

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Начкебия Натальи Сергеевны на тему «Обоснование рациональных параметров теплообменных насадок компактных регенеративных горелок», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника (технические науки)

### **Актуальность темы исследования**

Использование остаточного тепла от продуктов сгорания, выходящих из рабочего пространства нагревательной печи, активно внедряется в промышленности. Чаще всего для этой цели применяют крупные отдельно расположенные теплообменники. Интеграция теплообменника и горелочного устройства в единый агрегат даёт сразу два преимущества: повышает энергоэффективность и позволяет сэкономить производственное пространство за счёт отказа от дополнительных установок.

Несмотря на очевидные преимущества, регенеративные горелки пока не получили повсеместного распространения. Главные причины этого – высокая цена зарубежных моделей и отсутствие российских аналогов. Кроме того, иностранные производители не раскрывают ключевые рабочие параметры и методики их расчёта. В настоящее время отсутствует общепринятая методика расчёта насадок для регенеративных горелок.

Поэтому диссертационное исследование Начкебия Н.С. «Обоснование рациональных параметров теплообменных насадок компактных регенеративных горелок» имеет высокую актуальность.

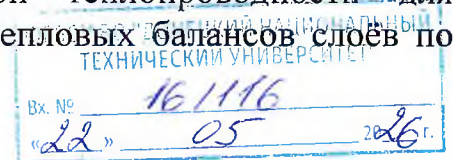
### **Содержание и структура работы**

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения и трех приложений.

**Первый раздел** посвящен анализу существующих научных и технических решений в сфере определения и оптимизации параметров регенеративных горелок. На основе анализа теплообменных процессов в насадках и их технологических и конструктивных параметров сформулированы цель и задачи исследования. Отмечено, что большинство существующих работ опираются на математическое моделирование для решения отдельных задач, что мешает созданию универсальной расчётной методики для проектирования. Также рассмотрены известные математические модели исследования теплообменных насадок регенеративных горелок.

**Во втором разделе работы** отражены методологические основы проведения научных исследований, направленных на решение поставленных в диссертации задач.

Разработана математическая модель теплообменных процессов в шариковой насадке компактной регенеративной горелки. Модель учитывает термическую массивность элементов насадки через решение дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности для шариков каждого слоя и основана на анализе тепловых балансов слоев по



высоте насадки.

В разделе также представлены данные о способе обработки результатов численных экспериментов, установлена зависимость параметра, характеризующего изменение температуры продуктов сгорания на выходе из насадки, от критериев подобия, определяющих теплообменные процессы в устройстве, описана лабораторная установка кафедры «Техническая теплофизика» ДонНТУ, созданная для проверки достоверности математической модели.

**Третий раздел диссертации** посвящен результатам исследования теплообменных процессов в насадках регенеративных горелок и экспериментальному подтверждению адекватности разработанной математической модели.

Проведена проверка гипотез А.Б. Бирюкова о расчётной методике теплообменных процессов: подтверждена гипотеза об экспоненциальной зависимости изменения температуры воздуха во времени; опровергнута гипотеза о зависимости изменения температуры продуктов сгорания – вместо неё установлена логарифмическая зависимость.

Также в разделе определены критериальные уравнения для расчёта коэффициентов зависимостей для воздуха и продуктов сгорания, подтверждено соответствие полученных результатов реальным процессам.

**В четвертом разделе** рассмотрены вопросы определения времени перекидки клапанов, определения конструктивных размеров шариковой регенеративной насадки и оценки экономического эффекта от внедрения регенеративных горелок на производстве.

Установлено, что конструктивные параметры компактной насадки сильно зависят от температурного напора между продуктами сгорания и материалом насадки. Произведенные оценки показали, что влияние времени перекидки клапанов на параметры насадки вторично по сравнению с температурным напором.

С помощью уточнённой расчётной методики обосновано, что:

- рациональная скорость теплоносителя составляет 1,3 – 2,3 м/с;
- оптимальное соотношение  $H/D$  находится в диапазоне 1,35 – 2,6.

