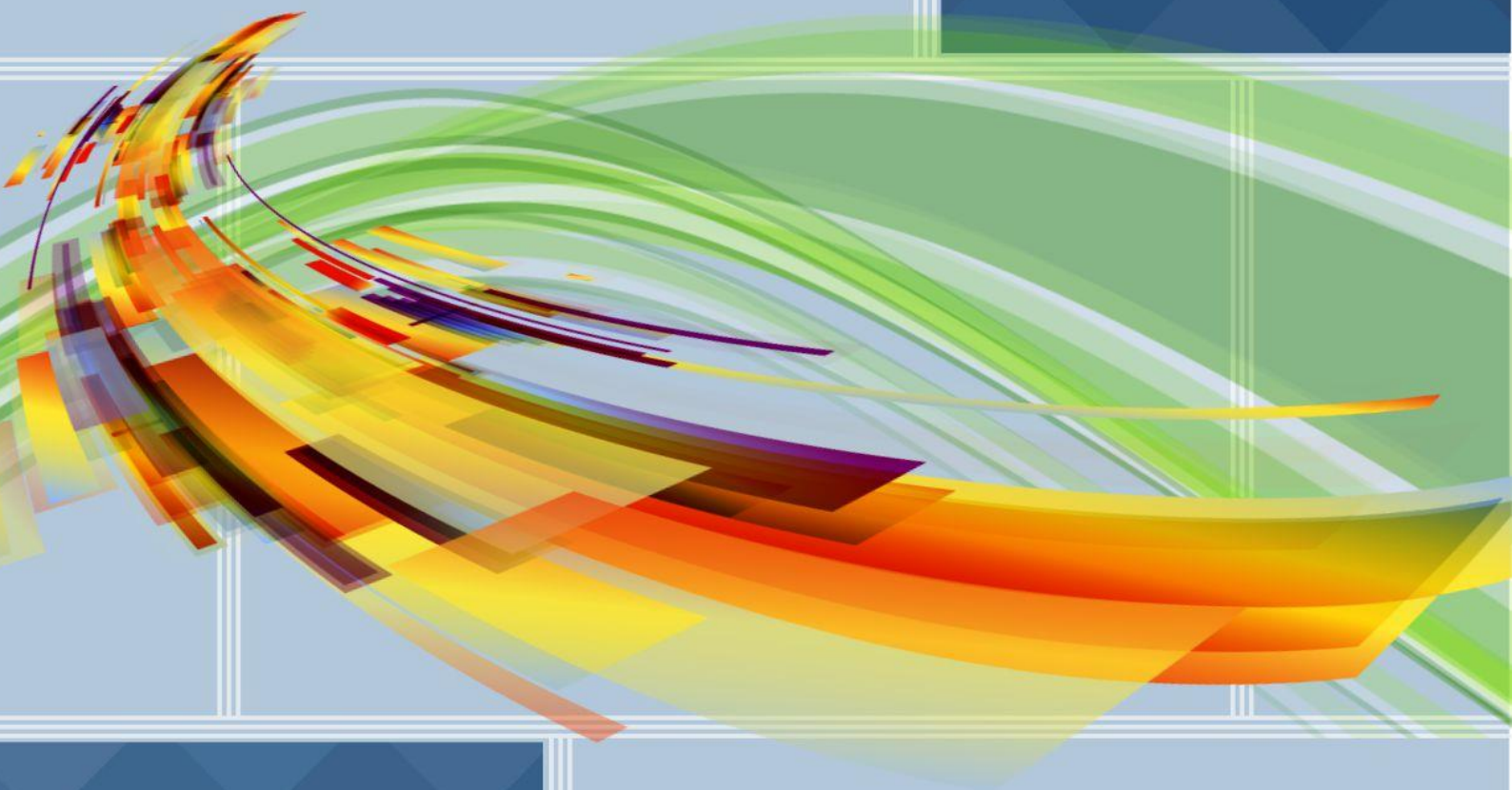


16+



XXIV Всероссийская
студенческая научно-практическая
конференция Нижневартовского
государственного университета



Часть 2

Математика. Физика.
Энергетика. Электротехника.
Нефтегазовое дело

Нижневартовск, 5-6 апреля 2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Нижевартовский государственный университет»

