных результатов.**

Приведенные в рукописи диссертации защищаемые положения полностью соответствуют критерию новизны. Наиболее значимыми для науки и практики можно квалифицировать следующие:

1. Разработаны тепловые экспериментальные стенды (лабораторный и полупромышленный) для исследований процессов воспламенения, горения и газификации пылевидных твердых топлив с регистрацией основных характеристик исследовавшихся процессов.



2. Экспериментально установлены эффекты интенсификации процессов воспламенения и горения углей микропомола различных стадий метаморфизма после механоактивации.
3. В результате экспериментальных исследований динамики процессов воспламенения, горения механоактивированных углей микропомола определены характерные времена выхода процессов горения на автотермический режим в зависимости от температур, расходов топлива и окислителя для углей различной степени метаморфизма в достаточно широком диапазоне изменения режимов работы стендов.
4. Установлено, что воздушная газификация механоактивированного угля микропомола с плазменным управлением процессом является перспективной.
5. Для условий паровоздушной газификации угля установлены зависимости состава и теплоты сгорания синтез-газа от коэффициента убытка окислителя (воздуха) в достаточно широком (от 0,4 до 0,9) диапазоне его изменения и расхода водяного пара в поточном реакторе.
6. Установлена по результатам экспериментальных исследований на двухступенчатом стенде тепловой мощностью до 5МВт процессов горения и воздушной газификации каменного механоактивированного длиннопламенного Кузнецкого угля перспективность применения двухступенчатой системы, обеспечивающей возможность снижения затрат на микропомол в системах безмазутного розжига и подсветки.
7. Разработана и испытана экспериментальная электроплазменная установка для экологически чистой и безотходной переработки (и утилизации) органических отходов с полученным высококалорийного синтез-газа.
8. Разработан однокамерный электродуговой плазмотрон со ступенчатыми электродами, обеспечивающий нагрев воздуха при мощности 50 кВт и ресурсом работы до 1000 часов.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендации, сформулированных в диссертации.**

Достоверность полученных автором диссертации результатов определяется комплексом мероприятий, выполненных при проведении экспериментальных исследований, обработке результатов и их анализе. Автор диссертации сформулировал гипотезу о влиянии механоактивации



измельченного угольного топлива на его реакционную способность и обосновал ее результатами своих экспериментов. Последние выполнены с использованием современных подходов и методов, средств регистрации характеристик изучаемых процессов. Проведено также сопоставление результатов экспериментов по воздушной газификации механоактивированного угля микропомола с результатами численного моделирования этого процесса. Получено хорошее соответствие. Также достоверность выводов и защищаемых научных положений подтверждается успешными демонстрационными опытно-промышленными испытаниями по использованию механоактивированного угля микропомола в системе безмазутного розжига на котле ПК-40-1 производительностью 320т/ч пара на Беловской ГРЭС ОАО «Кузбассэнерго». Эти испытания продемонстрировали возможность замещения мазута механоактивированным углем микропомола при розжиге и стабилизации пылеугольного факела в котле. Проведена оценка эффективности проекта по переводу котла ПК-40-1 Беловской ГРЭС ОАО «Кузбассэнерго» с мазутной системы на технологию механоактивированного микропомола углей для розжига и подсветки. Все основные выводы и защищаемые положения сформулированы автором диссертации на основании анализа и последующего обобщения результатов выполненных им исследований. Основные результаты, полученные Е.Б. Бутаковым при выполнении им диссертационного исследования, апробировались на авторитетных международных и всероссийских конференциях.

#### **Практическая значимость.**

Результаты диссертационного исследования Е.Б. Бутаква имеют безусловное значение для практики, что подтверждается (в том числе) и соответствующими документами об их использовании на предприятиях энергетического комплекса. Автор обосновал возможность использования электроплазменных технологий для экологически чистой и безотходной переработки органических отходов с получением высококалорийного синтез-газа для дальнейшего использования в теплоэнергетике. Результаты исследований Е.Б. Бутаква представляют собой базу для проведения опытно-конструкторских работ по созданию технологий сжигания и газификации твердых органических топлив с механо- и плазмохимической активацией применительно к теплоэнергетике и получению топливного газа.



