

Методические указания

к решению задач по курсу
"Холодильная техника и технология"
(для студентов заочной формы обучения по специальности 271200 и
061600
II и IV курсы)

(Методические указания могут быть использованы студентами дневной формы обучения в качестве основы для самостоятельной работы над материалом курса)

Составители:
Доцент Цуранов О.А., доцент Тимофеевский А.Л.

Санкт - Петербург
2001 г.

Введение

Методические указания к решению задач по холодильной технике и технологии подготовлены с учётом практики холодильной обработки и хранения скоропортящихся продуктов в торговле и общественном питании и, в свою очередь, вытекающих из этого условий технически грамотного расчёта, подбора и эксплуатации холодильного оборудования.

1. Пояснения к решению задач

1.1. Охлаждение продукта

Аналитическое решение задачи об охлаждении тела заданной стереометрической формы дано проф. Лыковым А.В. [2]. Оно отражено в специализированной технической литературе и в учебной литературе, в том числе в методических указаниях к лабораторным работам по оценке длительности охлаждения пищевых продуктов [6]. Длительность охлаждения продукта, форма которого подобна пластине, оценивается формулой (1.1), шара - (1.2) [6].

Приближённое и относительно простое решение задачи даёт формула А. Фикина [1].

Длительность охлаждения продуктов рекомендуется оценивать на основе решения задачи А. Фикина.

При решении задачи следует обратить внимание на параметры, определяющие скорость охлаждения (α Вт/м²К; R, м.; t_c , °С) и, в последующем, длительность холодильного хранения продукта.

Решение задачи упрощается, если для решения использовать номограммы $\theta_c - F_0$ - для центра или $\theta_n - F_0$ - для поверхности продукта.

В учебном пособии [6], а также в настоящем учебном пособии (Приложение 1),

представлены номограммы в основном для центра продукта $\theta_c - F_0$ поскольку на практике наиболее часто требуется оценить длительность охлаждения продукта в его центре.

Решение задачи сводится к последовательному определению величин: ;

$$\theta_c = \frac{t_{r,r} - t_c}{t_n - t_c} \quad Bi = \frac{\alpha R}{\lambda_0} ; \quad F_0 = \frac{a \tau}{R^2}$$
 и из величины F_0 - длительность охлаждения продукта.

1.2. Длительность замораживания продукта

Длительность замораживания продукта устанавливается на основе уравнения Р. Планка [1].

В приведённой в формуле Р. Планка [1] теплопроводность продукта соответствует теплопроводности льда λ_n , Вт/мК.

Для увеличения точности расчёта по формуле Р. Планка, проф. Чижов Г.Б. эту величину представил в виде теплопроводности замороженного продукта λ_m , Вт/мК [6].

$$\lambda_m = \lambda_0 + \omega \Delta\lambda \quad (1)$$

где: $\Delta\lambda = 0.95$

$\Delta\lambda$ - количество вымороженной воды (представляется в долях единицы).

$$\omega = 1 - \frac{t_{\text{ср}}}{t} \quad (2)$$

Величину " ω " следует учитывать на основе выражения (2) [7]. Среднюю по объёму температуру продукта " t " оценивают как среднюю логарифмическую.

$$t = \frac{t_{ск} - t_{кр}}{Ln \frac{t_{ск}}{t_{кр}}} \quad (3)$$

В простейшем случае, средняя конечная температура "t_{ск}" принимается равной температуре последующего холодильного хранения т.е. учитываются условия:

$$t_{ск} = t_{ск}$$

Для тел замкнутого объёма чаще применяют видоизмененную формулу Р. Планка [6]:

$$\tau = \frac{i_H - i_K}{2(t_{кр} - t_c)} \rho \left(\frac{\delta}{A \alpha} + \frac{\delta^2}{B \lambda_i} \right) \quad (4)$$

где: $\delta = 2R$

i_H, i_K - теплосодержание продукта устанавливают на основе данных таблицы 2. Коэффициенты формы продукта А и В находят из таблицы 1.

Таблица 1

Коэффициент формы продукта

Форма продукта	А	В
Продукт, форма которого подобна пластине при двухстороннем теплоотводе	1	4
Продукт, форма которого подобна цилиндру	2	8
Продукт, форма которого подобна шару	3	12

1.3. Решение задач, связанных с анализом намерзания льда на плоской поверхности

При решении задач, связанных с анализом процесса намерзания льда на теплоотводящей поверхности, например, оценкой работы льдогенератора пластинчатого типа, возможно использовать выражение (8) или (9) [9].