**XXIV Всероссийская студенческая
научно-практическая конференция
Нижевартовского
государственного университета**

Часть 2

*Математика. Физика.
Энергетика. Электротехника. Нефтегазовое дело*

*г. Нижевартовск,
5-6 апреля 2022 г*

Нижевартовск
НВГУ
2022

Печатается по решению Ученого совета
ФГБОУ ВО «Нижевартовский государственный университет»
(протокол № 1 от 18.01.2022 г.)
Приказ № 043-О от 05.03.2022

В 85 **XXIV Всероссийская студенческая научно-практическая конференция
Нижевартовского государственного университета (г. Нижневартовск, 5-6
апреля 2022 г) / Под общей ред. Д.А. Погоньшева. Ч. 2. Математика. Физика.
Энергетика. Электротехника. Нефтегазовое дело. Нижневартовск: изд-во НВГУ, 2022.
242 с.**

ISBN 978-5-00047-645-1

ББК 72я43



Тип лицензии CC, поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

© НВГУ, 2022

ISBN 978-5-00047-645-1



9 785000 476451 >

УДК 66.045.12

Полтев И.Е., Большаков И.А., Зинуров В.Э.
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР НА ТЕПЛОТДАЧУ НА РАЗЛИЧНЫХ ЛОКАЛЬНЫХ УЧАСТКАХ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА ПО ТИПУ ТРУБЫ ФИЛЬДА

В настоящее время трубы Фильда находят большое применение в различных устройствах, например, в парогенераторах, конденсаторах и пр. [1, с. 173].

Труба Фильда является теплообменным аппаратом, принцип работы которого заключается в том, что поток первого теплоносителя течёт по внутренней трубе, затем разворачивается в конце и протекает далее по межтрубному кольцевому пространству, в то же время поток второго теплоносителя омывает трубной пучок снаружи [2, с. 72].

Одним из самых эффективных и наиболее часто встречаемых способов интенсификации теплообмена в трубах Фильда является закрутка потока текучей среды [3, с. 294]. По результатам исследований влияния вихревой структуры на теплоотдачу от текучей среды к стенкам можно прийти к выводу о том, что закрутка вихревого потока оказывает большое влияние на интенсификацию теплоотдачи [4, с. 3]. Вместе с тем следует обратить внимание на то, что коэффициент теплоотдачи уменьшается вследствие снижения интенсивности вращательного движения потока и образования у стенок гидродинамического пограничного слоя, толщина которого постепенно нарастает [5, с. 109].

Целью данной работы является экспериментальное исследование интенсификации теплоотдачи от текучей среды через стеночные поверхности в трубе Фильда при помощи численного моделирования. Коэффициент теплоотдачи является важным параметром, так как от него зависит эффективность работы устройства. Для примера, в работе [6, с. 65] показано влияние теплоотдачи от парогазовой смеси через ребристую поверхность. В данной работе предлагается усовершенствовать конструкцию трубы Фильда с равномерными по окружности отверстиями на нижнем конце внутренней трубы, выполнив отверстия во внешней трубе, что позволит уменьшить зону образования пограничного слоя (рис.1). Также в работе численно сравнивают коэффициенты теплоотдачи в основании установки и на внутренней стенке внешней трубы.

Конструкция, представленная на рисунке 1, состоит из двух труб и дна. Внутренний диаметр внешней трубы был равен 102 мм, а внешний диаметр внутренней трубы был равен 67 мм соответственно. Высота внешней трубы задавалась 116 мм, высота внутренней трубы 146 мм. Толщины внешней трубы 0,5 мм, толщина внутренней трубы 1 мм. Высота отверстий составляла 32 мм. Толщина составляет 2 мм. Внизу внутренней трубы выполнено 8 отверстий прямоугольной формы, равномерно расположенных по длине окружности. На внешней трубе выполнено 16 отверстий с выпуклыми поверхностями с диаметром 16,5 мм, равномерно расположенных по длине окружности.