### **Замечания по диссертационной работе.**

1. В рукописи и автореферате диссертации отсутствует раздел, посвященный обоснованию достоверности полученных результатов, защищаемых положений и выводов. Основой диссертации Е.Б. Бутакова являются полученные им экспериментальные данные. При документировании таких результатов в виде статей, отчетов и диссертаций принято выполнять анализ погрешностей результатов измерений. В рукописи и автореферате рецензируемой диссертации по существу отсутствуют оценки систематических и случайных ошибок, неизбежных при проведении как лабораторных экспериментов, так и опытно-промышленных испытаний. Возможно, использовавшиеся автором методики и установки имеют необходимое метрологическое обеспечение, но об этом в рукописи и автореферате нет информации.
2. Автор провел достаточно сложные и трудоемкие эксперименты. Им получены интересные результаты. Но их представление в ряде случаев не соответствует современным требованиям. Так, например, на стр. 124 (первый абзац) написано «При наблюдении процесса горения топливного газа в дожигателе наблюдается периодическое увеличение и уменьшение яркости пламени ...». Иллюстрации, подтверждающие это результат, отсутствуют. На этой же странице приведены установленные в экспериментах зависимости состава синтез-газа от времени (рис.4.9). В тексте рукописи приводится такое описание рисунка: «Анализатор состава газов, установленный на выходе из камеры газификации, фиксирует периодическое изменение процентного содержания горючих компонентов в составе топливного газа». Но рис.4.9 не иллюстрирует периодичность изменения за время 100 минут концентрации  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$  в традиционном понимании смысла слова «периодичность». Приведенные на рис.4.9 зависимости можно назвать немонотонными, но не периодическими.

Кроме того, отсутствие в рукописи данных по случайным ошибкам измерений концентраций не дает возможности правильно интерпретировать рис.4.9. При относительных среднеквадратических отклонениях более 25%, что достаточно вероятно для измерений концентраций газов, зависимости рис.4.9 будут представлять собой линии, параллельные оси абсцисс.

На рис.1.1 (стр.14) значения функции (теплоты сгорания) и аргумента (массовой доли углерода и водорода) привязаны к осям координат не в



соответствии с общепринятыми нормами и правилами графического представления результатов научных исследований.

Рисунок 3.2 на стр.67 называется «Распределение температуры по длине в зависимости от времени на стенде 1 МВт ...». Но на рисунке приведены зависимости от времени температур при двух различных способах помола топлива.

3. Автор диссертации провел оценку экономической эффективности проекта по переводу котла ПК-40-1 Беловской ГРЭС ОАО «Кузбассэнерго» с мазутной системы розжига и подсветки на технологию замещения механоактивированным углем микропомола. Но анализ экономической эффективности гораздо более сложного проекта плазменной газификации углесодержащих твердых бытовых отходов не проведен.
4. К сожалению, для рукописи и автореферата характерным являются ошибки и опечатки при написании текста (их число, по мнению оппонента несколько превышает среднестатистические показатели таких ошибок). Так, например, даже в названии диссертации на титульной странице автореферата есть орфографическая ошибка (в рукописи ее нет). Есть досадные опечатки и в заключении (пункты 2,3).

Сделанные замечания не являются доминирующими при оценки научной и практической значимости диссертации Е.Б. Бутакова.

Автореферат диссертации соответствует рукописи. Материалы диссертационного исследования Е.Б. Бутакова хорошо опубликованы в научных периодических изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации материалов кандидатских диссертаций, хорошо апробированы на международных и всероссийских конференциях.

Диссертация Е.Б. Бутакова по своей цели, задачам, методам исследования, основным полученным результатам, защищаемым положениям, соответствует специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

### **Заключение о соответствии диссертации критериям.**

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации Бутакова Евгения Борисовича «Исследование горения и газификации органических топлив с механо- и плазмохимической активацией применительно к энергетике и получению топливного газа» можно сделать обоснованное заключение о ее соответствии требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 21.04.16 г. № 335) ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на



соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Бутаков Евгений Борисович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

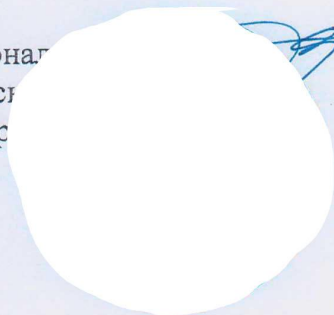
Официальный оппонент,  
Заведующий кафедрой теоретической  
и промышленной теплотехники  
Федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования  
Национального исследовательского  
Томского политехнического университета,  
доктор физико-математических наук,  
профессор

*Ген*  
09.11.2017 Кузнецов Гений Владимирович

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, д.30,  
ФГАОУ ВО НИ ТПУ  
E-mail: [marisha@tpu.ru](mailto:marisha@tpu.ru)  
Сайт: <http://tpu.ru/>  
тел.: 8(3822)606-248

Подпись Г.В. Кузнецова удостоверяю:

Ученый секретарь Национального  
исследовательского Томского  
политехнического университета



*Ананьева*

Ананьева Ольга Афанасьевна

*Поступил в Совет 20.11.17  
Уч. секр. ДС АИТ / Чигинцев ВВ*

*С ответом ознакомлен* *Бутаков Е.Б.*  
20.11.17