

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОПРИТОКОВ В КАМЕРЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

TO THE QUESTION OF MODELING LEAKAGE IN CHAMBER OF THE REFRIGERATING MACHINE

*А.В. КОЖЕМЯЧЕНКО, М.А. ЛЕМЕШКО, Ю.Г. ФОМИН,
Т.П. ТУЦКАЯ, Ю.Е. ЧЕРТОВ, Р.П. РОМАНОВ, А.А. ТУВИН*

*A.V. KOZHEMYACHENKO, M.A. LEMESHKO, YU.G. FOMIN,
T.P. TUTSKAYA, YU.E. CHERTOV, R.P. ROMANOV, A.A. TUVIN*

(Ивановский государственный политехнический университет. Текстильный институт,
Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал)
Донского государственного технического университета, г. Шахты)
(Ivanovo State Polytechnical University. Textile Institute,
Institute of the Service Sector and Businesses (branch) Don State Technical University, Shakhty)
E-mail: cozhemyachenko2016@ya.ru ; lem-mikhail@ya.ru

Энергопотребление холодильных компрессионных машин зависит от теплообменных и массообменных процессов внутренних камер с окружающей средой. В статье предложена уточненная математическая модель, описывающая процесс движения охлажденного воздуха из камеры холодильной машины, приведена методика построения линий потока при свободном истечении воздуха из холодильной камеры и их определения без учета динамической вязкости второго рода. Решение этих задач позволит уточнить методику расчета теплопритоков в камеры холодильных машин.

The energy consumption of refrigerating compression machines, depends on the heat exchange and mass transfer processes inside chambers with the surrounding environment. The article describes the refinement of a mathematical model describing the process of moving chilled air from the single-action of the refrigeration machine, the method of construction of flow lines with the free expiration of air from the refrigerating chamber. The solution to this problem would clarify the method of calculation of heat inflows in the chamber of the refrigerator. Solved the problem of determining streamlines without considering the dynamic viscosity of the second kind.

Ключевые слова: теплопритоки, математическая модель, холодильная машина, скорость движения воздуха, линии потока.

Keywords: heat gains mathematical model, refrigerator, speed of air movement.

Представляет интерес вопрос исследования свободного истечения холодного воздуха из шкафа холодильной камеры методом моделирования.

Теплопритоки в камеру холодильной машины, обусловленные открыванием двери камеры, определяют тепловую нагрузку на хо-

лодильный агрегат и в конечном счете удельное энергопотребление агрегата. Важной для оценки и расчетов холодильного цикла реальной холодильной машины является задача анализа и описания формы и характеристик потока охлажденного воздуха, истекающего при открывании дверей камеры.

В предыдущих публикациях авторов [1...3] изложена методика математического описания закономерностей движения охлажденного воздуха из камер холодильной машины при открывании двери.

В настоящей статье рассматривается решение задачи по построению линий потока при свободном истечении воздуха из холодильной камеры, которое позволит уточнить методику расчета теплопритоков в камере.

Рассмотрим схему движения потока воздуха из камеры (рис. 1).

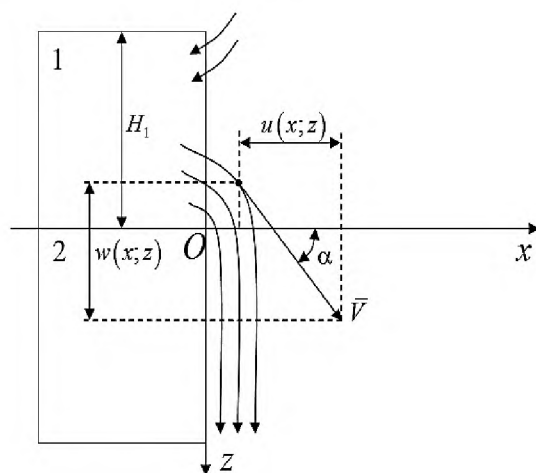


Рис. 1

Найдем линии тока изучаемого стационарного свободно истекающего потока холодного воздуха. Обозначим угол между вектором скорости потока и осью OX через α . Известно, что вектор скорости потока \vec{V} в каждой точке линии тока направлен по касательной [4], то есть угловой коэффициент касательной равен:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{w(x; z)}{u(x; z)}. \quad (1)$$

Геометрический смысл производной функции $z=z(x)$ в точке касания [5] равен тангенсу угла наклона касательной:

$$\frac{dz(x)}{dx} = \operatorname{tg}\alpha. \quad (2)$$

Принимая во внимание равенства (1) и (2), получаем дифференциальное уравнение первого порядка:

$$\frac{dz(x)}{dx} = \frac{w(x; z)}{u(x; z)}. \quad (3)$$

Подставим в уравнение (3) выражения для $u(x; z)$ и $w(x; z)$ из системы (4):

$$\begin{cases} u(x; z) = u_0(z)e^{-x}, \\ w(x; z) = w_0(z) + w_1(z)e^{-x}. \end{cases} \quad (4)$$

После упрощения получим уравнение:

$$\frac{dz(x)}{dx} = \frac{w_0(z)}{u_0(z)}e^x + \frac{w_1(z)}{u_0(z)}, \quad (5)$$

