



УДК 532.5:621.694

Мустакимова С.А. – ведущий программист

E-mail: mustakim@kgasu.ru

Золотоносов Я.Д. – доктор технических наук, профессор

E-mail: zolotonosov@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Компьютерное моделирование гидродинамики и теплообмена в пружинно-витых каналах

Аннотация

Статья посвящена компьютерному моделированию гидродинамики и теплообмена при турбулентном течении несжимаемой жидкости в пружинно-витом канале с использованием программы FLUENT.

Показаны геометрическая модель и область течения жидкости в пружинно-витой трубе. Построена конечно-элементная (КЭ) сетка сложной геометрии проточной части рассматриваемой области. Выявлен характер распределения поля скоростей, температур и давлений в предложенном канале.

Проведен анализ эффективности пружинно-витых каналов и гладких труб.

Показана перспективность использования труб с развитой поверхностью теплообмена при проектировании теплообменных аппаратов.

Ключевые слова: теплообмен, гидродинамика, компьютерное моделирование.

Энергоэффективность и энергосбережение являются приоритетными направлениями развития экономики России.

В связи с этим возрастает интерес к разработке нового теплообменного оборудования, обладающего малыми габаритами при высокой энергоэффективности.

Известно [1, 2], что крутка рабочей среды в канале приводит к интенсификации процессов теплообмена, в результате турбулизации рабочей среды, образования вторичных течений у стенки канала с выносом их в ядро потока и отрывом пристенного слоя.

На основании ранее проведенных исследований [3] и работ [4-10] авторами предложены теплообменные элементы с развитой поверхностью теплообмена, обеспечивающих незатухающую крутку рабочей среды (рис. 1).



Рис. 1. Фрагмент трехмерной модели пружинно-витого канала

Однако, широкое внедрение предлагаемых теплообменных элементов сдерживается отсутствием надежных данных по исследованию процессов гидродинамики и теплообмена в пружинно-витых каналах.

В связи с этим авторами предпринята попытка компьютерного моделирования основных процессов в проточной части таких каналов.

Исследование проводилось в турбулентной области течения рабочей среды в интервале 0,6...2 м/с, эквивалентный диаметр исследуемого канала равнялся диаметру гладкой трубы.

Решения выполнялись в программе FLUENT, имеющей широкий набор моделей турбулентности и позволяющей гибко варьировать методами расчета процессов, протекающих в рассматриваемом объекте исследований.

В рассматриваемом диапазоне критериев Re (10000...50000) расчет параметров течения (поля скоростей, температур и давления) проводился с использованием двухпараметрической $k-\omega$ модели турбулентности.

Алгоритм компьютерного моделирования включает в себя:

- создание трехмерной модели,
- построение конечно-элементной сетки расчетной области,
- наложение граничных условий,
- выбор модели турбулентности и последующего метода расчета,
- визуализация полей температур, скоростей и давлений, построение графической интерпретации результатов от определяющих параметров.

На рис. 2 представлен фрагмент трехмерной модели области течения жидкости в пружинно-витом канале.

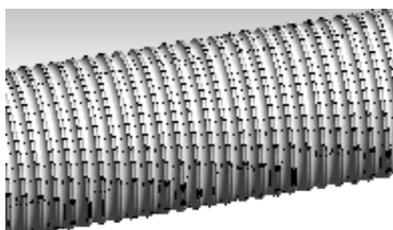


Рис. 2. Фрагмент области течения жидкости в пружинно-витом канале

На рис. 3 показана КЭ сетка исследуемой области течения.

