

***Мафуми Грас***

*аспирант, кафедра Промышленная теплоэнергетика,*

*Московский политехнический университет,*

*РФ, г. Москва*

***Усанова Ольга Юрьевна,***

*научный руководитель, к.т.н., доцент, профессор.,*

*Московский политехнический университет,*

*РФ, г. Москва*

***Марюшин Леонид Александрович***

*заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика».,*

*Московский политехнический университет,*

*РФ, г. Москва*

## **МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ**

## **ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

### **АННОТАЦИЯ**

В статье представлено методы исследования оптимальных геометрических решений. Рассмотрены разные методы, которые могут быть аналитическими, численными или экспериментальными. Также для решения задач оптимизации геометрии применяется программное обеспечение. Используются разные методы, которые могут быть аналитическими, численными или экспериментальными. Также для решения задач оптимизации геометрии применяется программное обеспечение. Особое внимание уделено метод последовательных приближений. Проведён системный обзор подходов к разработке критериальных уравнения конвективного теплообмена, учитывающих изменяемые свойства на разных масштабах, а также представлены результаты моделирования и их физическая интерпретация. Сделаны выводы о применимости рассматриваемых моделей и перспективах их дальнейшего развития для инженерной практики и научных исследований.

### **ABSTRACT**

The article presents research methods for optimal geometric solutions. Various methods are considered, which can be analytical, numerical or experimental. Software is also used to solve geometry optimization problems. Different methods are used, which can be analytical, numerical or experimental. Software is also used to solve geometry optimization problems. Special attention is paid to the method of successive approximations. A systematic review of approaches to the development of criterion equations of convective heat transfer, taking into account variable properties at different scales, is carried out, as well as modeling results and their physical interpretation are presented. Conclusions are drawn about the applicability of the models under consideration and the prospects for their further development for engineering practice and scientific research

**Ключевые слова:** Свободная конвекция , ламинарный режим течения флюида, переходный и турбулентный режимы течения, критериальные уравнения, теплопроводность, коэффициентов теплоотдачи.

**Keywords:** Free convection, laminar fluid flow regime, transient and turbulent flow regimes, criterion equations, thermal conductivity, heat transfer coefficients.

**Введение:**

**Цель:** Рассмотрены разные методы, которые могут быть аналитическими, численными или экспериментальными. Также для решения задач оптимизации геометрии применяется программное обеспечение.

**задачи исследования:** Экспериментальные исследования помогают определить оптимальные характеристики теплопередающих поверхностей. эмпирические уравнения, которые определяют **средний коэффициент конвективной теплоотдачи**. Они получаются экспериментальным путём и представляют собой зависимость между критериями подобия, характеризующими процесс.

## Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования помогают определить оптимальные характеристики теплопередающих поверхностей, например:

- ✓ **Исследование оребренных плоских теплообменных труб.** Проводят эксперименты с различными образцами секций, отличающимися шагом и высотой рёбер, шириной секции трубы, высотой плоской трубы и количеством внутренних каналов. Устанавливают эффективность каждой секции по таким показателям, как тепловая мощность, тепловая эффективность, удельное термическое сопротивление теплопередаче. Например, в исследованиях показывают, что максимальное значение критериев эффективности наблюдается у образца с наибольшей высотой (0,008 м) и минимальным шагом рёбер (0,0025 м).
- ✓ **Исследование теплообмена при кипении на спеченных капиллярно-пористых поверхностях.** Проводят эксперименты в диапазоне тепловых потоков 0,1–64 Вт/м и давлений насыщения 0,48–1,08 МПа. Устанавливают, что нанесение покрытия устраняет элемент неустойчивости (переходную область) кипения, и конвективный режим теплообмена практически сразу переходит в развитое пузырьковое кипение.
- ✓ **Исследование теплоотдачи при естественной конвекции около горизонтального цилиндра.** Проводят эксперименты с различными геометрическими параметрами рабочего участка ( $d$ ,  $L$ ,  $\delta$ ) и режимами нагрева. Сопоставляют результаты экспериментов с расчётными данными.

**Критериальные уравнения (уравнения подобия) конвективного теплообмена** — это эмпирические уравнения, которые определяют **средний коэффициент конвективной теплоотдачи**. Они получаются экспериментальным путём и представляют собой зависимость между критериями подобия, характеризующими процесс.

Некоторые критерии, которые входят в уравнения:

- ✚ **Критерий Нуссельта** — безразмерный коэффициент теплоотдачи, характеризует соотношение между интенсивностями конвективной теплоотдачи и теплопроводности в пограничном слое потока.

