

**ОТЗЫВ**  
**официального оппонента**

на диссертацию Остапенко Дмитрия Валериевича на тему *«Повышение эффективности жаротрубного теплогенератора за счет улучшения конвективного теплообмена»* представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.03 – *теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение*

**Актуальность темы.** Энергетика является стратегически важной отраслью экономики любого государства. Развитие котлостроения, а также внедрение новых разработок и технологий при производстве теплогенерирующего оборудования способны укрепить позиции отечественного производителя в данной отрасли, что в свою очередь позволит составить достойную конкуренцию зарубежным производителям. Отечественные жаротрубные теплогенераторы не получили широкого распространения при строительстве новых и реконструкции существующих котельных нашего региона. Как показывают исследования, около половины установленных теплогенераторов произведены в Германии, Чехии и Италии. На отечественные теплогенераторы приходится примерно 20%.

Повышение энергетических характеристик жаротрубного теплогенератора позволит увеличить КПД отечественных теплогенераторов до уровня зарубежных, а более низкая стоимость оборудования и его обслуживания должна повысить спрос.

В отечественных жаротрубных теплогенераторах около 30% теплоты отдается в конвективном пакете, а температура продуктов сгорания на выходе из него достаточно высока и составляет в среднем 200<sup>0</sup>С. Поэтому возможно повышение энергетических характеристик за счет увеличения отбора теплоты в конвективной части теплогенератора.

Исходя из вышесказанного, представленная диссертационная работа является актуальной.

### **Основное содержание работы**

*В первом разделе* автор выполнил анализ текущего состояния существующих систем централизованного теплоснабжения. Выделил их преимущества и проявившиеся недостатки. На основании анализа возможных решений задачи по повышению качества услуг, предоставляемых теплоснабжающими организациями, предложил переход от централизованных систем теплоснабжения к децентрализованным с применением в качестве генератора теплоты жаротрубного котлоагрегата малой мощности. На основании анализа жаротрубных теплогенераторов, представленных на отечественном рынке, соискатель пришел к заключению, что одним из недостатков теплогенерирующего оборудования данного типа является недостаточно развитая конвективная часть. Для повышения конвективной составляющей в работе предложено применить турбулизатор потока, который устанавливается в конвективные трубки теплогенератора по всей их длине.

Анализ конструкций и характеристик жаротрубных теплогенераторов позволил выявить недостатки в их конвективной части, определить направление для их минимизации и поставить задачи исследований.

*Во втором разделе*, на основании анализа общепринятых методик расчета теплообмена в жаротрубных теплогенераторах, автором сделан вывод, что для котлов малой мощности, где интенсивность омывания конвективных поверхностей весьма значительна, пренебрежение конвективным теплообменом может привести к существенной погрешности. Использование нормативного метода теплового расчета котлоагрегата не позволяет достаточно надежно анализировать теплообменные процессы в жаротрубных элементах котлов малой мощности. Для обоснованного использования математической модели расчета интенсивности теплоотдачи в

жаровых трубках согласно данного метода проведены дополнительные исследования.

С целью изучения возможности зарастания конвективных трубок жаротрубного теплогенератора твердыми частицами, содержащимися в исходном топливе, автором впервые получена математическая модель движения этих частиц в жаровых трубках теплогенератора с использованием зависимости Клячко, которая позволяет оценить время разгона частиц различного размера до величины скорости потока, а также определить расстояние на котором произойдет стабилизация движения данной частицы.

По-моему раздел 2.1 содержит обзорно-аналитический материал и его следовало бы разместить в разделе 1.

*В третьем разделе* приведена методика проведения эксперимента, а также результаты экспериментальных исследований тепловых и аэродинамических характеристик в конвективных трубках жаротрубного теплогенератора с применением турбулизатора потока с различными геометрическими характеристиками, выполненных автором. Исследования проводились на опытной установке жаротрубного теплогенератора, которая обеспечивала возможность измерения температур и давления на входе в конвективные трубки и на выходе из них. Получены зависимости изменения температуры уходящих продуктов сгорания, давления в конвективных трубках, коэффициента теплоотдачи конвекцией, скорости потока, турбулентной вязкости в зависимости от геометрических параметров принятого турбулизатора потока.

В результате теоретических и аналитических исследований автором получено уравнение коэффициента теплоотдачи конвекцией от продуктов сгорания к стенке конвективной трубки с установленным турбулизатором потока в виде ломаной линии по всей ее длине с учетом турбулентной вязкости.

Вместе с тем разделы 3.4 и 3.5 перенасыщены известными классическими положениями и подробными выкладками.

*В четвертом разделе* автор провел исследования загрязнения приземного слоя атмосферы выбросами группы автономных источников теплоснабжения. В качестве объекта был взят микрорайон «Зеленый» города Макеевка. Расчет рассеивания выполнен с использованием программного комплекса ЭОЛ-Плюс, позволяющего оценить уровень загрязнения приземного слоя атмосферы и определив концентрацию вредных веществ.

Проведенные исследования загрязнения приземного слоя атмосферы микрорайона города позволили получить результаты, которые показывают, что при работе котельных на природном газе превышения концентраций вредных веществ не наблюдается.

По-моему раздел 4.1 можно было значительно сократить и объединить с разделом 4.2.

*В пятом разделе* диссертации автором определена экономическая эффективность применения турбулизатора потока в конструкции жаротрубного теплогенератора КВ-ГМ-1,6-95СН. Даны рекомендации по конструктивным особенностям турбулизатора потока в виде ломаной линии для жаротрубного теплогенератора. Рассмотрен вариант децентрализации системы теплоснабжения микрорайона «Зеленый», где для покрытия тепловой нагрузки района в 105 МВт предусматривалась установка 17 автономных котельных различной мощности взамен централизованной системы теплоснабжения. Даны рекомендации по размещению автономных источников теплоснабжения с экологической точки зрения в зависимости от компоновки жилого района.

