

Т. 90. № 4. - С. 331-334.

2. Мищенко С.В. Математическое моделирование процесса отверждения изделий из полимерных композиционных материалов методом вакуумного автоклавного формования в технологическом пакете / С. В. Мищенко, О. С. Дмитриев, А. В. Шаповалов, В. Н. Кириллов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. - 2001. - Т. 7, №1. - С. 7-19.

3. Dmitriev O.S. Thermo-chemical analysis of the cure process of thick polymer composite structures for industrial applications / O. S. Dmitriev, A. A. Zhyvenkova, A. O. Dmitriev // Advanced Materials and Technologies. – 2016. - № 2. – P. 53-60.

4. Дмитриев О.С. Моделирование теплофизических характеристик полимерных композитов в процессе отверждения / О. С. Дмитриев, А. А. Барсуков, Д. Я. Баринов // Теплофизика и аэромеханика. - 2024. - Т. 31. № 2. - С. 355-370.

5. Живенкова А.А. Алгоритмическое и программное обеспечение информационно-измерительной системы исследования теплофизических характеристик полимерных композитов в процессе отверждения / А. А. Живенкова, О. С. Дмитриев // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2014. – Т. 54. № 4. – С. 212-217.

УДК 542.455

А.Е. Хусанов, доц., канд. техн. наук;
И.Ю. Иристаев, специалист ВУК;
Д.М. Кенжебеков, докторант
(ЮКУ им. М.Ауэзова, Казахстан)

МУЛЬТИФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКА ТРУБА В ТРУБЕ С ТУРБУЛИЗАТОРОМ ПОТОКА РАЗЛИЧНОГО ПРОФИЛЯ

В последнее время для повышения эффективности работы теплообменного оборудования применяются пакеты CFD моделирования. Для моделирования теплообменника применялась программа Comsol Multiphysics. Программа является мощным инструментом для решения задач мультифизического моделирования, который предоставляет широкие возможности для анализа сложных инженерных систем [1,2].

Преимуществом применения CFD моделирования является визуализация течения потоков внутри аппарата.

Визуализация потока позволяет детально изучить распределение скорости теплоносителей, давления, температуры в различных зонах

теплообменника и обнаружить зоны с высокими потерями энергии и застойные зоны аппарата [2].

Одним из перспективных направлений по повышению эффективности теплообменников является применение завихрителей теплоносителя. Применение завихрителя способствует улучшению теплообмена за счет увеличения турбулентности внутри трубки.

В случае моделирования теплообменника труба в трубе с завихрителем потока программа предоставляет возможность учитывать взаимодействие различных физических процессов включая гидродинамику, теплообмен, механическое и химическое взаимодействие [2,3].

Теплообменник типа труба в трубе с витым завихрителем потока представляет собой интересный конструктивный подход, который способствует увеличению эффективности работы теплообменного аппарата. Применение пакета программы для анализа теплообменника теплообмена типа труба в трубе с завихрителем теплоносителя способствует повышению эффективности аппарата, улучшив характеристики и снизить эксплуатационные расходы [3].

Целью работы является моделирование теплообменника труба в трубе с завихрителем теплоносителя разного профиля, влияние формы завихрителя на эффективность теплообмена.

Моделирования экспериментального аппарата начинается с построения геометрии исследуемого аппарата. Геометрия аппарата приведена на рисунке 1.

