

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

ВЕРИФИКАЦИЯ МЕТОДИКИ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В КОЛЬЦЕВЫХ КАНАЛАХ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

Захаров Владислав Александрович

*аспирант Омского Государственного Технического Университета,
РФ, г. Омск*

E-mail: zaxarovvlad71@mail.ru

VERIFICATION METHODS A NUMERICAL STUDY OF HEAT TRANSFER IN THE ANNULAR CHANNELS OF THE HEAT EXCHANGER

Vladislav Zakharov

*postgraduate student of Omsk State Technical University
Russia, Omsk*

АННОТАЦИЯ

Разработана методика численного исследования для определения коэффициента теплоотдачи в кольцевом канале теплообменного аппарата в программном продукте Ansys. Методика состоит из двух этапов: построение сеточной модели для области жидкости в Ansys ICEM CFD и определение коэффициента теплоотдачи в Ansys CFX. Выполнена верификация полученных результатов с экспериментальными данными.

ABSTRACT

The method of numerical research for determining the heat transfer coefficient in the annular channel of the heat exchanger in the Ansys software product is developed. The method consists of two stages: construction of a grid model for the liquid region in Ansys ICEM CFD and determination of the heat transfer coefficient in Ansys CFX. The results obtained were verified with experimental data.

Ключевые слова: теплообмен, кольцевой канал, методика, Ansys CFX.

Keywords: heat transfer, annular channel, method, Ansys CFX.

В химической, нефтеперерабатывающей, и других областях промышленности широко используются теплообменники, в которых жидкость (газ) движется в кольцевом пространстве, образованном двумя коаксиально расположенными цилиндрами. Совершенствование таких устройств требует изучения специфических течений, которые являются разновидностью вихревых и закрученных потоков. В

данной методике рассмотрим задачу течения неизо- термическое вязкой жидкости (газа) в непроницаемых гладких границах кольцевой области при наличии осевого и окружного вынужденного движения жидкости, обусловленного вращением внутреннего цилиндра.

Верификация численной методики представлена на примере объекта, расчётная схема которого изображена на рисунке 1.

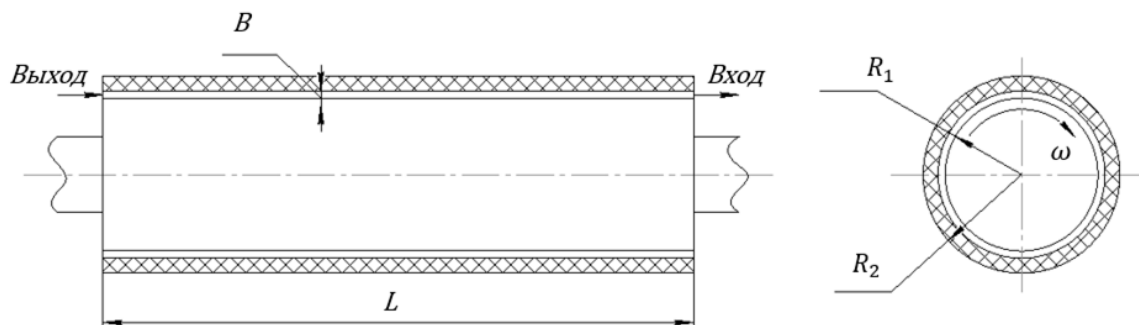


Рисунок 1. Расчётная схема теплообменного аппарата

Опытная установка имеет следующие геометрические параметры (1):

$$B/R_1 = 0,271; L/2 \cdot B = 40 \quad (1)$$

Граничные условия: на входе задаётся массовый расход среды, а на выходе статическое давление (1 атм.). Для стенки кольцевого зазора, образованной поверхностью внутреннего цилиндра задаётся угловая скорость, условие прилипания и параметр шероховатости; на стенке кольцевого зазора, образованной поверхностью внешнего цилиндра – условие проскальзывания.

Для проведения теоретических испытаний используется воздух при температуре 30°C. При обработке опытных данных для воздуха принято $Pr = 0,7$, а суммарный коэффициент теплоотдачи равен половине коэффициента теплоотдачи на поверхности внутреннего цилиндра.

В качестве использования RANS модели турбулентности выберем SST, которая сочетает в себе лучшие свойства $k - \omega$ модели в пристеночной области и преимущества $k - \epsilon$ модели вдали от стенок. Главной трудностью при использовании модели SST является необходимость использования достаточно мелких сеток в окрестностях стенок.

Построение сетки для области жидкости реализовано в приложении Ansys ICEM CFD. Построение

выполнено блочным методом с использованием структурированной гексаэдрической сетки. Преимущество использования структурированной сетки: быстрое изменение параметров сеточной модели, удобный и детальный контроль создания сетки. После построения блочной структуры выполнено конвертирование в неструктурированную гексаэдрическую сетку.

Для оценки размера первой пристеночной ячейки в радиальном направлении (рисунок 2а) используется безразмерный параметр, который определяется следующими формулами (2):

$$y^+ = \frac{Re \cdot \sqrt{\frac{C_f}{2}}}{\delta} \cdot \Delta y, C_f = \frac{0,455}{(\ln(0,06 \cdot Re))^2} \quad (2)$$

где Δy – размер первой пристеночной ячейки; y^+ – безразмерный параметр; C_f – коэффициент поверхностных напряжений трения; Re – критерий Рейнольдса.

Безразмерный параметр y^+ , рассмотренный при верификации методики, варьируется в диапазоне от 1 до 50. Коэффициент роста ячеек принят равным – 1,2; рост ячеек – линейный.

Конечно-элементарная сетка в азимутальном (рисунок 2а) и осевом направлениях (рисунок 2б) – равномерная, количество элементов в этих направлениях принимается равным 2 ячейки на 1 мм.