Общее решение задачи даётся формулой (5).

$$x = \sqrt{\frac{2B\tau}{A+D} + b^2} - b, \text{ м.} \quad (5)$$

$$\text{где: } B = n \lambda_m (t_{кр} - t_c), \quad (6)$$

$$A = L_m \rho_m, \quad (7)$$

$$D = \frac{\rho_m C_m}{n+1} (t_{кр} - t_c), \quad (8)$$

$$b = \lambda_m \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_{см}}{\lambda_{см}} \right), \quad (9)$$

При замораживании воды $t_{кр}=0,^{\circ}\text{C}$. Поскольку $\alpha=350\dots430$ т.е. величина достаточно большая, с некоторым приближением можно считать, что $\alpha \rightarrow \infty$.

$$\frac{\delta_{см}}{\lambda_{см}} \rightarrow 0$$

Кроме того $b \rightarrow 0$. На основе принятых допущений выражение (5) может быть представлено в более простом виде:

$$x = \sqrt{\frac{2\lambda_m(t_o/l)}{2L\rho_m + C_m(t_o/l)}}, \text{ м.} \quad (10)$$

При $t_o < (-15\dots-20)^{\circ}\text{C}$ $\lambda_m=1.2$ Вт/мК, $C_m=2095$ Дж/кгК, $L=335$ кДж/кг
Теплосодержание продуктов приближённо можно оценить по данным таблицы 2. Более точно значения величин теплосодержаний продуктов оценивают по таблице 7 [3].

1.4. Оценка состояния влажного воздуха

При решении задач, связанных с оценкой состояния влажного воздуха, используется $i - d$ диаграмма (Приложение 1). Последовательность определения параметров влажного воздуха отражена на рис.1. Относительная влажность воздуха $\Phi, \%$ находится по температуре сухого и влажного термометра. По температуре влажного термометра находится положение

Таблица 2

Теплосодержание продуктов, кДж/кг

Температура продукта, $^{\circ}\text{C}$	Говядина, птица	Рыба	Фрукты, плоды, овощи	Творог
-20	0	0	0	0
-18	4.6	5	6.7	9.4
-10	30.2	33.6	38.5	53.2
-2	98.8	117	211<	200
0	232	266	272	299
2	238	278	279	305
4	245	280	287	313
10	264	301	309	334
20	297	336	346	373
30	329	371	385	405

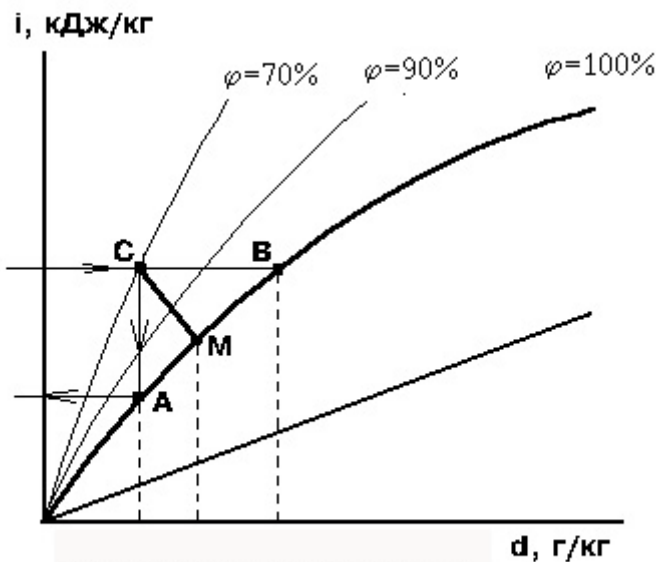


Рис.1 Иллюстрация к определению параметров влажного воздуха

точки "М" и далее по линии $i = \text{const}$ на пересечении с температурой сухого термометра находится искомая величина, $\varphi\%$. Опуская перпендикуляр из точки "С" на линию $\varphi=100\%$ находят точку "А". Температура, соответствующая этой точке отражает температуру точки росы - $t_p, ^\circ\text{C}$.

Более полное пояснение к пользованию диаграммой представлено в методическом указании [9].