За счет установки турбулизатора рост КПД теплогенератора составил 2% до значения в 94%, что позволило сократить расход природного газа для котла работающего в номинальном режиме на 16,7 тыс. м<sup>3</sup> за отопительный период в условиях Донецкого региона. Для обеспечения максимального эффекта от турбулизатора потока получены его оптимальные геометрические параметры.

## **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Необходимая степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, полученных автором, определяется правильным выбором методологии исследования, в которой применены известные методы математического моделирования и регрессионного анализа, сопоставлением и анализом полученных результатов с экспериментом.

Для получения зависимостей автор использовал традиционные методы анализа законов классической теории теплообмена. Для получения математической модели движения твердой частицы в конвективных трубках жаротрубного теплогенератора с целью изучения возможности их зарастания, автор использовал классическое уравнение движения.

Из вышесказанного следует, что научные положения, выводы и рекомендации, полученные соискателем в работе, являются достаточно обоснованными.

## **Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций базируется на использовании тарированных контрольно-измерительных приборов и оборудования, верифицированных и сертифицированных компьютерных программ, сопоставлении и анализе полученных результатов с экспериментом.

Впервые разработана математическая модель движения твердой частицы с использованием критерия Клячко в газоходах жаротрубного теплогенератора, которая позволяет определить время пребывания частицы в любой точке контура жаротрубного теплогенератора.

На основании теоретических и экспериментальных исследований получено уточненное соотношение для определения коэффициента теплоотдачи конвекцией от продуктов сгорания к стенке трубы в жаровых

трубках теплогенератора с турбулизатором потока в виде ломаной линии с учетом турбулентной вязкости.

Задачи, поставленные автором в работе, с точки зрения научной и практической ценности соответствуют уровню кандидатской диссертации.

### **Замечания по работе**

По представленной диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В первом разделе некорректно сформулирована задача касательно математической модели движения частиц. В работе указано: «разработать математическую модель движения частиц в конвективных трубках теплогенератора с целью недопущения их зарастания», но математическая модель позволяет изучить, исследовать или проанализировать условия, при которых происходит зарастание конвективных трубок, но не предотвратить зарастание.

2. Первый пункт новизны требует уточнения. При этом неясно, какие методы (аналитические, экспериментальные, численные и т.п.) получили дальнейшее развитие при определении коэффициента теплоотдачи.

3. В работе нет обоснования по определению диапазона мощностей для теплогенераторов «малой мощности».

4. При разработке математической модели движения твердых частиц в газоходах теплогенератора не указано, в какой части котла исследуется движение этих частиц.

5. Нет анализа факторов, влияющих на теплообмен и оценки их влияния (стр. 70 раздел 3.4).

6. Результаты измерений, представленных на графиках (раздел 3), приведены без указания доверительных интервалов.

7. В настоящее время существует ряд математических моделей для описания процессов конвективного теплообмена в турбулентном потоке, в том числе «k-ε» модель. В диссертации ничего об этом не сказано.

8. Непонятно каким образом получена зависимость для числа Нуссельта (3.49) для конвективных трубок с турбулизатором.

9. Все-таки не ясно на базе какой математической модели соискатель выполнял расчеты процессов загрязнений атмосферы дымовыми газами.

10. Автор рекомендует изготавливать турбулизатор из нержавеющей стали толщиной 3 мм. Каким примерно будет расход металла на турбулизаторы в процентах от расхода на трубы конвективного пакета и насколько при этом увеличится материалоемкость котлоагрегата после его усовершенствования?

Указанные недостатки не снижают высокой оценки рецензируемой работы и должны послужить импульсом к дальнейшей работе над весьма актуальной задачей по повышению характеристик жаротрубных теплогенераторов.

### **Заключение**

В целом, несмотря на отмеченные недостатки и замечания, представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему, связанную с повышением энергетической эффективности жаротрубного теплогенератора отечественного производства, результаты которой возможно применить как для улучшения характеристик проектировании теплогенераторов, так и при модернизации уже существующих.

По содержанию диссертационная работа отвечает паспорту специальности 05.23.03 - теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, а именно в части:

- совершенствование, оптимизация и повышение надежности систем теплогазоснабжения, отопления, вентиляции и кондиционирования, методов

их расчета и проектирования. Использование нетрадиционных источников энергии.

Учитывая актуальность выполненных исследований, научную новизну и практическую значимость полученных результатов считаю, что представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Остапенко Дмитрий Валериевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук специальности 05.23.03 – теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

Официальный оппонент

профессор кафедры физики неравновесных процессов,  
метрологии и экологии,

Донецкого национального университета

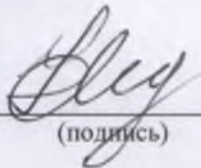
д.т.н., профессор,

83001, г. Донецк, ул. Университетская, 24,

+38(062)3020600

donnu.canc@mail.ru

http://donnu.ru/



Недопекин Федор Викторович

(подпись)

ПОДПИСЬ *Недопекина Ф.В.*  
УДОСТОВЕРЯЮ  
НАЧАЛЬНИК  
ОТДЕЛА КАДРОВ ДонНУ

*М.Н. Михальченко*  
11.05.15

ПОДПИСЬ  
ЗАВЕРЯЮ



УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ

М.Н. МИХАЛЬЧЕНКО