

Моделиране и изследване на температурата в камера с двустъпална хладилна машина

Пламен Мушаков, Иванка Желева, Иван Георгиев

Modeling and investigation of the temperature in two-stage refrigeration machine: ever - current issue is to conduct experimental and theoretical research on dynamic characteristics of two-stage refrigerating machines, which use new multicomponent refrigerants. Based on the results of such studies can be created a range of two-stage cryogenic equipment providing guaranteed cooling.

Key words: *Heath transfer, Refrigerator, Mathematical modeling.*

ВЪВЕДЕНИЕ

През последните години все по – актуален е въпросът за провеждане на експериментални и теоретични изследвания на динамичните характеристики на двустъпални парокompресорни хладилни машини, при които се използват нови многокомпонентни хладилни агенти. На основата на резултатите на такива изследвания може да бъде създадена цяла гама двустъпално нискотемпературно оборудване, осигуряващо гарантирано охлаждане до температури от интервала $[-40^{\circ}\text{C}, -70^{\circ}\text{C}]$, с което може да се заменят не достатъчно ефективните азотни системи за замразяване и съхранение и да се намалят разходите за енергия в сравнение с едностъпалните парокompресорни хладилни инсталации.

В тази работа се изследва температурата в двустъпална парокompресорна хладилна инсталация, проектирана и изработена в катедра ТХЕ на Русенски университет.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Основните предимства на парокompресорните системи за нискотемпературно охлаждане са автономност и компактност. Методите за определяне на студопроизводството могат да бъдат разделени на две групи: аналитични и експериментални. Аналитичното изследване обикновено се базира на математически модели, в които се използват и експериментални данни.

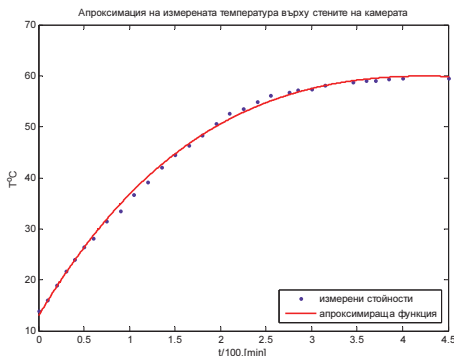
Външният вид на нискотемпературна камера с ПКХМ, разработена в катедра ТХЕ на Русенски университет е показан на фиг.1.



Фиг.1. Нискотемпературна камера с ДКХМ, разработена в катедра ТХЕ на Русенски университет

В тази работа ще представим следните експериментални данни, за които се извършени измервания през 60 секунди в продължение на 45 минути: температура на въздуха в работния обем на камерата, температура на стената в работния обем на камерата, температура на нагревателя.

На фигура Фиг.2 са представени измерените и апроксимирани температури на стените на работната камера.



Фиг.2. Температура на стените на камерата във времето

Функцията, с която е апроксимирана поредицата измерени експериментално данни за температурата T е от вида $T(x) = a \cdot \exp(-b \cdot t) + c$, където коефициентите са определени с 95% доверителен интервал и са:

$$\begin{aligned} a &= 28.84 \quad (28.13, 29.55) \\ b &= 0.2292 \quad (0.2209, 0.2374) \\ c &= 13.9 \quad (\text{fixed at bound}) \end{aligned}$$

Параметрите на апроксимацията са SSE: 15.31, R-square: 0.9977, Adjusted R-square: 0.9976, RMSE: 0.7395. От тях се вижда, че апроксимацията на експерименталните данни е много добра и в по-нататъшните изследвания на температурата в камерата на хладилната машина може да се използва функцията (1):

$$T_{\text{wal}}(x) = 28,84 \cdot \exp(-0,2292 \cdot t) + 13,9 \quad (1)$$

Моделирането и изчисляването на термодинамичните цикли на ДКХМ се основава на уравнението на топлинния баланс за всички компоненти на хладилната машина. Процесите на охлаждане и нагряване при постоянно налягане са съпроводени с различни фазови преходи, следователно, е необходимо да се изчислят характеристиките на фазовото равновесие [1]. Въпреки това, ако за стационарните методи изчисляването на съотношението за определяне на топлинните параметри се основават на точното решение на задачите на топлопроводимост и топлинен баланс, то нестационарните методи са по-сложни и преносът на топлина се описва с диференциални уравнения, точно аналитично решение на които съществува само в някои частни случаи. Изследването на нестационарния топлообмен в разглежданата хладилна камера, се описва с уравнението:

$$c_p \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = \nabla(\lambda \nabla T), \quad (2)$$