Количество влаги, осевшей на поверхности испарителя находится по разности влагосодержаний воздуха, поступившего в камеру и вышедшего из камеры через



Рис.2 Иллюстрация к оценке влажопотока через дверь

$$\Delta G = V \rho_{\text{возд}} (d_{\text{вх}} - d_{\text{вых}}) \tau 1000, \text{кг} \quad (11)$$

Площадь поверхности двери делится на 3 зоны (Рис. 2). Учитываются площади дверного проёма входа и выхода, скорость движения воздуха "v" в проёме и длительность поступления воздуха через проём τ . Расход воздуха составляет:

$$V = F v_{\text{возд}}, \text{м}^3/\text{с} \quad (12)$$

$$F = \frac{1}{3} F_{\text{дв}}, \text{м}^2 \quad (13)$$

В том случае, если требуется установить толщину слоя инея, осевшего на поверхности испарителя " $h_{\text{ин}}$ ", при заданной средней плотности инея $\rho_{\text{ин}}$

площади поверхности испарителя F_o , толщина инея находится через объём влаги, осевшей на поверхности испарителя $V_o, \text{ м}^3$.

$$h_{\text{ин}} = \frac{V}{F_o}, \text{ м} \quad (14)$$

1.5. Пояснения к решению задач, связанных с регулированием температуры воздуха посредством приборов автоматики малых холодильных машин.

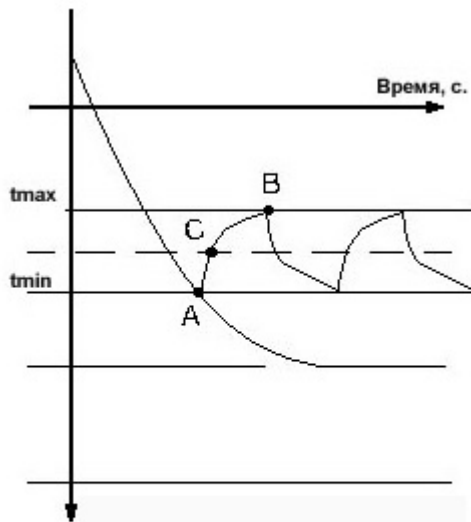


Рис.3 Пояснение к принципу работы приборов автоматического регулирования температуры

При оценке интервала регулирования температуры воздуха в холодильном оборудовании или температуры кипения холодильного агента в испарителе следует учитывать технические данные прибора [3,6,14] и обратить внимание на то, что основной регулировочный винт ограничивает понижение температуры ниже предельно заданной величины (рис.3, точка А), а дифференциал - повышение температуры (точка В).

При применении в качестве прибора автоматики прибора косвенного регулирования температуры воздуха, например РД-3, технологически заданная температура воздуха ($t_{\text{воз}}, \text{ }^\circ\text{C}$) устанавливается по давлению кипения. Она ниже температуры кипения на 10...15 $^\circ\text{C}$.

1.6 Длительность размораживания пищевых продуктов.

Продолжительность размораживания продуктов оценивают формулой (15)[12].

$$\tau = \frac{q_m \rho_m \delta}{t_c - t_{\text{кр}}} \times \frac{B_i}{4\alpha} \times \left[1 + \frac{2C_o}{\mu_1^2 q_m} (t_c - t_{\text{кр}}) \right], \text{ с.} \quad (15)$$

где: $q_m = W \omega L$, кДж/кг,

W - влажность продукта

$$B_i = \frac{\alpha \delta}{\lambda_m}$$

По величине Био $\frac{\alpha \delta}{\lambda_m}$ находится корень характеристического уравнения μ_1 для тела заданной формы (Таб. 3)

Число Био (Bi) и корень характеристического уравнения μ_1

Пластина	Пластина	Шар	Шар
Bi	μ_1	Bi	μ_1
0,001	0,0316	0,01	0,1730
0,002	0,0447	0,02	0,2445
0,004	0,0632	0,04	0,3450
0,006	0,0774	0,06	0,4217
0,008	0,0893	0,08	0,486
0,01	0,0998	0,1	0,5423
0,1	0,3111	0,5	1,1656
0,5	0,6563	1,0	1,5708
1	0,8603	3,0	2,2889
5	1,3138	5,0	2,5704
7	1,3766	7,0	2,7165
10	1,4289	10	2,8363
100	1,5552	100	3,1105

Коэффициент теплоотдачи α , Вт/м²К для воды принимают в соответствии со скоростью движения воды:

$$v=0.0 \text{ м/с } \alpha=230 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

$$v=0.1 \text{ м/с } \alpha=350 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

$$v=0.2 \text{ м/с } \alpha=430 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

