Експериментално определяне скоростта на охлаждане в нискотемпературна камера

Пламен Мушаков

Experimentally determination the rate of cooling in a cold chamber: *The present report presents the results of an experimental research the change of the air temperature in cold chamber, depending on the thermal power. The experimental values have been obtained for the change in the rate of cooling in the operating temperature range.*

Key words: *Cooling rate, Heat Transfer Coefficient.*

ВЪВЕДЕНИЕ

В настоящият доклад са представени резултати от експериментално изследване изменението на температурата на въздуха в хладилна камера в зависимост от топлинното натоварване. Получени са стойности на изменението на скоростта на охлаждане в температурния диапазон -10^{0}C до -50^{0}C.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Охлаждането и замразяване са приложения, които все по-често се използват при производството на хранителни продукти. Всеки метод се оценява чрез съпоставяне на голям брой признаци (характеристики), сред които първостепенно значение имат качество на получения продукта и ефективността на процеса охлаждане. За качественото им реализиране решаваща роля има скоростта на процеса. Многочислени експериментални резултати показват тясната връзка между качеството на продукта и скоростта на замразяване му. Този процес може да се опише във вид на диференциално уравнение от вида:

$$\frac{dQ}{d\tau} = \alpha.F.(t_S - t), \qquad (1)$$

където: Q е количеството топлина отвеждана от тялото, J;

F − площта на външната повърхност на охлажданото тяло, m^2;

t − температура на охлажданото тяло, ^{0}C;

t_S − температура на охлаждащата (околна) среда, ^{0}C;

α − коефициент на топлопредаване, зависещ от геометрията на тялото, състоянието на повърхността, режима на топлопредаване и други фактори, W/m^2.K.

Коефициентът на топлопредаване оказва значително влияние за съкращаване продължителността на охлаждане или замразяване особено при дебелина на продукта 10 – 12 cm, при по-голяма дебелина, увеличаването му слабо интензифицира процеса на замразяване.

Ако приемем, че коефициентът на топлопредаване α и площта F са относително постоянни, то процесът ще зависи от температурната разлика $\Delta t=t_S-t$. Колкото е по-ниска температурата на охлаждащата среда, толкова и по-бързо ще се понижава температурата на продукта.

Общоизвестно е обаче, че температурата на охлажданото тяло намалява експоненциално във времето τ и постепенно се приближава към температурата на охлаждащата среда:

$$T(\tau) = T_S + (T_0 - T_S).e^{-K.\tau} \qquad (2)$$

където: T_0 е началната температура на тялото, ^{0}K;

T_S - температура на околната среда, ^{0}K;

к – параметър, зависещ от коефициента на топлопредаване α, топлообменната

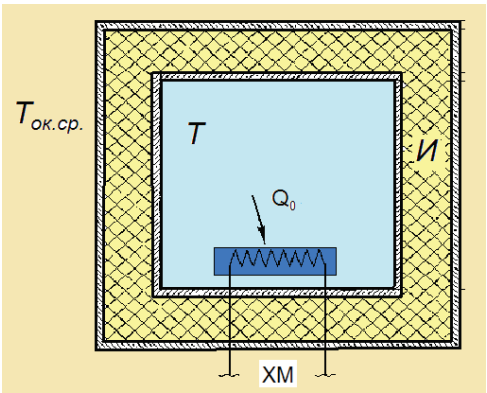
повърхност F и специфичният топлинен капацитет c на продукта.

Следователно скоростта на понижаване на температурата е важна работна характеристика на всяка хладилна камера. Тя показва как се изменя температурата на въздуха в работния обем за единица време: $u = \Delta t / \tau$ [K/s] и най-добре би било да следва законът на изменение на температурата на тялото. Това обаче практически е неосъществимо поради сложността на контролиране и измерване на процесите протичащи при охлаждане (изменение на студопроизводството на хладилната машина в зависимост от температурата, измерване на температурата на тялото в дълбочина, контролиране на коефициента на топлопредаване, определяне състоянието на повърхността и др.).

На скоростта на охлаждане също влияе и работата на обдухващия вентилатор. Кратността на циркулация на въздуха пряко влияе върху стойността на коефициента на топлопредаване между продукта и охлаждащата среда. Освен това работата необходима за създаване на въздушен поток се отделя във вид на топлина в работния обем на камерата