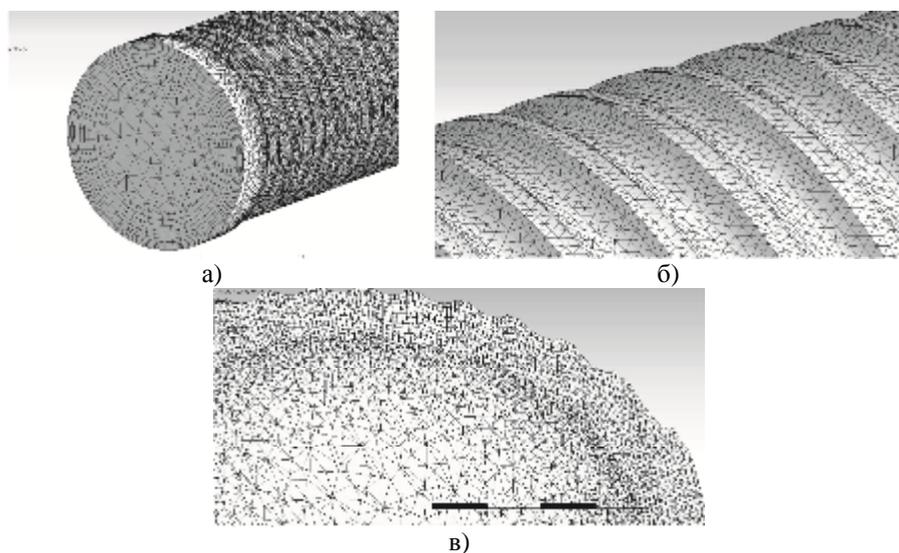


Рис. 3. Фрагменты наложения трехмерной КЭ сетки:
а) в проточной части канала; б) на поверхности канала; в) в радиальном сечении канала

Построенная КЭ сетка состоит из 2006248 узлов, 10426613 элементов.

При проведении численных расчетов были приняты допущения: процессы течения жидкости стационарны; температура на поверхности жидкости постоянна; в потоке рабочей среды отсутствуют дополнительные источники тепла; торцевые части канала не влияют на общий теплообмен.

Кроме того приняты условия:

- температура воды на входе – 20 °С;
- температура воды на поверхности канала – 100 °С;
- давление на входе;
- на стенках – условия прилипания;
- длина трубы – 0,51 м;
- эквивалентный диаметр проточной части канала – 0,021 м.

В качестве тестирования выбранной модели турбулентности и метода расчета в программе FLUENT дополнительно были проведены теплогидродинамические исследования гладких труб.

На рис. 4-6 показаны результаты компьютерного моделирования процессов гидродинамики и теплообмена в рассматриваемых каналах.

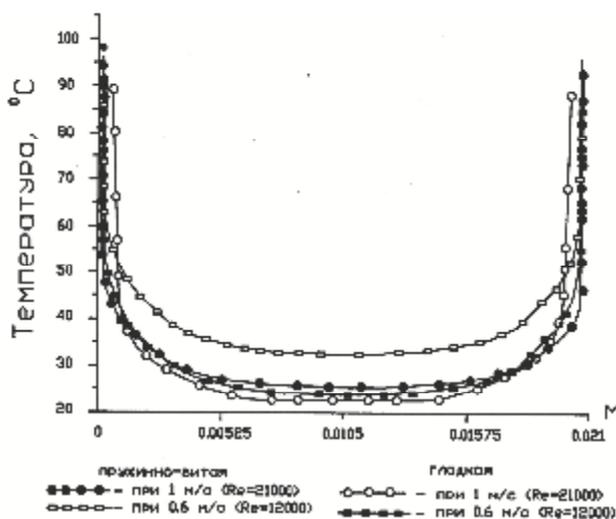


Рис. 4. Профили температур на выходе пружинно-витого и гладкого каналов при различных режимах течения

На рис. 4 представлены профили температур жидкости в радиальном сечении при различных критериях Рейнольдса.

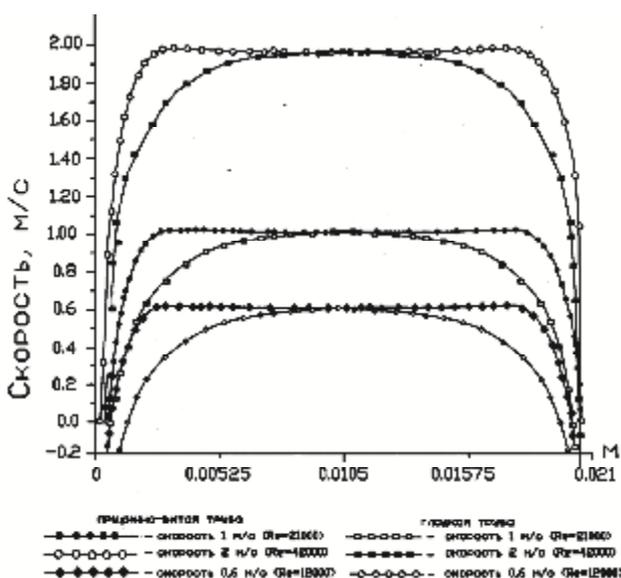


Рис. 5. Профили скорости жидкости на выходе из пружинно-витого и гладкого каналов при различных режимах течения

На рис. 5 представлены значения скоростей рабочей среды при различных значениях критериев Рейнольдса.

