



УДК 532.5:621.694

Багоутдинова А.Г. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: bagoutdinova@rambler.ru

Золотонос А.Я. – кандидат технических наук, инженер

Золотонос 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

Сулимов Н.И. – студент

E-mail: nsulimov@mail.ru

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Адрес организации: 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18

Яхнев М.Н. – инженер-механик цеха радиальнойковки

ООО «МЕТЧИВ»

Адрес организации: 454091, Россия, г. Челябинск, пр. Ленина, д. 21в, оф. 613

Математическое описание теплообменных поверхностей сложных каналов типа «конфузор-диффузор»

Аннотация

В работе предложены уравнения поверхностей сложных каналов типа «конфузор-диффузор», записанные в векторно-параметрической форме на базе фундаментальных положений аналитической и дифференциальной геометрии.

Конструкции рассматриваемых каналов могут быть использованы в качестве теплообменных элементов широкого класса современной теплообменной аппаратуры.

С целью проверки адекватности и визуализации записанных уравнений построены поверхности в виде наклонных геликоидов в форме «конфузор-диффузор» эллиптического и круглого сечений с помощью пакета прикладных программ Matlab.

Ключевые слова: теплообменные элементы, теплообменная поверхность, математическая модель, винтовая линия.

Важнейшей задачей современной теплоэнергетики является создание высокоэффективной малогабаритной теплообменной аппаратуры большой единичной мощности с интенсивными процессами теплообмена, реализуемыми различными методами. К ним относятся: методы воздействия на поверхность теплообмена, гидродинамическое воздействие на поток, воздействие на физические свойства жидкости [1].

В этой связи одним из перспективных направлений является метод, основанный на идее воздействия на структуру потока через искусственно созданные неоднородности давления посредством специального профилирования поверхности.

Каналы типа «конфузор-диффузор» с переменным по ходу теплоносителя сечением относятся к одним из эффективных и технологичных конструкций поверхностей теплообмена [1, 2].

Интенсификация теплообмена в таких каналах обусловлена особенностями турбулентного течения потока под действием знакопеременного градиента давления. При этом турбулентные вихреобразования, генерируемые в диффузорных элементах и отрывной зоной кромки стыка с конфузором, уносятся потоком и полезно используются в конфузорных элементах. В конфузорных элементах используется также эффект увеличения скоростей пристенных слоев жидкости.

В целях повышения теплоэнергетической эффективности каналов «конфузор-диффузор» путем закрутки в них внутреннего потока, авторами [3-5] предлагается выполнить такие каналы в виде винтовой поверхности в форме наклонных геликоидов (рис. 1).

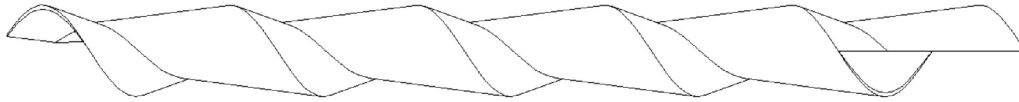


Рис. 1. Теплообменный элемент «конфузор-диффузор» с винтовой поверхностью теплообмена

В работе [6] рассмотрен метод построения поверхности, образованной движением непрерывной замкнутой кривой $\rho = \rho(s)$, вдоль некоторой криволинейной направляющей $\gamma: \vec{r} = \vec{r}(t)$. Согласно этому методу радиус-вектор точки поверхности представляется в виде:

$$\vec{r}(t, s) = \vec{r}(t) + \rho(s) \cdot \vec{v}(t) + \rho(s) \cdot \vec{\beta}(t), \tag{1}$$

где $\vec{v}(t)$ и $\vec{\beta}(t)$ – единичные векторы главной нормали и бинормали в точке, соответствующей значению параметра t .

Единичные векторы касательной $\vec{\tau}$, нормали \vec{v} и бинормали $\vec{\beta}$ образуют подвижный ортогональный базис, перемещающийся вдоль кривой, и вычисляющиеся по формулам:

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{r}/dt}{|d\vec{r}/dt|}, \quad \vec{v} = \frac{d\vec{\tau}/dt}{|d\vec{\tau}/dt|}, \quad \vec{\beta} = \vec{\tau} \times \vec{v}.$$

Для описания поверхности теплообмена элемента «конфузор-диффузор» в качестве направляющей кривой выберем винтовую линию, расположенную на эллиптическом цилиндре $\gamma: x = A \cos t, y = B \sin t, z = bt, 0 \leq t \leq \pi n$, n – количество витков, а в качестве образующей – ломаную, состоящую из двух звеньев (рис. 2).