$N_u = \alpha \cdot l_0 / \lambda$  - критерий Нуссельта (безразмерный коэффициент теплоотдачи), характеризует теплообмен между поверхностью стенки и жидкостью (газом);

- ✚ **Критерий Грасгофа** — критерий термогравитационной конвекции, характеризует соотношение сил молекулярного трения и подъёмной силы, обусловленной различием плотностей в различных точках.

$Gr = (\beta \cdot g \cdot l_0^3 \cdot \Delta t) / \nu^2$  - критерий Грасгофа, характеризует подъемную силу, возникающую в жидкости (газе) вследствие разности плотностей;

- ✚ **Критерий Рейнольдса** — критерий режима течения, характеризует гидродинамический режим потока и определяет соотношение в нём сил инерции и молекулярного трения.

$Re = w \cdot l_0 / \nu$  - критерий Рейнольдса, характеризует соотношение сил инерции и вязкости и определяет характер течения жидкости (газа);

- ✚ **Критерий Прандтля** — критерий подобия температурных и скоростных полей, характеризует меру подобия скоростных и температурных полей, а также свойства теплоносителей.

$Pr = \nu / a = (\mu \cdot c_p) / \lambda$  - , характеризует физические свойства жидкости (газа);

$l_0$  – определяющий размер (длина, высота, диаметр).

## Виды

Критериальные уравнения могут быть для разных видов конвективного теплообмена, например:

- **Свободная конвекция** — уравнение  $Nu = f(Gr, Pr)$ .
- **Вынужденная конвекция** (ламинарный режим течения флюида) — уравнение  $Nu = f(Gr, Re, Pr)$ .
- **Вынужденная конвекция** (переходный и турбулентный режимы течения) — уравнение  $Nu = f(Re, Pr)$ .

При построении модели и обработке результатов эксперимента в виде критериальных формул необходимо задать определяющие параметры, которые прямо или косвенно входят в критерии подобия. В стационарных задачах конвективного теплообмена к определяющим параметрам относят: определяющий размер ( $R_0$ ), определяющую температуру ( $T_0$ ) и в задачах вынужденной конвекции — определяющую скорость ( $w_0$ ).

## Результаты и обсуждение:

Разработка и использование экспериментальные исследования помогают определить оптимальные характеристики теплопередающих поверхностей, оптимизировать состав и структуру новых материалов, повысить их надежность и эффективность. При построении модели и обработке результатов эксперимента в виде критериальных формул необходимо задать определяющие параметры, которые прямо или косвенно входят в критерии подобия. В стационарных задачах конвективного теплообмена к определяющим параметрам относят: определяющий размер ( $R_0$ ), определяющую температуру ( $T_0$ ) и в задачах вынужденной конвекции — определяющую скорость ( $w_0$ ). Дальнейшее развитие этого направления связано с интеграцией мультифизических подходов, искусственного интеллекта для автоматической оптимизации состава и структуры, а также расширением экспериментальной базы для генерации новых материалов с уникальными теплофизическими характеристиками.

#### Список литературы:

1. Горобец В. Г. Сравнительный анализ теплоотдачи и гидравлического сопротивления пучков труб с оребрением различного типа // Труды конференции РНКТ-2006. — Т.6. — с. 182–186.
2. Крюкова К. В., Маслов Н. А., Цынаева А. А. Численное моделирование теплообмена в плоском канале // Вопросы современной науки: новые достижения. — 2018. — С. 9–13.
3. Акаро И.Л. Разрезка проката и труб на заготовки под штамповку. — М.: МАМИ, 1972. — 132 с.
4. Андерсон Д., Таннехил Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: в 2 т. / пер. с англ. — М.: Мир, 1990. — 384 с.
5. Жаворонок, С. И., Курбатов, А. С., Рабинский, Л. Н., Соляев, Ю. О. Современные проблемы моделирования теплопереноса в технологических процессах селективного лазерного спекания и сплавления // Теплофизика высоких температур. - 2019. - Т. 57, № 6. - С. 919-952.

6. Зарубин, В. С., Кузьмина, К. С., Яковлев, М. Е. Разработка математических моделей нестационарных термомеханических процессов в консолидированных микро- и наноструктурных, а также структурно-чувствительных материалах, и развитие методов их численного анализа с использованием средств высокопроизводительной вычислительной техники : промежуточный отчет / В. С. Зарубин, К. С. Кузьмина, М. Е. Яковлев ; Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет). - Москва, 2016. - 45 с.

7. Попов, Д. А., Рудик, М. А., Подзолков, А. С. Влияние теплоэкранирующего эффекта масел на возможность возникновения заеданий в подвижных сопряжениях транспортных машин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. - 2020. - Т. 8, № 1 (48). - С. 135-139.

8. Кунтыш В.Б., Бессонный А.Н. и др. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения. СПб.: Недра, 1996. 512 с.