Для исследования данного устройства использовалось численное моделирование в программе ANSYS Fluent. Было выполнено CFD-моделирование, для решения задачи применялся метод RANS, основанный на уравнениях Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу. 3D-модель обтекания препятствий с структурированной равномерной расчетной сеткой с количеством ячеек ~ 3638718 , количеством узлов ~ 644553 .

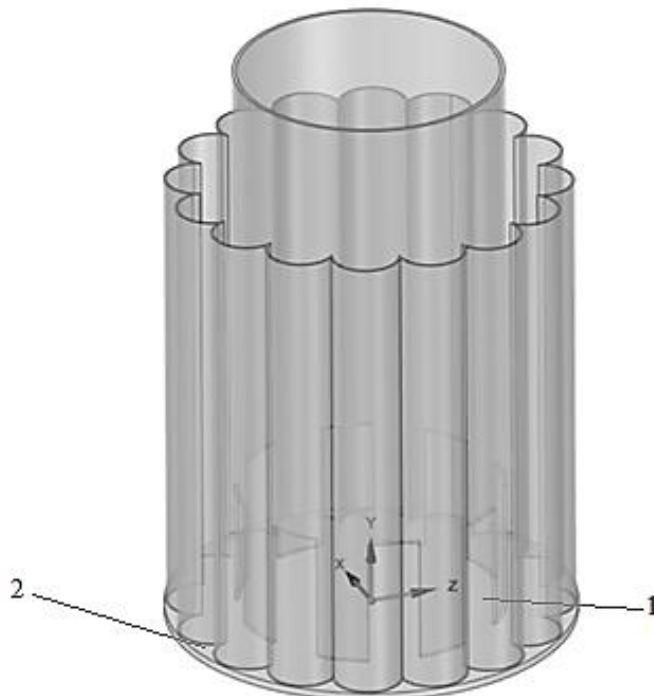


Рис. 1. 3D модель мультивихревого контактного устройства с щелями на внешней трубе:
1 – отверстия, расположенные равномерно по окружности внутренней трубы,
2 – отверстия на внешней трубе

Расчет проводился в стационарном режиме. Значение скорости потока воды на входе в расчетную область было равно 0,1 м/с, 0,5 м/с, 1 м/с. Температура воды задавалась 293 К. Значение скорости потока воздуха на входе в расчетную область было равно 1 м/с, 5 м/с, 10 м/с, при температуре 293 К. На выходе из кольцевого пространства задавалось давление 101325 Па, на стенках задавалась температура 273 К. Численные исследования проводились с учетом уравнения энергии. При моделировании использовалось модель SST $k-\omega$ с типовыми эмпирическими коэффициентами, устанавливаемыми программой по умолчанию. Одним из преимуществ модели $k-\omega$ – это возможность более корректно описать поведение потока в пристеночной области. Так в модели применяют более простые функции стенок, чем в $k-\epsilon$ моделях, обеспечивая лучшую надежность и точность [7, с. 882]. В качестве рабочих сред использовались вода и воздух с физическими свойствами, заложенными в расчетном комплексе. В решателе использовался алгоритм “SIMPLE” с типовыми эмпирическими коэффициентами, устанавливаемыми программой по умолчанию. Выбор представленного метода был обусловлен тем, что алгоритм “SIMPLE” использует взаимосвязь между поправками на скорость и давление, чтобы обеспечить сохранение массы и получить поле давления [8, с. 68].

В первой серии опытов в качестве текучей среды потока использовали воду. В результате численного моделирования были получены значения коэффициента теплоотдачи на внутренней стенке внешней трубы и в основании конструкции. Результаты представлены на 2 рисунке. Также были получены значения сопротивления, которые выражались как разница между абсолютным давлением на входе и выходе устройства: 20 Па при 0,1 м/с, 536 Па при 0,5 м/с, 2150 Па при 1 м/с. Таким образом, можно сделать вывод, что в результате численного моделирования по воде было выявлено, что коэффициент теплоотдачи на внутренней стенке выше на 12%, 34%, 41% с ростом скорости от 0,1 до 1 м/с, чем в основании конструкции.