где функции $w_0(z)$, $w_1(z)$, $u_0(z)$ определяются по формулам, вывод которых приведен в [3]:

$$w_0(z) = \sqrt{\frac{mg\rho}{\mu k} + C_1} e^{\frac{2\mu k z}{\rho}}, \quad (6)$$

$$w_1(z) = \frac{C_2 e^{\frac{2\mu k z}{\rho}}}{\sqrt{mg\rho + C_1 \mu k e^{\frac{2\mu k z}{\rho}}}}, \quad (7)$$

$$u_0(z) = \frac{1}{C_3 + \frac{\mu k - \rho}{2\rho C_2} \int_0^z \sqrt{mg\rho + C_1 \mu k e^{\frac{2\mu k t}{\rho}}} e^{\frac{2\mu k t}{\rho}} dt}. \quad (8)$$

Уравнение (5) является дифференциальным уравнением первого порядка, разрешенным относительно производной. Так как правая часть дифференциального уравнения (5) относительно переменной x есть отрезок ряда по степеням функции e^x , то и решение уравнения (5) будем находить приближенно в виде отрезка ряда по степеням e^x :

$$z = a_0 + a_1 e^x + a_2 e^{2x}. \quad (9)$$

Для получения коэффициентов a_0 , a_1 , a_2 найдем производные первого и второго по-

рядков функции $z=z(x)$ в точке $x=0$, удовлетворяющей уравнению (9).

Из (9) получаем приближенное решение для линии тока:

$$z = \frac{m(e^x - 1)^2}{U_0}. \quad (10)$$

Следует отметить, что уравнение (10) получено без учета динамической вязкости второго рода. В реальном процессе истечения потока воздуха динамическую вязкость второго рода можно не учитывать только для крайних верхних элементарных струй истекающего потока, которые при $x=0$ находятся, как показал эксперимент, приблизительно на одной третьей по высоте поперечного сечения выхода холодильной камеры (рис. 1). Обозначим через H_1 высоту средне-температурной камеры, тогда уравнение верхней крайней линии тока в выбранной системе координат XOZ имеет вид:

$$z = \frac{m(e^x - 1)^2}{U_0} - \frac{H_1}{3}. \quad (11)$$

Рассмотрим теперь произвольную линию тока в стационарном режиме истечения потока холодного воздуха из холодильной камеры. На элементарную газовую струю, находящуюся ниже верхней элементарной струи, действуют как силы внешней вязкости потока (динамической вязкости первого рода), так и внутренней вязкости (динамической вязкости второго рода). Силы внешней вязкости уже были учтены для рассматриваемой модели, а силы внутренней вязкости предлагается учитывать с помощью соответствующего коэффициента, который обозначим ξ . Значения коэффициента ξ с физической точки зрения указывают на величину торможения соответствующих элементарных струй потока. Линии тока при этом будут описываться модельной формулой:

$$z = \frac{m(e^{x/\xi} - 1)^2}{U_0} - \frac{\xi H_1}{3}, \quad (12)$$

где H_1 – высота холодильной камеры.

Из формулы (12) при различных значениях параметра $0 \leq \xi \leq 1$ будут получаться различные линии тока. Изменяя высоту H_1 , можно получить совокупность линий для различных типоразмеров холодильных камер.

ВЫВОДЫ

Решена задача определения линий тока без учета динамической вязкости второго рода. Получено уравнение для определения линий тока струй истекающего из камер охлажденного воздуха, которые описываются модельной формулой с учетом высоты камеры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лемешко М.А., Лалетин И.В., Мицик М.Ф. Определение скоростей движения охлажденного воздуха при открывании дверей шкафа бытового холодильного прибора [Эл. ресурс] // "Инженерный вестник Дона", 2011, № 4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011>
2. Фомин Ю.Г., Петросов С.П., Лемешко М.А., Кожмяченко А.В., Донченко И.Я. Математическая модель теплопритоков в камеры холодильной машины // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 1. С.158...161.
3. Лемешко М.А., Мицик М.Ф. Математическая модель свободного истечения охлажденного воздуха из камеры бытового холодильного прибора // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2013, № 4 (173). С. 16...18.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – 5-е изд. – М.: Наука, 1978.
5. Фихтенгольц Г.М. Основы математического анализа. – Т.1. – М.: Наука, 1962.

REFERENCES

1. Lemeshko M.A., Laletin I.V., Micik M.F. Opredelenie skorostej dvizheniya ohlazhdennogo vozduha pri otkryvanii dverej shkafa bytovogo holodilnogo pribora [El. resurs] // "Inzhenernyj vestnik Dona", 2011, № 4. – Rezhim dostupa: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011>
2. Fomin Yu.G., Petrosov S.P., Lemeshko M.A., Kozhemyachenko A.V., Donchenko I.Ya. Matematicheskaya model teplopritokov v kamery holodilnoj mashiny // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti. – 2016, № 1. S.158...161.
3. Lemeshko M.A., Micik M.F. Matematicheskaya model svobodnogo istecheniya ohlazhdennogo vozduha iz kamery bytovogo holodilnogo pribora // Izv. vuzov. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Tehnicheskie nauki. – 2013, № 4 (173). S. 16...18.

4. Lojcyanskij L.G. Mehanika zhidkosti i gaza. – 5-e izd. – M.: Nauka, 1978.
5. Fihtengolc G.M. Osnovy matematicheskogo analiza. – T.1. – M.: Nauka, 1962.

Рекомендована кафедрой технологических машин и оборудования ИВГПУ. Текстильный институт. Поступила 01.09.17.