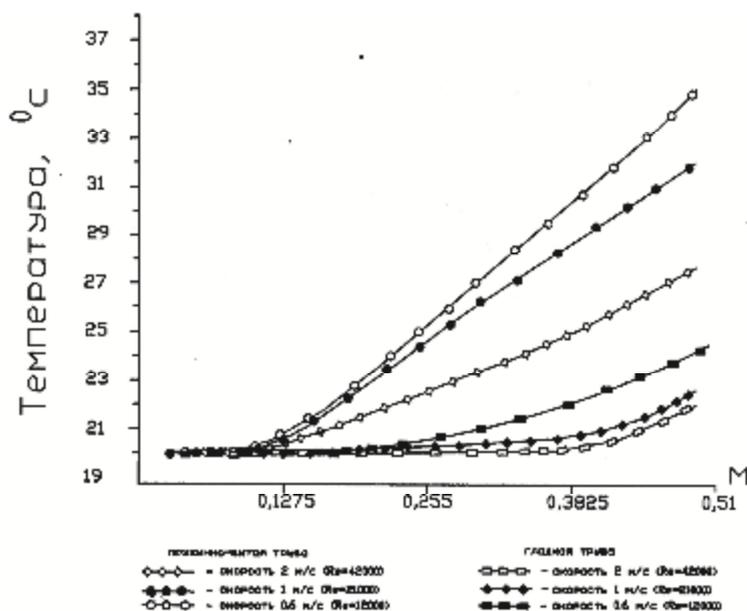


Рис. 6. Профили температур по оси канала в пружинно-витой и в гладкой трубе при различных режимах течения

Как видно из рис. 6 профили изменения температуры по оси канала в пружинно-витой трубе имеет более высокие значения температур в отличие от гладкой трубы. Рост температуры по оси пружинно-витого канала отмечен во второй трети проточной части и достигает пиковых значений на выходе. Гладкая труба имеет менее выраженный профиль и возрастает практически монотонно.

При сравнении значений температур на выходе в центральной части пружинно-витого и гладкого каналов установлено, что температура в предлагаемом канале на 30...35 %, а гидравлическое сопротивление на 20 % выше по сравнению с гладкой трубой.

Также установлено, что в проточной части пружинно-витого канала имеет место интенсивная циркуляция, вследствие крутки потока, по сравнению с гладкой трубой.

Показано, эффективность теплообмена определяется скоростью течения среды в проточной части канала, так при скорости 0,6...0,8 м/с имеет место интенсивный разогрев жидкости в ядре потока. По мере роста скорости интенсивность теплообмена снижается.

Заключение

В ходе исследования процессов гидродинамики и теплообмена с помощью программы FLUENT получены следующие основные результаты:

- предложены трехмерные модели пружинно-витого канала и области течения жидкости в нем;
- получены значения поля скоростей, температур в трех радиальных сечениях (вход, середина, выход), поле давлений в проточной части рассматриваемых труб;
- определены значения температур на выходе из канала при различных режимах течения;
- выявлены гидродинамические закономерности течения среды в пружинно-витых каналах и проведена оценка тепловой эффективности предлагаемых труб.

Список библиографических ссылок

1. Митрофанова О.В. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков в каналах с завихрителями // Теплофизика высоких температур. – М.: Изд-во МИФИ, 2003, том 41, № 4. – С. 587-633.

2. Халатов А.А. Теория и практика закрученных потоков. – Киев: Наукова думка, 1989. – 192 с.
3. Митрофанова О.В. Методы математического моделирования гидродинамики и теплообмена закрученных потоков в каналах с завихрителями // Дисс...докт. техн. наук. – М., 2002. – 321 с.
4. Багоутдинова А.Г., Золотонос Я.Д., Мустакимова С.А. Энергоэффективные теплообменные аппараты на базе теплообменных элементов в виде пружинно-витых каналов // Известия КГАСУ, 2012, № 3 (21). – С. 86-95.
5. Золотонос Я.Д., Багоутдинова А.Г., Мустакимова С.А. Геометрическое моделирование сложных поверхностей пружинно-витых каналов теплообменных устройств // Известия КГАСУ, 2011, № 4 (18). – С. 185-193.
6. Багоутдинова А.Г., Золотонос Я.Д., Мустакимова С.А. Моделирование турбулентного течения в прямых пружинно-витых каналах // Известия КГАСУ, 2012, № 1 (19). – С. 81-88.
7. Золотонос Я.Д., Багоутдинова А.Г., Мустакимова С.А. Моделирование турбулентного течения и теплообмена в эллиптических пружинно-витых каналах // Математические методы в технике и технологиях ММТТ-25: Труды XXV международной научной конференции, том 9. – Казань: Изд-во КГТУ, 2012 г. – С. 32-35.
8. Мустакимова С.А. Математическое моделирование гидродинамики и теплообмена закрученных течений в пружинно-витых каналах // Известия КГАСУ, 2012, № 2 (20). – С. 105-111.
9. Патент № 113823 на пол. мод. РФ. Теплообменный элемент / Золотонос Я.Д., Осыка И.И., Никулин В.А. Мустакимова С.А. Заявка № 2011127714/06; заявл. 06.07.11.; опубл. 27.02.012. Бюл. № 6.
10. Патент № 119451 на пол. мод. РФ. Теплообменный элемент / Золотонос Я.Д., Багоутдинова А.Г., Мустакимова С.А. №2012107379, заявл. 28.02.12 опубл.27.08.2012. Бюл. № 23.

