

## **МОДИФИКАЦИЯ Y-СИСТЕМЫ ПОВЕРХНОСТИ РАДИАТОРА ДИНАМИЧЕСКИМ МАСШТАБИРОВАНИЕМ: ИССЛЕДОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ СТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООБМЕНА**

**Любимов П. В.<sup>1</sup>, Новотельнова А. В.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Новотельнова А. В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

pavel.lyub@yandex.ru

### **Введение**

На замену традиционным вариантам орebrения приходят биомиметические поверхности и фрактальные структуры, эффективность которых обусловлена сложной неинвариантной структурой, построенной на основе природного образчика. Совпадение целевых функций образчика и объекта внедрения позволяют достигать высокой эффективности, в особенности, в приложении к теплообменным поверхностям. Наиболее известная дендритная Y-система позволяет максимизировать равномерность температурного поля на площади теплообмена [1, 2]. Рекурсивно возрастающая сложность как один из основных факторов превосходной способности к эффективному распределению тепла, также накладывает ограничения характерные для многих фрактальных структур, выраженные в предельном уровне рекурсии ввиду наличия пересечений, также для классической системы для заполнения поверхности необходима радиальная ориентация нескольких ветвей. Основываясь на определениях и методах описания фрактальных структур, представленных основателем фрактальной геометрии Бенуа Мандельбротом, мы расширяем семейство Y-структур до симметричных динамически масштабируемых структур, предлагаем соответствующий инициатор и динамический генератор [3].

### **Основная часть**

Для построения инициаторов дендритных фракталов использованы параметрические уравнения, для построения рекурсивного алгоритма применены возможности языка R. Для построения математических моделей и проведения моделирования условий теплообмена применялись средства и возможности САПР – SolidWorks и ANSYS. Изначально был построен альтернативный дендритный инициатор, H-инициатор, с углом раствора в 90 градусов, в рекурсивный алгоритм была введена вектор-строка с коэффициентами масштабирования и с задержкой на уровнях 0-1 для развертки ориентации ветвей. Для нашей H-модели были получены эскизы поверхности теплообмена для уровней 4-8, в соответствии с полученными эскизами построены модели радиаторов. Для группы H-радиаторов проведено исследование эффективности в условиях нестационарного теплообмена. Для каждой модели задавалось решение задачи нестационарного теплообмена в отсутствии внешнего холодного источника и в присутствии плоского теплового источника мощностью 50 Вт длительностью теплообмена 500 секунд. Снятые параметры соответствуют всем граням ребристой части, включая боковые грани основания. По результатам анализа можно однозначно подтвердить, что симметричное ветвление H-системы с вектором переменных масштабных коэффициентов позволяет получить поверхность с невероятно низким значением коэффициента неравномерности, также отмечается изменение динамики показателей эффективности при увеличении глубины рекурсии, в сравнении с классической Y-системой четвертого уровня рекурсии также наблюдалось более низкое значение коэффициента неравномерности, наиболее оптимальным вариантам оказалась модель с пятью уровнями рекурсии, предлагая компромиссное решение по коэффициенту температурной неравномерности и коэффициенту теплоотдачи.

Следующая часть моделирования проведена в два этапа, для условий стационарного теплообмена, были выбраны несколько моделей классической Y-системы и H-системы. Граничные условия первого этапа определены как: два твердотельных алюминиевых тела радиатор и горячий источник, плотность теплового потока в объемном источнике соответствует мощности в 50 Вт, свободные грани радиатора в условиях естественной конвекции с коэффициентом теплоотдачи  $22 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ , при температуре воздуха 25 °C. Второй этап при тех же граничных условиях, с телом источником, покрывающим всю грань контакта, тогда как в первом этапе источник имел меньшую площадь и был центрирован. Для сравнительного анализа в моделях заложено одинаковое число рекурсии и площадь поверхности теплообмена.

По результатам моделирования, оценке температурных полей, основных температурных точек и коэффициента Пирсона, рассчитанного для цельного участка пути рекурсии и отдельно по каждому уровню, эффективность классической Y-системы оказалась чуть выше, температура поверхности ниже на 0,8%, квадрат коэффициента Пирсона по всему тепловому пути ветви остался выше также у классической системы 0,95 против 0,98, однако при дроблении участка и оценке каждого уровня оказалось, что на одном уровне H-модели в условиях первого этапа этот коэффициент значительно ниже – 0,76, что внесло существенный вклад в отрицательный рост. Для тех же условий обоих этапов было проведено моделирование для максимального уровня рекурсии H-модели, полученного нами, для которой эффективность в сравнении с четвертым уровнем Y-системы оказалась на порядок выше, что достигнуто благодаря наращиванию сложности, что более было бы невозможно для классической системы, не сталкиваясь с пересечениями и нежелательными перекрытиями.

#### **Выводы**

В значительной степени на невысоких уровнях рекурсии классическая Y-система остается чуть более эффективной, однако сложности с пересечениями, перекрытиями и однонаправленным вектором роста ветви не позволяют эффективно развивать поверхность дальше, что возможно применением H-системы. Дальнейшее исследование должно быть направлено на реализацию полной группы исследований валидного эксперимента для сложных поверхностей, мы в значительной степени выполнили часть при равной площади поверхности теплообмена, соблюдая качество геометрии, компенсируя недостаток площади классической системы высотой стенок. При фиксированном уровне рекурсии, высоте и толщине стенок исследование не проведено. Также, возможно, стоит уделить большее внимание фрактальному алгоритму и вектору масштабирования, пересмотр его элементов, вероятно, может ориентировать геометрию по квадратной и прямоугольной границам, тогда как в нашем случае граница рекурсии только прямоугольная, для классической системы при радиальной ориентации она в форме окружности. Из вышесказанного, совокупное использование обеих этих систем покрывает большую часть поверхностей, требующих дополнительного теплоотвода.

#### **Литература**

1. Li J., Xi L., Li Y., Liu M., Sun X., Sun X., Zhang Q. Numerical study on the energy storage/release performance of vertically oriented latent heat storage unit enhanced by improved tree-shaped fins // *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2025. Vol. 165 (Part A). 109006. DOI: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2025.109006.
2. Huang Y., Liu X. Charging and discharging enhancement of a vertical latent heat storage unit by fractal tree-shaped fins // *Renewable Energy*. 2021. Vol. 174. P. 199–217. DOI: 10.1016/j.renene.2021.04.066.
3. Фрактальная геометрия природы / Б. Б. Мандельброт ; перевод с английского А. Р. Логунова. — Москва : Институт компьютерных исследований, 2010. — 656 с. : ил. — ISBN 978-5-93972-872-0