където ρ е плътността на въздуха c_p е специфичния топлинен капацитет на въздуха, а λ е коефициента на топлопроводност на въздуха. T е температурата, измерена в градуси на Целзий, τ – времето,

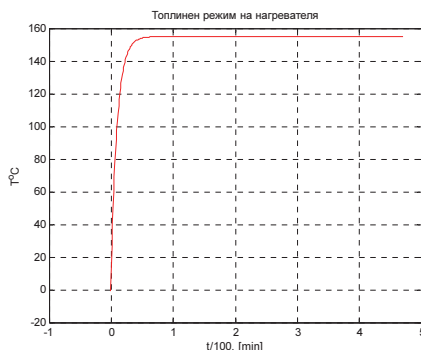
В общия случай методът на косвено определяне на студопроизводството при нестационарен процес се състои в математическо моделиране топлинните характеристики на изследвания обект и изчисляването на студопроизводството по промяната на температурата в охлаждаения обект. При охлаждането температурата

на всички елементи на инсталацията се понижава от първоначалната им температурата, съпадаща с температура на околната среда $T_{OK CP}$. до стойности на температурата при установен режим на работа на съответната машина [2, 3]. При това студопроизводството непрекъснато се променя.

Физическата същност на метода се състои в това, че процеса на разпространение на топлина чрез топлопроводност, може да се представи като съвкупност от процеси на изравняване на температурата от множество елементарни източници на топлина, разпределени както в пространството така и във времето.

Температурата на нагревателя от известно място нататък е постоянна във времето и е $155^{\circ}C$. В началния момент тя е $13,9^{\circ}C$, колкото е температурата на околната среда и след това много бързо нараства до $155^{\circ}C$. За описание на този характер на изменение на температурата на нагревателя е конструирана функцията:

$$T_{heater}(t) = 155 - 141.1 \exp(-10t) \text{ при } t [0, 450 \text{ min}] \quad (3)$$



Фиг.3. Топлинен режим на нагревателя в зависимост от времето

Тази функция моделира най-добре характера на изменението на температурата на нагревателя при нестационарни условия. На следващата Фиг. 3 е представена графиката на изменение на температурата на нагревателя във времето.

От нея се вижда, че в началния момент от включване захранването на нагревателя до достигане до работен режим имаме кратък преходен период на топлинна инертност. Продължителността на този период зависи от конструкцията на нагревателя, покритието на излъчващата повърхност, масата и материалът от който е изработен. Този факт при определяне на специфичните топлинни характеристики и студопроизводството не се взема предвид, поради относително краткото му време в сравнение с продължителността на работа на хладилната машина. Тази зависимост ни показва от кой период време ще имаме постоянен топлинен източник на топлина, имитиращ топлинно натоварване при охлаждане на нискотемпературна камера.

За да определим температурата на въздуха във вътрешността на камерата ще построим математически модел на топлопренасянето, основан на уравнението (2). Ще търсим числено решение на това уравнение, което удовлетворява следните начални и гранични условия:

- Начално условие при $t = 0$ и $-0,65 \leq x \leq 0,65$, $0 \leq y \leq 1,45$, $T = 13,9^{\circ}C$, $T(0, x, y) = 13,9$

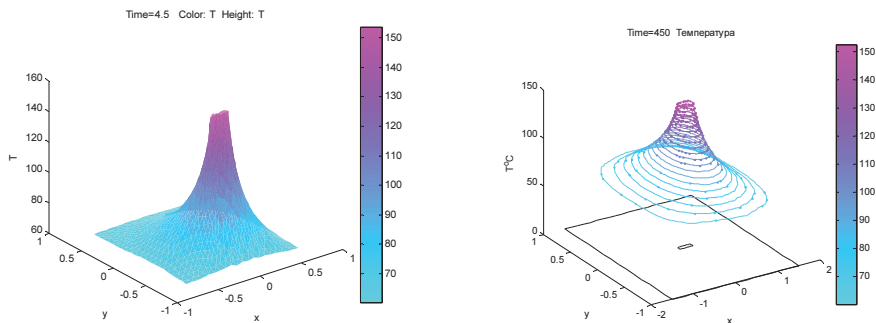
- Гранични условия – на вътрешните стени $T = T_{wal}$, съгласно уравнение (1) и върху нагревателя $T = T_{heater}$, съгласно уравнение (3).