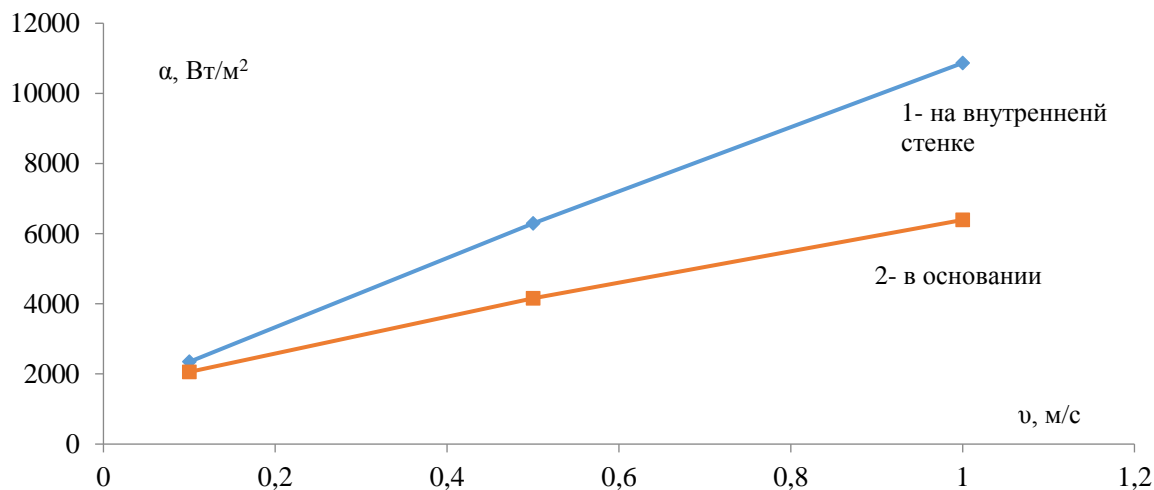


Рис. 2. Зависимости α/v в конструкции по воде: 1-на внутренней стенке, 2-в основании

В следующей серии исследований представлены результаты сравнения коэффициента теплоотдачи от скорости при течении воздуха. Эксперименты проводились при скоростях воздуха на входе в устройство в диапазоне от 1 до 10 м/с. На рисунке 3 представлена зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости при течении воздуха.

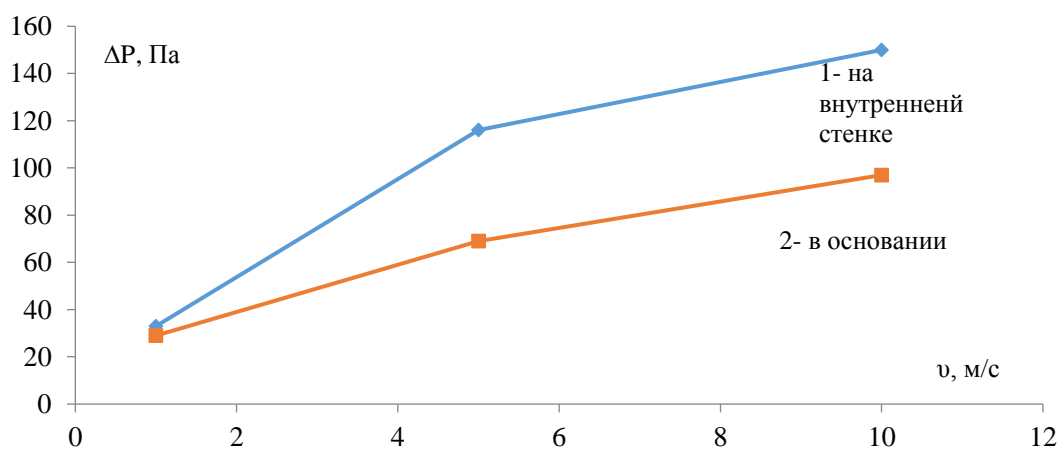


Рис. 3. Зависимости α/v в конструкции по воздуху: 1-на внутренней стенке, 2-в основании

В результате численного моделирования были получены значения сопротивления: 2 Па при 1 м/с, 65 Па при 5 м/с, 262 Па при 10 м/с. Таким образом, можно сделать вывод, что в

результате численного моделирования по воздуху было выявлено, что коэффициент теплоотдачи на внутренней стенке выше на 12%, 40,5%, 35,5% с ростом скорости от 1 до 10 м/с, чем в основании конструкции.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что при течении и воды, и воздуха, теплоотдача на внутренней стенке и в основании увеличивается с ростом скорости потока. Это обуславливается тем, что с увеличением скорости потока, кинетическая энергия вихревых структур увеличивается и более эффективно разрушает гидродинамический пограничный слой (рис. 4).