Тогда

$$\vec{r}(t) = \begin{pmatrix} A \cos t \\ B \sin t \\ bt \end{pmatrix}, 0 \leq t \leq \pi n, \quad \rho(s) = \begin{pmatrix} cs \\ (1-s)l \\ 0 \end{pmatrix}, 0 \leq s \leq 1. \tag{2}$$

Здесь $l = -d$ для диффузора, $l = k$ для конфузора.

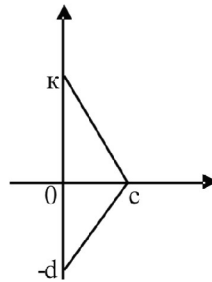


Рис. 2. Профиль канала «конфузор-диффузор»

Вычислим единичные векторы касательной, нормали и бинормали:

$$\vec{\tau} = \frac{1}{\sqrt{n(t)}} \begin{pmatrix} -A \sin t \\ B \cos t \\ b \end{pmatrix},$$

$$\vec{v} = \frac{-1}{\sqrt{m(t)}} \begin{pmatrix} A \cos t (B^2 + b^2) \\ B \sin t (A^2 + b^2) \\ b(A^2 - B^2) \sin 2t \end{pmatrix}, \tag{3}$$

$$\vec{\beta} = -\frac{1}{\sqrt{m(t) \cdot n(t)}} \begin{pmatrix} Bb \sin t (2 \cos^2 t \cdot (A^2 - B^2) - (A^2 + b^2)) \\ Ab \cos t (2 \sin^2 t \cdot (A^2 - B^2) + (B^2 + b^2)) \\ -AB (\sin^2 t (A^2 + b^2) + \cos^2 t \cdot (B^2 + b^2)) \end{pmatrix},$$

где $m(t) = A^2 \cos^2 t (B^2 + b^2)^2 + B^2 \sin^2 t (A^2 + b^2)^2 + b^2 (A^2 - B^2)^2 \sin^2 2t \cdot n(t)$,

$n(t) = A^2 \sin^2 t + B^2 \cos^2 t + b^2$,

$b = \frac{d+e}{2\pi}$ – параметр винтовой линии, характеризующий плотное прилегание витков поверхности.

Подставляя выражения (2), (3) в (1), получим параметрические уравнения винтовой поверхности эллиптического канала типа «конфузор-диффузор»:

$$\vec{r}(t,s) = \begin{pmatrix} A \cos t \\ B \sin t \\ bt \end{pmatrix} - \frac{cs}{\sqrt{m(t)}} \begin{pmatrix} A \cos t (B^2 + b^2) \\ B \sin t (A^2 + b^2) \\ b (A^2 - B^2) \sin 2t \end{pmatrix} - \frac{l(1-s)}{\sqrt{m(t) \cdot n(t)}} \begin{pmatrix} Bb \sin t (2 \cos^2 t \cdot (A^2 - B^2) - (A^2 + b^2)) \\ Ab \cos t (2 \sin^2 t \cdot (A^2 - B^2) + (B^2 + b^2)) \\ -AB (\sin^2 t (A^2 + b^2) + \cos^2 t (B^2 + b^2)) \end{pmatrix}. \tag{4}$$

Параметрические уравнения винтовой поверхности трубы типа «конфузор-диффузор» круглого сечения получаются из формулы (4) при $A = B$:

$$\vec{r}(t,s) = \begin{pmatrix} A \cos t \\ A \sin t \\ bt \end{pmatrix} - cs \begin{pmatrix} \cos t \\ \sin t \\ 0 \end{pmatrix} - \frac{l(1-s)}{\sqrt{A^2 + b^2}} \begin{pmatrix} b \sin t \\ -b \cos t \\ A \end{pmatrix}. \tag{5}$$

С целью проверки соответствия уравнений (4), (5) геометрии рассматриваемых витых каналов построены поверхности (рис. 3, 4) в системе Matlab.

