



ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
VI ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

[Главная](#)

[Содержание](#)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»
Институт энергетики

ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
VI ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

8-10 декабря 2021 года

Памяти доктора технических наук, профессора В.Г. Каширских

Конференция проводится в рамках проведения Года науки и технологий в Российской Федерации и празднования 300-летия Кузбасса

Кемерово 2022

© КузГТУ, 2022

ISBN 000-0-00000-000-0

УДК 532.517, 621.565.93/.95

А.И. ХАЙБУЛЛИНА, к.т.н., доцент (КГЭУ)
А.Р. ХАЙРУЛЛИН, аспирант (КГЭУ)
Р.Р. КАЙБЫШЕВА, студент гр. ЭОм-1-21 (КГЭУ)
г. Казань

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ

Последние десятилетия для расчетов теплообменного оборудования стали широко применяться численные методы, реализованные в различных программных продуктах вычислительной гидродинамики. Использование численных методов позволяет отказаться от дорогостоящих экспериментальных исследований. Позволяет рассчитать гидродинамические и теплообменные характеристики теплообменных оборудования, которые затруднительно получить при проведении эксперимента. Несмотря на продвижения в этой области, наиболее важной и сложной проблемой является поиск подходящих моделей турбулентности. Обычно выделяют DNS, LES, RANS методы моделирования турбулентных потоков [1, 2].

В данной работе исследованы различные RANS модели турбулентности для расчета теплообменных характеристик в кожухотрубных теплообменных аппаратах. Для расчета течений жидкости теплообмена в пучках труб была построена математическая модель в программе Ansys Fluent [3]. Для построения геометрии был выбран графический редактор Design Modeler. Модель представляла собой семирядный пучок труб, с диаметром трубок $D=0,01$ м и с безразмерным продольным поперечным шагом трубок S/D равным 1.3 (рис.1).

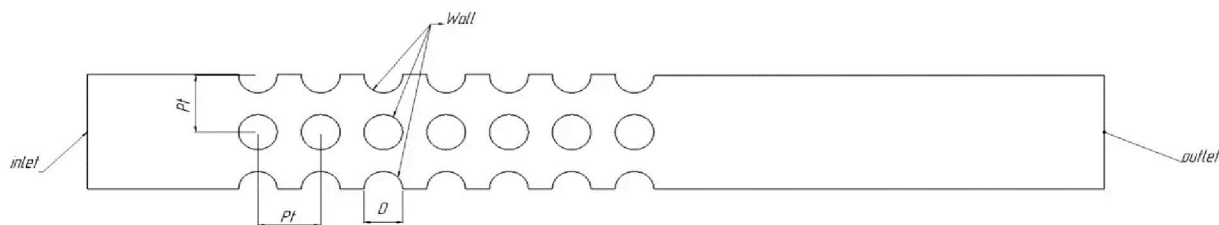


Рис.1. Расчетная область математической модели

В работе производится численное моделирование теплообмена для пучка труб и сравнение полученных данных с экспериментом [4]. Имитация потока производится для чисел Re от 1000 до 10200. Число Pr соответствует значению 7,22 для всех случаев моделирования. Теплофизические свойства

жидкости постоянны. Плотность $\rho = 996,6 \text{ кг/м}^3$, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,612 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$, теплоемкость $c_p = 4176,3 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$, динамическая вязкость $\mu = 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$. При моделировании использовались 4 модели турбулентности: SST, RNGk-eSWF, RNGk-eEWF и SSTk-omega. Моделирование проводилось на 5 сетках (рис.2 а, б) M1=50293 элементов, M2=96899 элементов, M3=192435 элементов, M4=155349 элементов, M5= 308447 элементов. Моделирование осуществляется с помощью метода моделирования URANS.

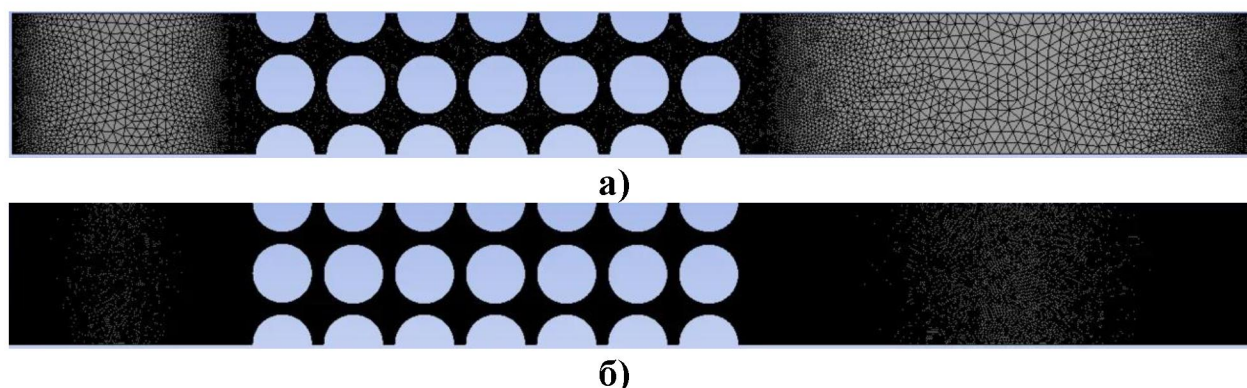


Рис. 2. Сетки для коридорного семирядного пучка
а) грубая сетка (50293 элемента)
б) мелкая сетка (308447 элементов)