Рассчитан экономический эффект от внедрения систем регенеративного отопления на типовой большегрузной печи с выкатным подом (грузоподъёмность подины – 120 т), используемой на машиностроительных предприятиях для работы с большими кузнечными слитками: экономия топлива – около 2500 м<sup>3</sup>/цикл нагрева, капиталовложения для одной печи – 5,5 млн. рублей, срок окупаемости – около 6 месяцев.

В качестве приложений добавлены копии документов о внедрении диссертационной работы в учебный процесс, научную тему и на предприятии НПО «Ясиноватский машиностроительный завод» с целью определения рациональных параметров регенеративных горелок для их дальнейшего внедрения в условиях кузнечно-прессового цеха.

Диссертационная работа хорошо структурирована, написана технически грамотным и доступным языком. Текст изложен последовательно. Иллюстрации, представленные в работе, достаточно информативны и аккуратно оформлены. Содержание автореферата отражает основные положения и выводы диссертационной работы.

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

Высокий уровень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций обеспечен:

- корректной постановкой задач и обоснованными допущениями;
- достаточным объёмом и согласованностью теоретических и экспериментальных данных;
- сопоставлением результатов с работами других авторов по этой теме.

Исследование отличается научной новизной благодаря оригинальным решениям. Методология основана на системном подходе: разработана математическая модель, верифицированная с помощью специальной экспериментальной установки. На всех этапах для аппроксимации результатов и подтверждения адекватности зависимостей применялись методы математической статистики.

### **Замечания**

К диссертационной работе есть ряд замечаний:

1. Исследование ограничено шариковыми засыпками, хотя современные насадки могут быть выполнены из стержней, сотовых конструкций и т. д. Этот аспект не рассмотрен.

2. В работе использованы шарики диаметром 20 мм из корунда (основной материал) и стекла (для эксперимента), но отсутствует анализ влияния других диаметров (10, 15, 25 мм) на ключевые параметры: высоту насадки, гидравлическое сопротивление, время перекидки. Вывод о рациональном диапазоне  $H/D$  сделан без учёта возможного изменения диаметра шариков, хотя это критически важный конструктивный параметр.

3. Экспериментальная установка имитирует только дымовую фазу работы регенеративной горелки, но не учитывает воздушную фазу.

4. При моделировании и расчётах использованы теплофизические характеристики только корунда. Целесообразно было бы провести аналогичные расчёты для других материалов.

5. В диссертации сравнение полученных зависимостей проведено лишь с гипотетическими формулами из методики и собственными экспериментами. Отсутствует сопоставление с результатами других известных моделей, включая современные подходы (метод конечных элементов, CFD-моделирование), упомянутые в обзоре литературы.

Несмотря на замечания, представленная работа заслуживает положительной оценки.

### **Заключение по диссертационной работе**

Диссертационная работа Начкебия Натальи Сергеевны на тему «Обоснование рациональных параметров теплообменных насадок

компактных регенеративных горелок» является законченной научной работой, в которой решена актуальная научно-техническая задача, имеющая важное значение для повышения энергоэффективности высокотемпературных нагревательных печей. Работа соответствует паспорту научной специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника (технические науки), а также удовлетворяет требованиям пунктов 9, 10, 11, 12.1, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 с изменениями (в редакции от 16.10.2024). Соискатель Начкебия Наталья Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника (технические науки).

**Официальный оппонент:**

Доктор физико-математических наук, специальность 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», профессор по кафедре «Теоретические основы теплотехники и гидромеханика», заведующий кафедрой «Теоретические основы теплотехники и гидромеханика» (ТОТИГ) СамГТУ, в.н.с. молодёжной лаборатории «Молодёжная опытно-промышленная лаборатория «Нефтегазовые технологии производства водорода и графита»

Кудинов Василий Александрович

Я, Кудинов Василий Александрович, даю согласие на автоматизированную обработку моих персональных данных, указанных в отзыве, и размещение их на сайте ФГБОУ ВО ДонНТУ.

(дата) 19.05.2026г

(подпись)

Адрес: 443100, Самарская область, город Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244

Тел.: 8 (846) 332-42-44

E-mail: totig@samgtu.ru

Подпись Кудинова В.А. *зуберия*  
Проректор по научной работе

А.В. Еремкин