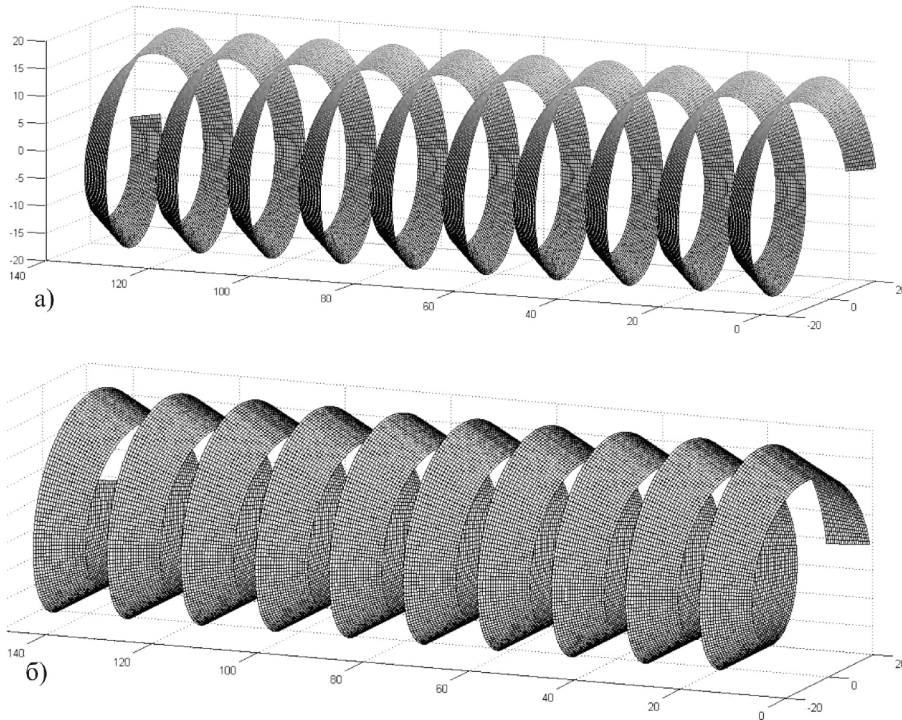


Рис. 3. Поверхность витой трубы типа «конфузор-диффузор»:
а) наклонный геликоид в форме «диффузор»;
б) наклонный геликоид в форме «конфузор»

Комбинация поверхностей в виде наклонного геликоида (рис. 3, а) – «диффузор» и наклонного геликоида (рис. 3, б) – «диффузор» позволяет построить винтовой канал типа «конфузор-диффузор» (рис. 4).

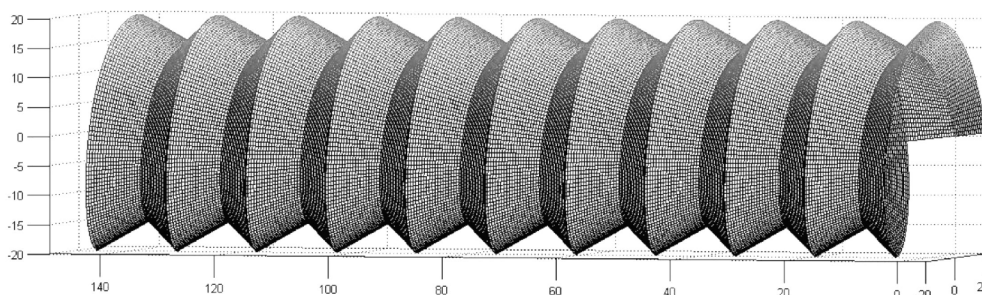


Рис. 4. Поверхность винтового канала типа «конфузор-диффузор»

Заключение

Предложена математическая модель, описывающая поверхности витых труб типа «конфузор-диффузор», которые могут быть использованы в качестве теплообменных элементов широкого класса современной теплообменной аппаратуры.