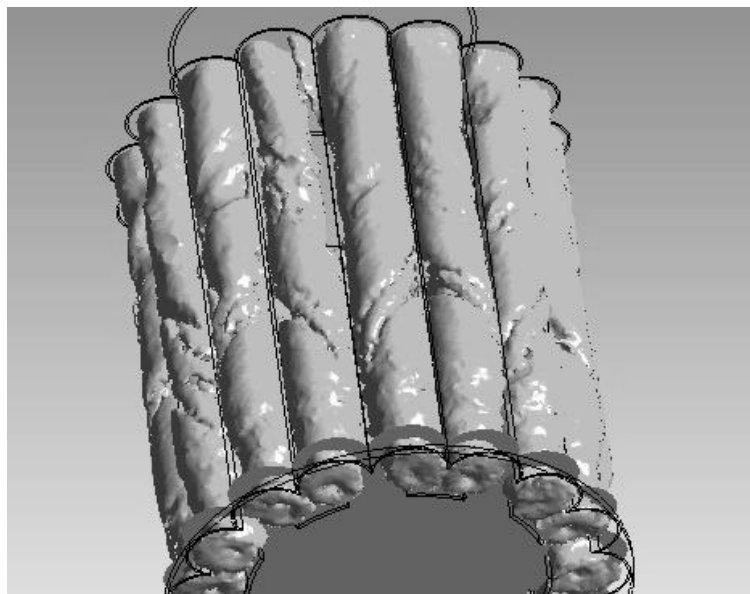


Рис. 4. Картина вихревых структур для воды на скорости 0,5 м/с

При этом вихревые структуры образуются только в пристеночной области, что объясняет более высокие коэффициенты теплоотдачи на внутренней стенке внешней трубы, чем в основании. Ещё одной причиной более высоких коэффициентов теплоотдачи на внутренней стенке внешней трубы является конструктивная особенность установки, а именно отверстия с выпуклыми поверхностями, которые способствуют уменьшению площади образования пограничного слоя между стенкой и вихревой структурой.

Литература

1. Егоров К.С., Иванов В.Л. Анализ тепловой эффективности теплообменного аппарата на основе трубы Фильда // Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках. 2003. С. 172-175.
2. Егоров К.С. Повышение тепловой эффективности теплообменного аппарата типа трубы Фильда // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2007. №1. С. 69-76.
3. Самигуллина Д.З., Габдуллин И.И., Яковлев А.Б. Теплоотдача кольцевого канала с закруткой потока при одностороннем подводе теплоты // Техноконгресс. Современные

медицинские исследования. Современная экономика. Человечествознание. Свобода и право: Сборник статей международных научных конференций. 2016. С. 290-297.

4. Митрофанова О.В. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков в каналах ядерно-энергетических установок. 2010. С. 288.

5. Четверткова О.В., Ризванов Р. Г. Влияние конструктивных зазоров на интенсивность теплообмена и гидравлическое сопротивление кожухотрубчатого теплообменного аппарата // Нефтегазовое дело. 2012. Т. 10. №3. С. 109-112.

6. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Шарипов И.И., Галимова А.Р. Экспериментальное исследование теплообмена от парогазовой смеси при передаче тепла через ребристую поверхность // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2021. Т. 7. №2 (26). С. 60-74.

7. Жлуктов С.В., Аксенов А.А., Карасев П.И. Моделирование байпасного ламинарно-турбулентного перехода в рамках k-ε подхода // Компьютерные исследования и моделирование. 2014. Т. 6. №6. С. 879-888.

8. Ганджа С.А. Разработка инженерной методики расчета магнитных систем с постоянными магнитами на основе метода конечных элементов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2019. №29. С. 58-74.

© Полтев И.Е., Большаков И.А., Зинуров В.Э., 2022