При проверке сеточного решателя была выбрана сетка M2 с 96899 элементов. При дальнейшем увеличении разбиения сетки число Нуссельта изменяется в пределах 1%. Среди рассмотренных моделей турбулентности наилучшее совпадение с экспериментальными данными показала модель RNGk-eEWF (расхождение с экспериментальными данными составило менее 5%) (рис.2). Наибольшее расхождение с экспериментальными данными показала модель RNGk-eSWF (рис.3).

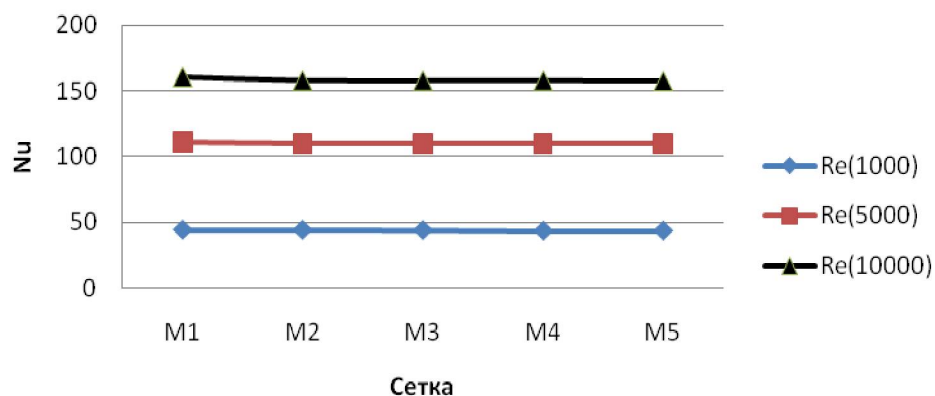


Рис. 2. Зависимость числа Нуссельта от 5 разных вариантов сеточного решателя для модели турбулентности RNGk-eEWF

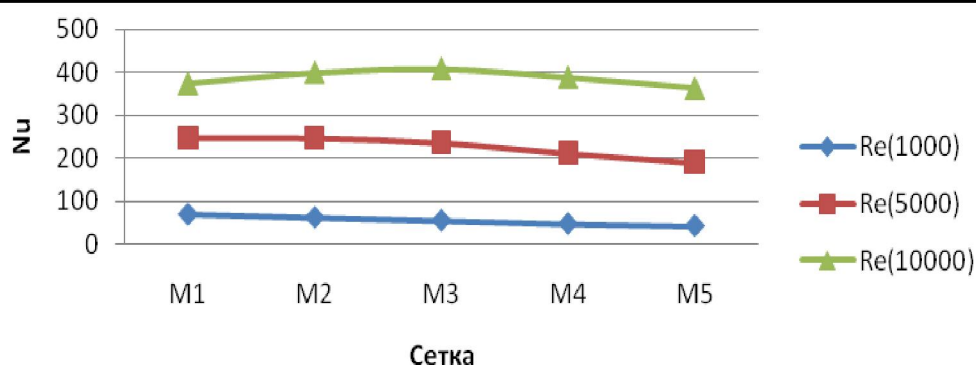


Рис.3. Зависимость числа Нуссельта от 5 разных вариантов сеточного решателя для модели турбулентности RNGk-eSWF

Были получены осредненные и локальные данные по теплоотдаче для SST, RNGk-eSWF, RNGk-eEWF и SSTk-omega моделей турбулентности на пяти сетках. При анализе данных по теплоотдаче по поверхности трубки можно сделать вывод, что наибольшие величины числа Nu наблюдаются в лобовой и кормовой части трубки. Самыми проблемными зонами является лобовая часть трубки, соответствующая углу 0° , а также кормовая область трубки, соответствующая значению 180° . Полученная качественная картина течения потока скорости и температурных полей отражает распределение скорости в межтрубном пространстве. Качественная картина течения согласуется с количественными значениями локальных характеристик теплообмена. Застойные зоны в межтрубном пространстве соответствуют минимальным значениям теплоотдачи по периметру трубки (рис. 4, 5).