Список литературы

1. Гортышов Ю.Ф., Олимпиев В.В. Теплообменные аппараты с интенсифицированным теплообменом. – Казань: КГТУ, 1999. – 176 с.
2. Мигай В.К. Моделирование теплообменного энергетического оборудования. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 262 с.
3. Патент № 119452 на пол. мод. РФ. Теплообменный элемент / Золотоносов А.Я., Золотоносов Я.Д., Багоутдинова А.Г., Осыка И.И. № 2012109355/06; заявл. 12.03.12.; опубл. 20.08.2012, Бюл. № 23.
4. Золотоносов А.Я., Золотоносов Я.Д., Горская Т.Ю. Совершенствование теплообменных аппаратов типа «труба в трубе» с вращающейся поверхностью теплообмена «конфузор-диффузор» // Известия КГАСУ, 2012, № 2 (20). – С. 112-124.
5. Багоутдинова А.Г., Золотоносов 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.
6. Багоутдинова А.Г., Золотоносов Я.Д., Мустакимова С.А. Геометрическое моделирование сложных поверхностей пружинно-витых каналов теплообменных устройств // Известия КГАСУ, 2011, № 4 (18). – С. 185-193.

Bagoutdinova A.G. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: bagoutdinova@rambler.ru

Zolotonosov A.Ya. – candidate of technical sciences, engineer

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

E-mail: zolotonosov@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Sulimov N.I. – student

E-mail: nsulimov@mail.ru

Kazan (Volga) Federal University

The organization address: 420008, Russia, Kazan, The Kremlin st., 18

Yakhnev M.N. – engineer mechanic of the radial forging plant

Ltd. «METCHIV»

The organization address: 454091, Russia, Chelyabinsk, Lenin st., 21v, of. 613

Mathematical description of the heat exchange surfaces of complex channels such as «confuser-diffuser»

Resume

The most important task of the modern heat power engineering is the creation of high-performance small-size heat-exchange equipment of large unit capacity from the intensive processes of heat exchange, implemented by different methods. These include: methods of impact to the surface heat transfer and hydrodynamic effects in the flow, the impact on the physical properties of a fluid.

One of the promising directions of the method is based on the idea of the impact on the structure of the flow through artificially created by the heterogeneity of pressure by means of a special profiled surface.

Channels like the «confuser-diffuser» with variable cross-section is one of the most effective and high-tech designs of heat transfer surfaces.

In order to improve the efficiency of the heat supply channels «confuser-diffuser» by way of spin in their internal flow, the authors are invited to perform such channels in the form of a helical surface in the form of slanting helicoids.

In this article we propose a mathematical model describing the heat transfer surfaces twisted channel type «confuser-diffuser». Equation surfaces are stored in a vector-parametric form on the basis of the fundamental analytical and differential geometry.

In order to verify the adequacy and visualization recorded equations are constructed surface in the form of tapering helicoids in the form of «confuser-diffuser» elliptical and circular cross-sections with the help of the package of applied programs of Matlab.

Keywords: heat transfer elements, the heat exchange surface, the mathematical model, helix.

References

1. Gortichov Yu.F., Olimpiev V.V. Heat exchange devices with improved heat transfer. – Kazan: Kazan state technical University, 1999. – 176 p.
2. Twinkle V.K. Modeling of the heat-exchange of energy equipment. – L.: Energoatomizdat, 1987. – 262 p.
3. Zolotonosov A.Ya., Zolotonosov Ya.D., Bagoutdinova A.G., Osika I.I. Heat exchanging element: Patent № 119452 on the floor. fashion. Growing up. The Federation. № 2012109355/06; Appl. 12.03.12.; publ. 20.08.2012, Byull. № 23.
4. Zolotonosov A.Ya., Zolotonosov Ja.D., Gorskaya T.Yu. Improvement of heat exchange devices of the type «pipe in pipe» with rotating heat-exchange surface «confusor-diffusor» and ribbed flowing part // News of the KSUAE, 2012, № 2 (20). – P. 112-124.
5. Bagoutdinova A.G., Zolotonosov Ya.D., Mustakimova S.A. Energy-efficient heat-exchange devices based on heat-exchange elements in the form of a spring-twisted channels // News of the KSUAE, 2012, № 3 (21). – P. 86-95.
6. Bagoutdinova A.G., Zolotonosov Ya.D., Mustakimova S.A. Geometrical modelling of difficult surfaces of spring-twisted channels of heat exchange devices // News of the KSUAE, 2011, № 4 (18). – P. 185-193.