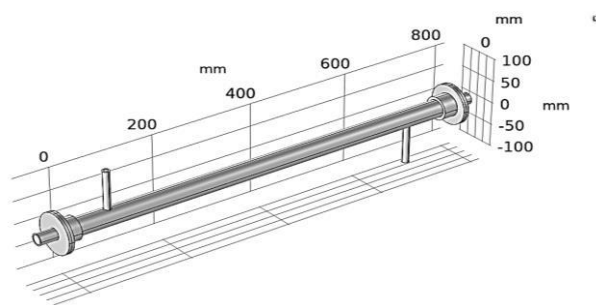


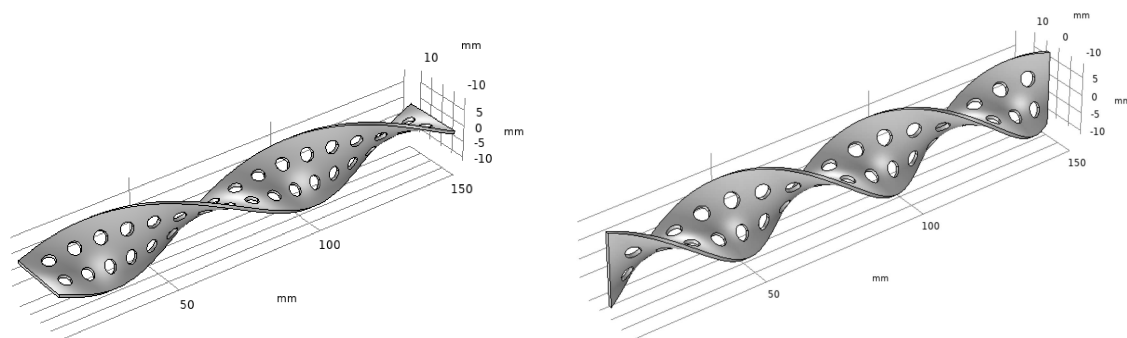
Рисунок 1 – Теплообменник труба в трубе

Турбулизатор потока представляет собой плоскую стальную ленту с изгибом, геометрия завихрителей представлена на рисунке 2. Для моделирования использовались два типа завихрителя, с изгибом в 360 и с изгибом 540. Оба турбулизатора расположены во внутренней трубке аппарата.

В качестве материала для корпуса аппарата и витой ленты использовалась сталь марки Steel AISI 4340. Горячим теплоносителем

использовалось растительное масло а для охлаждения применится вода.

В программу интегрированы необходимые формулы и закономерности. Для исследования гидродинамики используется формулы, основанные на уравнениях Навье – Стокса.



а – профиль 360

б – профиль 540

Рисунок 2 – Турбулизаторы потока

В ходе моделирования теплообмена было использовано две физики. Для описания течения жидкости внутри аппарата laminar flow, а для моделирования теплообмена Heat transfer in fluid and solid [4,5]:

$$\rho(u * \nabla)u = \nabla * [-pI + K] + F \quad (1)$$

где: ρ – плотность жидкости, кг*м³; u – вектор скорости, м/с; ∇ – оператор градиента, который применяется к вектору скорости u ; p – давление жидкости, Па; I – единичная матрица (тензор единичного порядка); K – тензор вязкости, Па*с; F – внешние силы (сила тяжести).

Скорость горячего теплоносителя составляло: $v_1 - 0,1$ м/с; $v_2 - 0,5$ м/с; $v_3 - 1$ м/с; $v_4 - 1,5$ м/с; $v_5 - 2$ м/с.

Уравнения применимое в физике Heat transfer in fluid and solid (2) описывает процесс теплообмена в жидкости и в твердом материале. Выражение помогает понять, как скорость, плотность потока и температура теплоносителей влияют на эффективность теплообмена [4,5]:

$$\rho C_p * u * \nabla T + \Delta q = Q + Q_{tem} \quad (2)$$

где: C_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении, Дж/(кг*К); ∇T – градиент температуры, К/м; Δq – изменение теплового потока, Дж/с; Q – общий источник тепла, Вт; Q_{tem} – дополнительный источник теплоты, Вт.

На рисунке 3 приводятся результаты моделирования теплообмена с завихрителем в 360 градусов. Высокая степень охлаждения потока отмечается при скорости масла в 0,1 м/с. Снижение температуры

составило на 18,5С. При этом холодная вода нагрелась на 17,6С. Скачкообразное изменение линии температуры на графике говорит о завихрении теплоносителя внутри трубы.