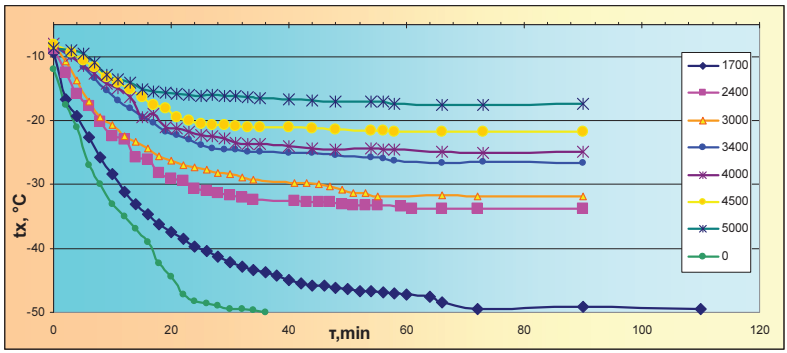
Върху скоростта на охлаждане оказват влияние редица фактори: размери на продукта; големината на повърхността му; маса на продукта; специфичен топлинен капацитет; начална температура на продукта; крайна температура на продукта и много други. Колкото е повече влагата в продукта, толкова е по-голям и специфичният му топлинен капацитет. Хранителните продукти имат ниска топлопроводност, затова те се охлаждат относително бавно. Охлаждането им във въздух е съпроводено с изпарение на влага от повърхността и отделяне на вътрешна топлина за сметка на биологични процеси. В такъв случай, охлаждането е комплексен процес на топло- и масообмен, което не е предмет на нашите изследвания.

В случая изследвания обект е нискотемпературна хладилна камера охлаждана от двустъпална хладилна машина, като на фиг.1 е дадена схема на топлоизолирания корпус.



Фиг.1. Схема на хладилната камера

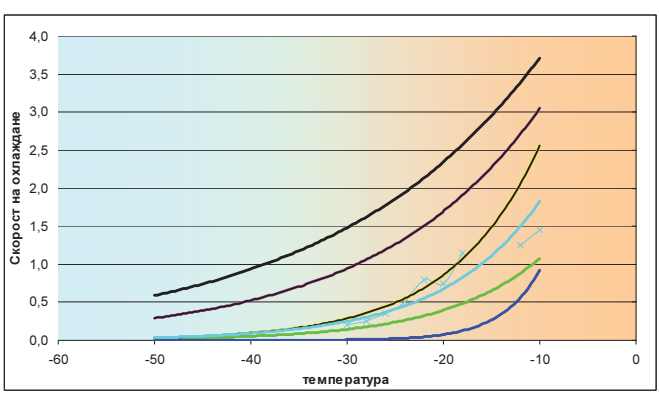
При проведените експериментални изследвания на нискотемпературна камера бяха получени зависимостите на изменение на температурата на охлаждаемата среда от времето при различни стойности на топлинното натоварване на хладилната машина.



Фиг.2. Зависимост на температурата на въздуха в работния обем на нискотемпературната камера от времето при различно топлинно натоварване

От графиката на фиг.2 се вижда, че скоростта на изменение на температурата в охладителната камера във времето при различни хладилни мощности на хладилната машина. При най-ниска мощност скоростта на охлаждане на въздуха е най-голяма и времето за достигане на стационарен режим – най-малко. Също показва, че изменението на температурата е нелинейно, а по експонента. В интервала от -10 ^{0}C до -40 ^{0}C скоростта на охлаждане е максимална - около 2,5 ^{0}K/min, с намаляване на температурата, скоростта намалява. В участъка от -40 ^{0}C до -60 ^{0}C средната скорост на охлаждане е по–малко 0,7 ^{0}K /min.

Върху скоростта на охлаждане влияят топлопритоците от околната среда и топлотехническите характеристики на охлажданото тяло. В началния момент, когато температурата в работния обем на камерата е равна на температурата на околната среда t_S, топлопритоци отсъстват и затова цялото студопроизводство на компресора се изразходва за охлаждане на въздуха в камерата и вътрешните конструкционни части. С нарастване на температурната разлика Δt нарастват и притоците на топлина в камерата.



Фиг.3. Зависимост на скоростта на охлаждане при различно топлинно натоварване на хладилната камера (W) -- 0 — 1700 — 2400 — 3000 — 4000 -- 5000

В такъв случай намаляването на скоростта на охлаждане при понижаване на работната температура е обусловено от нарастване на топлопритоците в камерата

от околната среда, които зависят от обема на камерата и от качеството на топлоизолацията.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

➢ В температурните граници от 0 до –50^{0}C намаляването на температурата в работния обем е със средна скорост 1,8^{0}K/min.

➢ Получените резултати за скоростта на охлаждане ще позволят разработването на оптимален алгоритъм за настройка регулирането на температурата и работата на хладилната машина.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Дичев Ст. Хладилни машини, ВИХВП, Пловдив, 2002.
[2]. Быков А.В., Калнинь И.М., Крузе А.С. Холодильные машины и тепловые насосы. - М.: Агропромиздат, 1988.
[3]. Нуждин А.С., Ужанский В.С. Измерения в холодильной технике - Москва: Агропромиздат,1986.

Благодарности: *докладът отразява резултати от работата по проект No 2015 – АИФ – 03, финансиран от фонд „Научни изследвания“ на Русенския университет.“*

За контакти:
Гл. ас. д-р Пламен Мушаков, катедра “Топлотехника, хидравлика и екология”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 304, e-mail: pgm@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.