Mustakimova S.A. – leading programmer

E-mail: zolotonosov@mail.ru

Zolotonosov Ya.D. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: mustakim@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Computer modeling of hydrodynamics and heat transfer in spring-twisted channels

Resume

The article is devoted to computer modeling of hydrodynamics and heat exchange at turbulent flow of incompressible fluid in the spring-twisted channel using the software package FLUENT. The geometrical model and the area of the fluid flow in the spring-twisted pipe. Built finite element mesh of the complex geometry of the flow region under consideration. Revealed the nature of the distribution of the velocity field, temperatures and pressures in the proposed channel. The study was conducted in the turbulent flow region in the speed range of the working medium from 0.6 m/s to 2 m/s, the equivalent diameter of the channels equal to the diameter of the smooth pipe. In the criteria range of Re (10000...50000) calculation of flow parameters (velocity field, temperature and pressure) were carried out using two-parameter $k-\omega$ turbulence model. When comparing the temperature values at the exit in the Central part of spring-twisted and smooth channels the temperature in the proposed channel 30...35 % and the hydraulic resistance is 20 % higher compared with a smooth pipe. It is also established that in the flow path of the spring-twisted channel has an extensive circulation, due to the swirling flow, in comparison with a smooth tube. Shown, the heat exchange efficiency is determined by the speed of the current environment in the flowing part of the channel at a speed of 0.6 m/s...0.8 m/s is intense heating of the fluid in the flow core. With increasing speed the heat transfer rate decreases.

Keywords: heat transfer, fluid dynamics, computer modeling.

Reference list

1. Mitrofanova O.V. Fluid flow and heat transfer of swirling flows in channels with swirlers // *Thermal physics of high temperatures*. – M.: MEPI, 2003, vol. 41. – P. 587-633.
2. Halatov A.A. Theory and practice of swirling flows. – Kiev: Naukova Dumka, 1989. – 192 p.
3. Mitrofanova O.V. Methods of mathematical modeling of hydrodynamics and heat transfer of swirling flows in channels with swirlers // *Diss...doctor. tech. sciences* – M., 2002. – 321 p.
4. Bagoutdinova A.G., Zolotonosov Ya.D., Mustakimova S.A. Energy efficient heat exchangers based on the heat exchange elements the form of spring-twisted channels // *Izvestiya KGASU*, 2012, № 3 (21). – P. 86-95.
5. Zolotonosov Ya.D., Bagoutdinova A.G., Mustakimova S.A. Geometric modeling of complex surfaces spring-twisted channels of heat exchangers // *Izvestiya KGASU*, 2011, № 4 (18). – P. 185-193.
6. Bagoutdinova A.G., Zolotonosov Ya.D., Mustakimova S.A. Modeling of turbulent flow in a direct spring-twisted channels // *Izvestiya KGASU*, 2012, № 1 (19). – P. 81-88.
7. Zolotonosov Ya.D., Bagoutdinova A.G., Mustakimov S.A. Modeling of turbulent flow and heat transfer in elliptical spring-twisted channels // *Mathematical methods in technics and technologies mmtt-25: proceedings of the XXV international scientific conference*, vol. 9. – Kazan: KSTU Publishing house, 2012. – P. 32-35.
8. Mustakimova S.A. Mathematical modeling of fluid flow and heat transfer of swirling flows in spring-twisted channels // *Izvestiya KGASU*, 2012, № 2 (20). – P. 105-111.
9. Patent № 113823 on the floor. mod. Of the Russian Federation. The heat transfer element // Zolotonosov Ya.D., Osyka I.I., Nikulin V.A. Mustakimova S.A. Application № 2011127714/06; Appl. 06.07.11; publ. 27.02.2012, bull. № 6.
10. Patent № 119451 on the floor. mod. Of the Russian Federation. The heat transfer element/ Zolotonosov Ya.D., Bagoutdinova A.G., Mustakimova S.A. № 2012107379, Appl. 06.07.11; publ. 28.02.12, bull. № 23.