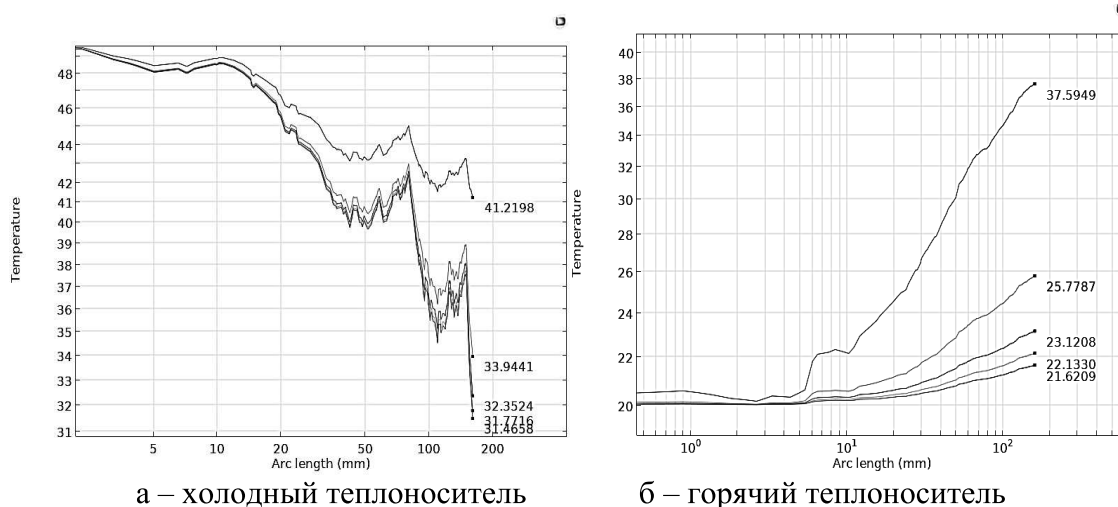


Рисунок 3 – Результаты теплообмена с турбулизатором в 360 градусов

На рисунке 4 приведены результаты моделирования с турбулизатором в 540 градусов. Высокая эффективность теплообмена отмечается при скорости потока в 0,1 м/с и 0,5 м/с. Температура при 0,1 м/с снизилась практически в 2 раза, при 0,5 м/с на 13С. Холодный теплоноситель повысился на 16С. Как видно из результатов моделирования наиболее эффективным типом завихрителя является лента с изгибом в 540.

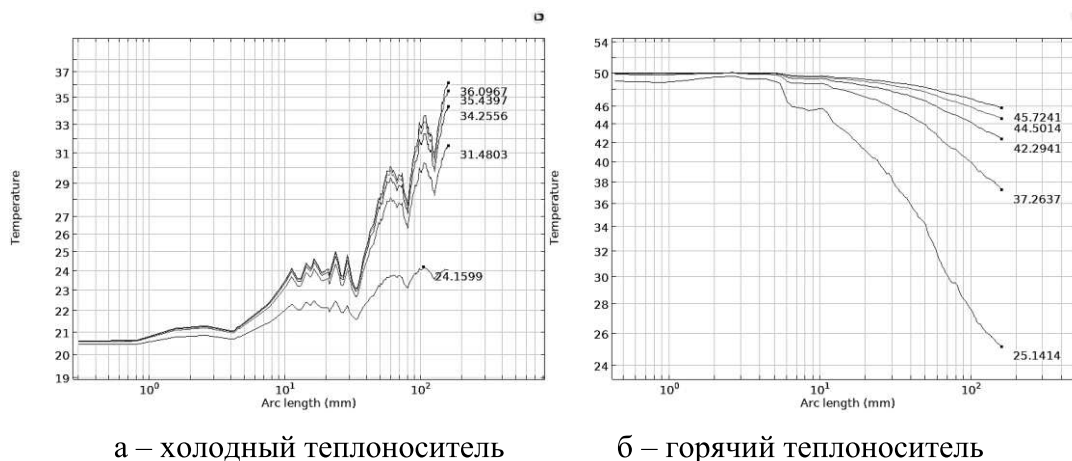


Рисунок 4 – Результаты теплообмена с турбулизатором в 540 градусов

Турбулизатор с изгибом профиля в 540 градусов создает более сильную турбулентность по сравнению с профилем изгиба в 360 градусов. Угловой изгиб в 540 градусов приводит к более длинному пути, по которому проходит горячий теплоноситель. Это увеличивает время

контакта рабочего вещества с холодными и горячими поверхностями теплообменника, что способствует к более эффективному теплообмену.

При изгибе в 540 градусов значительно снижается вероятность возникновения застойных зон, которые возникают у профиля в 360 градусов. Зоны с низкой или с нулевой скоростью приводят к снижению эффективности теплообмена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курушин А.А. Решение мультифизических СВЧ задач с помощью САПР COMSOL – М., «One-Book», 2016 – 376с.
2. Benmbarek, M., Moujaes, S. F. CFD Analysis of Heat Transfer Enhancement for Twisted Tape Inserted in spirally Corrugated Tubes. 2023, 2023090195. <https://doi.org/10.20944/preprints202309.0195.v1>
3. Kenzhebekov D.M., Khussanov A.Ye., Iristaev I., Zholshybek A., Dzhanabayev D.Zh. Multiphysical modeling of a pipe-in-pipe heat exchanger with a flow intensifier in the form of a twisted profiled strip. News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan series chemistry and technology ISSN 2224–5286 Volume 4. Number 461 (2024), 111–128 <https://doi.org/10.32014/2024.2518-1491.254>.
4. Comsol multiphysics reference manual. 2019 – 200с.
5. Heat transfer module user's guide. 2019 – 788с.