

## ОТЗЫВ

Официального оппонента кандидата технических наук,  
доцента Нешпоренко Евгения Григорьевича на диссертацию  
Перевезенцева Григория Александровича  
«Повышение энергетической эффективности нагревательных печей  
при нагреве насыпных садок», представленную на соискание ученой  
степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 –  
«Промышленная теплоэнергетика»

Диссертационная работа Перевезенцева Григория Александровича посвящена разработке методики повышения эффективности работы нагревательных печей при нагреве насыпных садок. Нагревательные печи являются основным звеном металлообрабатывающей, машиностроительной и других отраслей промышленности. Нагрев металла в печах это одна из наиболее длительных и энергоемких стадий промышленного производства. Повышение энергетической эффективности данной стадии можно включить в разряд **актуальных** научных проблем, требующих решения.

В настоящее время цифровые технологии являются неотъемлемым инструментом научных исследований, которые на основе математической модели процесса позволяют решать задачи тепломассообмена в геометрически сложных объектах. В результате исследований автором разработана и представлена методика моделирования процессов теплообмена в насыпных садках при их нагреве в термических печах с использованием САД-пакета, на основе сформулированной автором работы новой математической модели процесса нагрева насыпной садки.

В основу методики положен фрактальный подход, позволяющий унифицировать внутреннюю структуру геометрии насыпной садки как пористого тела. За основу модели принята «губка Менгера». Определены параметры, необходимые для замены реального пористого тела

эквивалентной фрактальной моделью. Построены графические зависимости параметров пористой структуры, позволяющие корректно подобрать фрактальную модель насыпной садки имеющей свойства самоподобия, использование которой позволяет решить задачу определения теплофизических свойств насыпных садов без физических экспериментов. Методика опробована для расчета температурных полей насыпных садов, нагреваемых в термической печи. Результаты работы могут быть использованы для математического моделирования пористых тел при их нагреве в теплотехнологических установках.

Для подтверждения математической модели были произведены и представлены результаты серии опытов по нагреву насыпных садов. Рассчитаны их энергетические балансы. Выявлены оптимальные режимы. Получена полиномиальная зависимость удельных энергетических затрат от массового расхода воздуха. Установлено, что интенсификация нагрева насыпных садов возможна за счет организации фильтрации газа через садку. На эффективность процесса теплообмена оказывает влияние скорость фильтрации и гидродинамическое сопротивление садки.

**Научная значимость** исследований связана с разработкой методики, позволяющей производить расчет тепломассообменных процессов в нагревательных печах при нагреве насыпных садов, с учетом величин порозности и гидродинамического сопротивления.

Автором получены **новые экспериментальные данные** по динамике температурных полей насыпных садов, отличающихся друг от друга величиной порозности. **Предложена модель**, при которой реальную насыпную садку предлагается заменить на эквивалентную фракталоподобную структуру, построенную на основе 3-х мерного фрактала «Губка Менгера». Полученная методика отличается **новизной** и позволяет производить расчет процессов теплообмена и массообмена в пористых структурах, не используя при этом эффективные теплофизические коэффициенты. Результаты, полученные при

математическом моделировании теплообменных процессов в насыпных садках, согласуются с проведенными экспериментальными исследованиями, а также находятся в согласии с результатами, полученными другими авторами. На основе предлагаемой методики автором предложен вариант модернизации нагревательной печи с подподовыми топками.

**Практическая значимость результатов заключается в следующем:**

1. Произведено уточнение математического описания нагрева насыпных садков в термических печах. Садка, состоящая из хаотично расположенных деталей, заменена твердым телом, имеющим фрактальную структуру, построенным на основе фрактала «губки Менгера».

2. Разработанная методика расчета может быть использована при выполнении режимно-наладочных работ применительно к термическим печам с насыпными садками.

3. Получены результаты экспериментальных исследований изменения температурных полей при нагреве насыпных садков, с различной величиной порозности, при отсутствии и при наличии фильтрации теплоносителя через садку.

4. Разработана программа, при помощи которой на основе предложенной методики расчета осуществляется поиск рациональных режимов нагрева насыпных садков в термических печах.

5. Предложена полезная модель термической печи, позволившая повысить ее эффективность при сохранении качества нагрева по сравнению с базовым вариантом. Получен акт внедрения полезной модели и патент на полезную модель.

**Достоверность** полученных результатов работы подтверждается использованием апробированных методов математического моделирования; совпадением экспериментальных данных с результатами расчета показателей работы оборудования; сравнением полученных результатов с работами других авторов, использованием результатов

лабораторных экспериментов, полученных с применением стандартизированных методов и аттестованных средств измерения.

Основные результаты и выводы, приведенные в диссертации, докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях и опубликованы в 6 статьях, в журналах, рекомендованных ВАК.

Замечания и комментарии:

1. На основе каких положений или параметров исследуемой системы принята форма базового фрактала в виде параллелепипеда?
2. В качестве заготовок, из которых состоит насыпная садка, приводятся стальные цилиндры, кольца и шурупы. Будет ли изменяться форма фрактальной структуры при использовании других заготовок, отличных от округлой формы?
3. Каким образом определяется площадь поверхности пор при определении эффективного размера пор?
4. Не ясно влияет ли ранг фрактальной модели на скорость движения газообразного теплоносителя и соответственно на интенсивность теплообмена при его фильтрации.
5. Чем объясняется излом линии графика зависимости величины падения давления для садки с заданной величиной её порозности (рис. 4.11)?

Следует отметить, что автором уже давно ведутся как теоретические, так и практические всеобъемлющие исследования применения фрактальных структур в теории совершенствования теплообмена в термических печах с насыпными садками. Сделанные замечания носят уточняющий и редакционный характер и не влияют на общую положительную оценку работы. Характеризуя ее в целом можно, сказать, что настоящая диссертация является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную научную тему.

Результаты, вынесенные на защиту, полностью отражены и обоснованы в диссертации. Работа апробирована на российских и международных конференциях. Основные результаты опубликованы в научной печати в рецензируемых изданиях из перечня ВАК.

Автореферат диссертации полностью соответствует ее содержанию. Квалификация Григория Александровича Перевезенцева соответствует уровню кандидата наук. Диссертационная работа «Повышение энергетической эффективности работы нагревательных печей при нагреве насыпных садов» и её автореферат отвечают всем требованиям, соответствует требованиям пунктов 9-11 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика за разработку метода повышения эффективности работы нагревательных печей на основе новой эффективной методики замены насыпной садки фракталоподобной структурой.

#### **Официальный оппонент:**

Заведующий кафедрой «Теплотехнических и энергетических систем» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кандидат технических наук по специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика, доцент

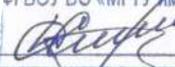
Нешпоренко Евгений Григорьевич

Тел. +7 (3519) 29-84-21

E-mail: neshporenkoeg@mail.ru

Почтовый адрес: 455000, г. Магнитогорск

5.2022г.

**ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ**  
начальник отдела делопроизводства  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»  
  
Д.Г. Семенова

а, д. 38