МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ В МОРОЗИЛЬНОЙ КАМЕРЕ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Смышляева Т.Е., Опалев А.Э.
Научный руководитель: Максимов В.И.,к.т.н., доцент
Национальный Исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина,30
E-mail: smyshliaevatanya@sibmail.com

В наше время трудно представить себе жизнь без холодильного оборудования. Комплекс взаимосвязанных процессов, влияющих на распределение температур в морозильных камерах холодильных установок сложно анализировать аналитически. Поэтому, для оптимизации работы холодильного оборудования необходимо применять реальный метод исследования распределения температур в морозильных камерах – численное моделирование.

Цель работы заключается в математическом моделировании естественной конвекции в морозильной камере холодильной установки.

Задачи:

1.Постановка задачи теплопереноса в морозильной камере холодильной установки прямоугольного поперечного сечения;

2.Создание вычислительного комплекса в среде MatLab, для моделирования процесса естественной конвекции в морозильной камере;

3.Анализ полученных результатов математического моделирования.

Полученные численные результаты могут быть использованы для подбора оптимальных режимов и параметров работы холодильных установок.

Физическая и геометрическая модели

Рассматривается область решения задачи теплопереноса, представленная на рисунке 1. Предполагалось, что на границах тепловой изоляции присутствуют граничные условия первого рода, $T = T_e$, где T_e – температура окружающей среды. Тепловая изоляция морозильной камеры (м.к.) – пенополиуретан. На внутренних границах м.к.– граничные условия первого рода $T = T_x$, где T_x – температура холодильного агента.

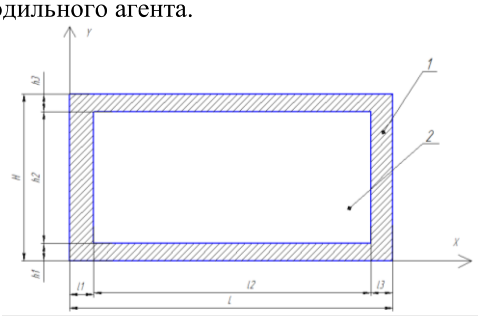

Рисунок 1 – морозильная камера, где 1 – тепловая изоляция корпуса , 2 –область внутри морозильной камеры (воздух).

При постановке задачи принят ряд допущений, что позволило упростить постановку задачи – теплофизические свойства тепловой изоляции и воздуха в морозильной камере не зависят от температуры.

Математическая модель

Принята двумерная постановка задачи по пространственным координатам. Исследуемый процесс в рамках принятой физической модели описывается системой нестационарных уравнений Навье-Стокса для газообразной фазы и уравнением теплопроводности для твердой фазы. При записи этой системы уравнений и соответствующих краевых условий использовались основные положения механики сплошной среды.

Процесс переноса тепла в области внутри морозильной камеры описывается системой нестационарных двумерных уравнений естественной конвекции в приближении Буссинеска [1].

Для приведения системы уравнений к безразмерному виду использовались следующие соотношения:

$$X=\frac{x}{L},\ Y=\frac{y}{L},\tau=\frac{t}{t_0}\ U=\frac{u}{V_{in}},\ V=\frac{v}{V_{in}},,$$

$$\Theta=\frac{T-T_0}{\Delta T}\ \ \Psi=\frac{\psi}{\psi_0},\ \Omega=\frac{\omega}{\omega_0},\ \Delta T=T_{in}-T_0,$$

$$\psi_0=V_{in}L,\ \omega_0=\frac{V_{in}}{L};$$

Безразмерные уравнения Навье-Стокса в переменных «вихрь скорости – функции тока – температура» для рассматриваемой задачи (для газовой фазы морозильной камеры)[2]:

$$\frac{\partial\Omega}{\partial\tau}+U\frac{\partial\Omega}{\partial X}+V\frac{\partial\Omega}{\partial Y}=\frac{1}{\sqrt{Gr}}\left(\frac{\partial^2\Omega}{\partial X^2}+\frac{\partial^2\Omega}{\partial Y^2}\right)+\frac{1}{2}\left(\frac{\partial\Theta}{\partial X}\right);\ (1)$$

$$\frac{\partial\Theta}{\partial\tau}+U\frac{\partial\Theta}{\partial X}+V\frac{\partial\Theta}{\partial Y}=\frac{1}{\mathrm{Pr}\cdot\sqrt{Gr}}\left(\frac{\partial^2\Theta}{\partial X^2}+\frac{\partial^2\Theta}{\partial Y^2}\right);\ (2)$$

$$\frac{\partial^2\Psi}{\partial X^2}+\frac{\partial^2\Psi}{\partial Y^2}=-2\cdot\Omega.\ (3)$$