При изчисляването процесите нагряване и охлаждане в дадената хладилна

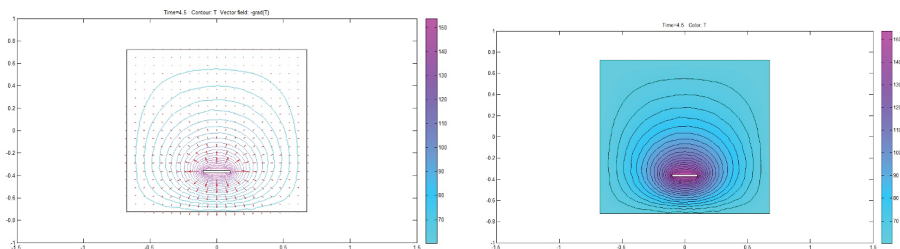
камера се избират постоянни стойностите на коефициентите λ , c_p , съответстващи на някаква средна температура на процеса. В диапазона на изменение на температурата на въздуха в работния обем на нискотемпературната камера - от температура на околната среда до достигане на стационарен режим - топлофизическите коефициенти значително се изменят, особено коефициента на топлопредаване. Средната температура, която съответства на приетите стойности на топлофизическите коефициенти, се определя чрез съпоставка на опитните данни при измерване на температурата с резултатите от изследването. За дадената работа се приемат следните топлофизически коефициенти на въздуха:

$$\lambda = 0,0263 \text{ W/m.K}, c_p = 1006 \text{ J/kg.K}$$

На следващите фигури (7 -10) са представени изчислените температури при $t = 450 \text{ min}$.

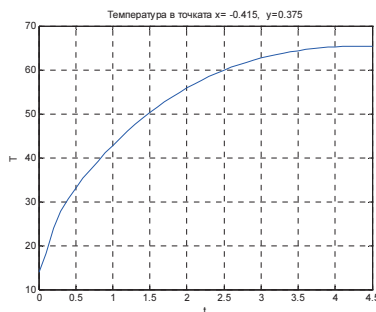


Фиг.4. Температура в хладилната камера при $t = 450 \text{ min}$



Фиг.5. Изолинии на температурата и градиент на температурата в хладилната камера при $t = 450 \text{ min}$

От получените резултати на температурното поле в работния обем на нискотемпературната камера се вижда наличието на голям температурен градиент. Освен това, от изотермите се вижда, че в ъглите на камерата има “мъртви” температурни зони. Наличието на такива зони, както при охлаждане, така и при загреване, нарушава технологичния режим при съхранение на различни видове хранителни продукти. За предотвратяване на това явление е необходимо да се монтира вентилатор за увеличаване на конвективния пренос и хомогенизиране на температурното поле.



Фиг.6. Изменение на температурата във времето в точката (-0.415, 0.375)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработена е методика за числено изследване на температурата в нискотемпературна камера с двустъпална хладилна машина. Получени са резултати за температурата, които позволяват определяне зависимостта на темпа на охлаждане (нагряване) от физическите параметри на охлажданото тяло, от топлопроводността и от специфичния му топлинен капацитет при регулярен режим на работа на охладителната система. Тези резултати ще бъдат използвани за анализ и управление на режима на охлаждане в дадената нискотемпературна камера и определяне на студопроизводството ѝ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Боярский М.Ю., Подчерняев О.Н. Методы расчёта фазовых равновесий и термодинамических свойств для анализа циклов дроссельных рефрижераторов на смесях. ВИМИ (Москва), 1990.
- [2]. Дичев, Ст. Хладилни машини. ВИХВТ-Пловдив, 2002.
- [3]. Макаров Б.А., Кротов А.С., Жердев А.А. Математическое моделирование динамических тепловых характеристик холодильной камеры МГТУ им. Н.Э. Баумана. Машиностроение, 2010.

При изпълнение на настоящата работа е използвано оборудване, закупено по проект BG161PO003-1.2.04.-0011-C0001 "Развитие на приложните изследвания в Русенски университет", осъществяващ се с финансовата подкрепа на ОП „Развитие на конкурентоспособността на българската икономика” 2007-2013, съфинансирана от Европейския съюз чрез Европейски фонд за регионално развитие и от държавния бюджет на Р. България”.

За контакти:

Гл. ас. Пламен Мушаков, катедра ТХЕ, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.082-888 304, e-mail: pgm@uni-ruse.bg

Доц. д-р Иванка Желева, катедра ТХЕ, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 585, e-mail: izheleva@uni-ruse.bg

Ас. Иван Георгиев, катедра Приложна математика, Русенски университет “Ангел Кънчев”, e-mail: irgeorgiev@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.