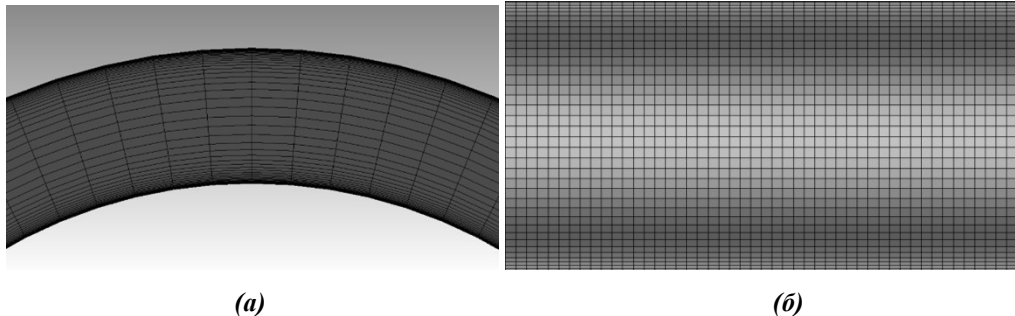


Рисунок 2. Сеточная модель потока: (а) – радиальное и азимутальное направление; (б) – осевое направление

Расчёт проводится в 2 этапа [2] в программе Ansys CFX. На первом этапе задаются граничные условия и производится расчёт. После получения первичных результатов, необходимо произвести корректировку граничных условий. Для этого определяется усреднённая температура на всей поверхности жидкости и задаётся экспертным параметром в граничных условиях. Далее расчёт выполняется второй раз.

Для верификации полученных результатов с экспериментальными данными воспользуемся уравнениями (3):

$$\alpha = \frac{Nu^* \cdot \lambda}{2 \cdot \nu}, Ta = \frac{\omega}{\vartheta} \cdot R_1^{0,5} \cdot B^{1,5}, Nu^* = \frac{Nu}{Pr^{1/3}} \quad (3)$$

где Nu^* – модифицированное число Нуссельта, α – суммарный коэффициент теплоотдачи, ν – коэффициент кинематической вязкости, λ – коэффициент теплопроводности, ϑ – линейная скорость, ω – угловая скорость.

На рисунке 3 представлена оценка адекватности предложенной методики на основе экспериментальных данных, представленных в работе [1], при $Re = 3 \cdot 10^4$, $Ta = 10^2 \dots 10^4$.

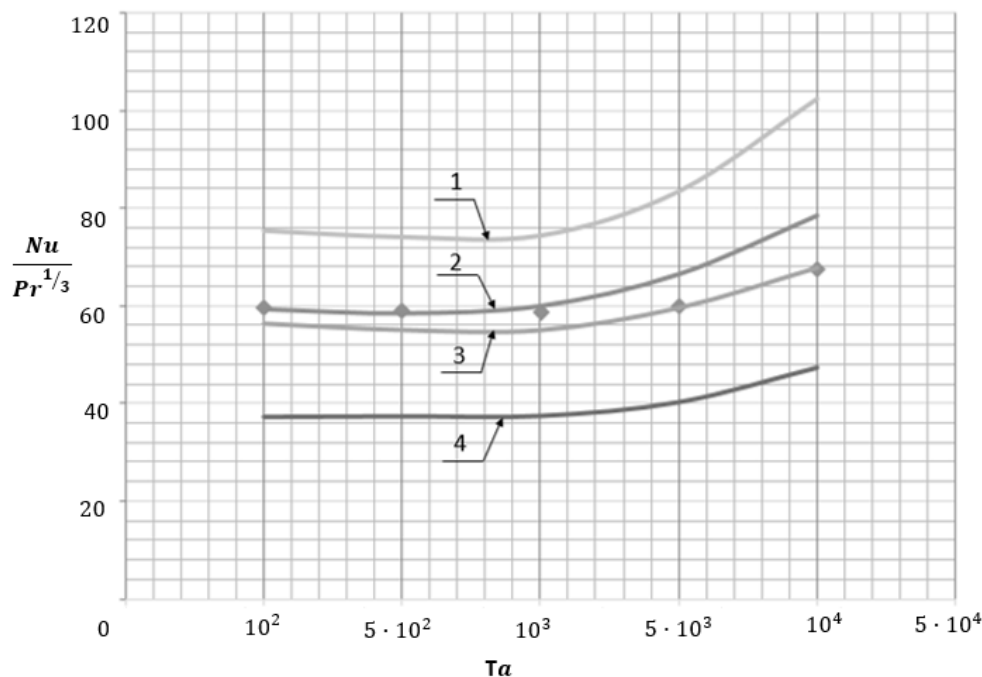


Рисунок 3. Результаты исследования теплообмена в кольцевом канале с внутренним вращающимся цилиндром

- ◆ - экспериментальные данные [1]; 1 – численный расчёт при $y^+ = 50$;
 2 – численный расчёт при $y^+ = 10$; 3 – численный расчёт при $y^+ = 5$;
 4 – численный расчёт при $y^+ = 1$

В результате выполненных исследований установлено, что для расчёта кольцевых каналов с вращающейся внутренней стенкой предложенная численная методика наиболее сопоставима с

экспериментальными данными при $y^+ = 5$; коэффициент роста ячеек 1,2; модель турбулентности SST, при этом погрешность численных расчётов не превышает 5%.

Список литературы:

1. Костерин С.И., Финатъев Ю.П. Исследование теплообмена турбулентного потока воздуха в кольцевом зазоре между вращающимися коаксиальными цилиндрами // ИФЖ. – 1962. – №8. – ТОМ 5. – С. 911–918.
2. Щукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил – М.: Машиностроение, 1980. – 240 с.