Уравнение теплопроводности для твердой фазы (тепловой изоляции морозильной камеры):

$$\frac{1}{Fo}\frac{\partial\Theta_1}{\partial t}=\left(\frac{\partial^2\Theta_1}{\partial X^2}+\frac{\partial^2\Theta_1}{\partial Y^2}\right),\ (4)$$

где x,y–размерные координаты;X,Y–безразмерные координаты, соответствующие x,y; L – длина полости по оси x; t_0 – масштаб времени; τ – безразмерное время;u,v – скорости по осям x,y соответственно; U,V – безразмерные скорости соответствующие u,v; V_{in} – масштаб скорости (скорость потока на входе); Θ – безразмерная температура; T_0 –температура газа и твердого тела в начальный момент времени; T_{in} – температура входного потока; ψ – функция тока; ψ_0 – масштаб функции тока; Ψ – безразмерный аналог ψ; ω – вихрь скорости; ω_0 - масштаб вихря скорости; Ω – безразмерный аналог ω, $\mathrm{Fo}=\frac{a\cdot\tau}{\mathrm{L}^2}$ – критерий Фурье.

Граничные условия:

Для внешних границ тепловой изоляции задаются граничные условия первого рода $\Theta_e = 1$.

Для внутренних границ м.к.:

$$\left| \begin{array}{l} \Psi = 0,\ \dfrac{\partial \Psi}{\partial X} = 0, \\ \Theta_x = 0. \end{array} \right.$$

при $\left| X = \frac{l_1}{L},\ \frac{h_1}{L} \le Y \le \frac{h_1 + h_2}{L}. \right.$

$$\left| \begin{array}{l} \Psi = 0,\ \dfrac{\partial \Psi}{\partial X} = 0, \\ \Theta_x = 0. \end{array} \right.$$

при $\left| X = \frac{l_1 + l_2}{L},\ \frac{h_1}{L} \le Y \le \frac{h_1 + h_2}{L}. \right.$

$$\left| \begin{array}{l} \Psi = 0,\ \dfrac{\partial \Psi}{\partial Y} = 0, \\ \Theta_x = 0. \end{array} \right.$$

при $\left| Y = \frac{h_1}{L},\ \frac{l_1}{L} \le X \le \frac{l_1 + l_2}{L}. \right.$

$$\left| \begin{array}{l} \Psi = 0,\ \dfrac{\partial \Psi}{\partial Y} = 0, \\ \Theta_x = 0. \end{array} \right.$$

при $\left| Y = \frac{h_1 + h_2}{L},\ \frac{l_1}{L} \le X \le \frac{l_1 + l_2}{L}. \right.$

В результате численного решения задачи получены распределения температур в морозильной камере с учетом естественной конвекции, характеризующие основные закономерности рассматриваемого процесса.

Рисунок 2. Распределение температур в морозильной камере для модели естественной конвекции, шаг по времени 0,1; время 10.

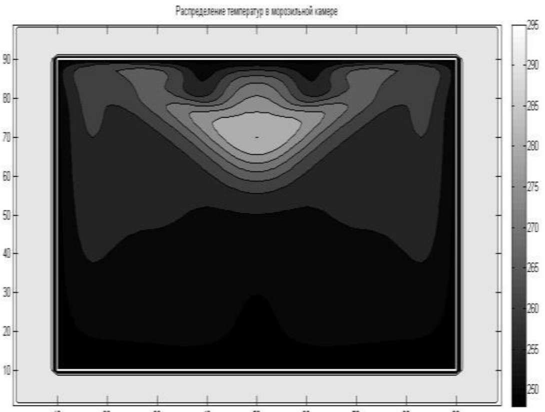

Рисунок 3. Распределение температур в морозильной камере для модели естественной конвекции,шаг по времени 0,1; время 20.

В настоящей работе проведено математическое моделирование естественной конвекции в морозильной камере холодильной установки. Разработаны физическая, геометрическая и математическая модели. Составлена программа, для моделирования процессов естественной конвекции в морозильной камере, в среде MatLab. Получены распределения температур в морозильной камере с учетом естественной конвекции, характеризующие основные закономерности рассматриваемого процесса.

Литература:

1. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. –172 с.

2. Пасконов В.М., Полежаев В.И., ЧудовЛ.А.Численное моделирование процессов тепло и массообмена: учебное пособие. – Москва: Изд-во «Наука»,1984. – 284 с.

3. Кузнецов Г.В. Режимы смешанной конвекции в замкнутом двухфазном термосифоне цилиндрической формы // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318, №4:Энергетика. – С. 18-23.

4. Джалурня Й. Естественная конвекция. Тепло и массообмен I под ред. В. И. Полежаева. – Москва: Изд-во «Наука», 1983.

5. Исаев С. И. Теория тепломассообмена под ред. А. И. Леонтьева. – Москва: Изд-во «Наука»,1979.

6. Патапкар С. В. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в канате / пер. с англ. Е. В. Катабина; под ред. Г. Г. Янькова. – Москва: Изд-во «Наука», 2003.