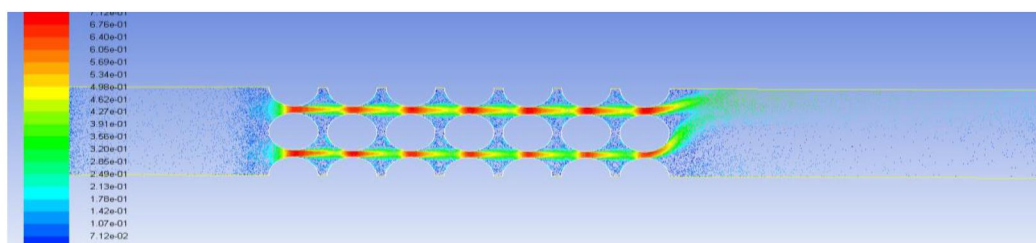


Рис.4. Вектор скорости для модели турбулентности RNGk-eEWF при Re=5000

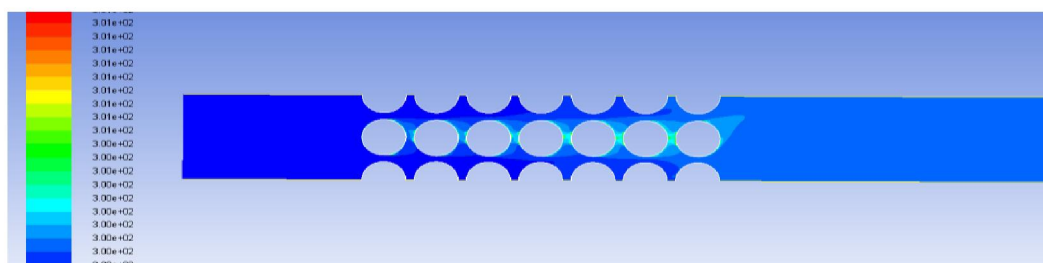


Рис. 5. Температурное поле для модели турбулентности RNGk-eEWF при Re=5000

На рис. 6 представлены зависимости числа Nu от угла взаимодействия с потоком жидкости для чисел $Re = 10200$ для 6 ряда.

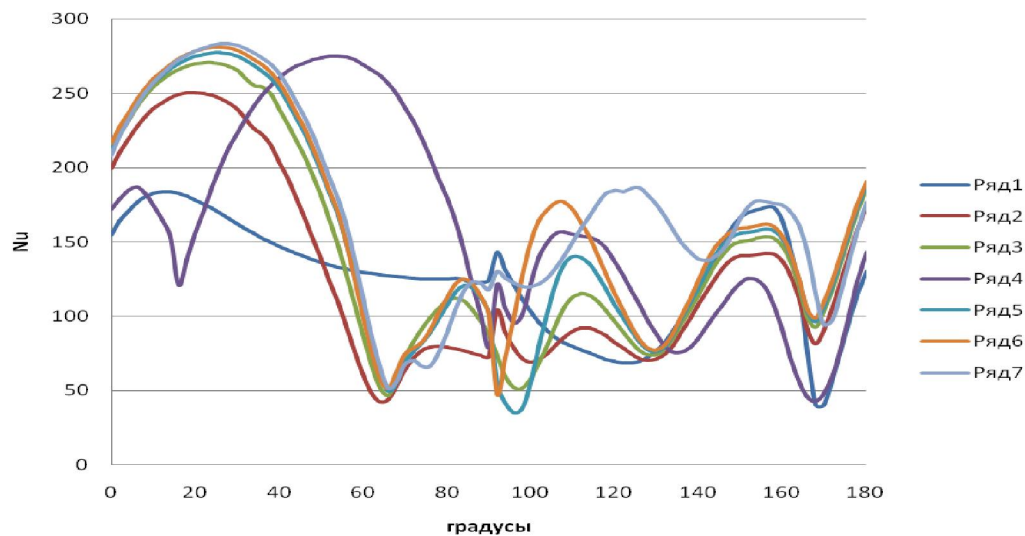


Рис.6. Зависимость числа Nu от угла соприкосновения с потоком для модели RNGk- ϵ EWF при числе $Re=10200$.

Из рис. 6 видно, что максимальные значения теплоотдачи наблюдаются при угле от 10° до 28° . Также число Nu увеличивается от 160° . Из этого можно сделать вывод, что максимальная теплоотдача происходит в лобовой и кормовой части трубки. Минимумы наблюдаются при угле 0° . Для этих зон для улучшения теплоотдачи необходимо применить различные средства интенсификации теплообмена.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10406, <https://rscf.ru/project/21-79-10406/>.

Список литературы:

1. Волков К., Емельянов В. Моделирование крупных вихрей в расчетах турбулентных течений. Litres, 2018. С 368.
2. Hayrullin A.R., Haibullina A.I. and Ilyin V.K. Large-Eddy Simulations of Heat Transfer in the Tube Bundle. 2021 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 720 URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/720/1/012037.
3. ANSYS FLUENT, ANSYS, Inc. Southpointe, 2018.
4. Современные теплообменные аппараты [Электронный ресурс] URL: media.ls.urfu.ru/592/1610/3827/5173/ (дата обращения: 07.10.2021).

Информация об авторах:

Хайбуллина Айгуль Ильгизаровна, к.т.н., доцент кафедры «Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений» КГЭУ, 420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д.51, haybullina.87@mail.ru

**VI Всероссийская научно-практическая конференция
«ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»**

149-5

8-10 декабря 2021г.

Хайруллин Айдар Рафаэлевич, аспирант кафедры «Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений» КГЭУ, 420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д.51, kharullin@yandex.ru

Кайбышева Рушания Радамировна, студент гр. ЭОм-1-21 кафедры «Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений» КГЭУ, 420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д.51, kalipco199@gmail.com