1.7. Потеря влаги (усушка) пищевых продуктов при охлаждении или холодильном хранении

Количество влаги теряемой продуктом при охлаждении или холодильном хранении оценивается исходя из выражения (16) [1]. Это решение представлено ниже.

$$g = \frac{U}{m} (1 - e^{-m\tau}) \quad \text{,кг} \quad (16)$$

где: U - начальная скорость потери влаги, кг/с,
 m - темп охлаждения, с⁻¹.

$$m = \frac{1.1 a \mu_1^2}{R^2} \quad \text{,с}^{-1} \quad (17)$$

Неравномерность температурного поля продукта:

$$\psi = \frac{\mu_1^2}{(\Gamma + 1)B_i} \quad (18)$$

α и Bi - оцениваются также, как при решении задачи об охлаждении продукта. Γ - фактор формы (пластина, $\Gamma=0$; цилиндр, $\Gamma=1$; шар, $\Gamma=2$)

Начальная масса продукта:

$$M_{гр} = V_{гр} \rho_{гр}, \text{ кг.} \quad (19)$$

$$U = \frac{t_n - t_k}{L} (M_{гр} C_m m - \psi \alpha F_{гр}) \quad (20)$$

При охлаждении продукта с влажной поверхностью (неупакованного продукта) коэффициент теплоотдачи следует увеличивать:

при $v > 2.2 \dots 2.5$ м/с практически не увеличивают,

при $v = 1.2 \dots 1.3$ м/с увеличивают в 2.1 раза,

при $v = 0.4 \dots 0.7$ м/с увеличивают в 2.4 раза.

Физические свойства влажного воздуха отражены в таблице 1 приложения 1.

1.8. Пояснения к решению задач, связанных с автоматическим регулированием холодопроизводительности холодильной машины

Теоретические основы процесса регулирования холодопроизводительности холодильной машины рассмотрены в [3,5,6]. Устройство приборов автоматики и область регулирования температуры кипения холодильного агента в испарителе и воздуха в охлаждаемом объёме при помощи этих приборов отражена в [5,6,14] или любом справочнике по холодильной технике.

1.9. Оценка холодопроизводительности холодильной машины, работающей в режиме, отличном от номинального

Для оценки холодопроизводительности холодильной машины, работающей в режиме, отличном от номинального, осуществляют пересчёт с рабочей холодопроизводительности на номинальную (паспортную) [3]:

$$Q_{o.ном} = Q_{o.раб} \frac{\lambda_{ном} q_{v.ном}}{\lambda_{раб} q_{v.раб}}, \text{ Вт} \quad (21)$$

Отмеченное в равной мере касается методики решения задач, связанных с заменой в холодильной машине холодильного агента отличного от используемого ранее.

1.10. Пояснения к решению задач, связанных с подбором трубопроводов холодильных машин

Для решения задачи, на базе номинального теплового режима, находится секундный объём описываемый поршнем - $V_h, \text{ м}^3/\text{с}$ [3,5]. По величине $V_h, \text{ м}^3/\text{с}$ и линейной скорости движения холодильного агента в виде пара и жидкости $v_{х.э}, \text{ м/с}$ по формуле (22) находится внутренний диаметр трубопровода.

$$d_{вн} = \sqrt{\frac{4 V_h}{\pi v_{х.э}}}, \text{ м} \quad (22)$$

1.11. Пояснения к решению задач, связанных с оценкой теплообмена в теплообменных аппаратах (испарителях)

Количество переданного тепла через плоскую стенку:

$$Q = K_o F_o (t_{нв} - t_{вк}), \text{ Вт} \quad (23)$$

K_o для плоской стенки

$$K_o = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{нв}} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{х.в.}}} \quad (24)$$

K_o для гладкой трубы

$$K_o = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{нв} d_H} + \frac{1}{2 \lambda_i} \ln \frac{d_H}{d_{вн}} + \frac{1}{\alpha_{х.в.} d_{вн}}} \quad (25)$$

2. Принятые обозначения:

$t_{r,c}$ - температура продукта в любой точке объема, °С,

t_H - начальная температура продукта, °С,

t_c - температура теплоотводящей среды, °С,

$t_{кц}$ - конечная температура центра продукта, °С,

i_H, i_k - теплосодержание продукта поступающего на замораживание и после холодильной обработки, кДж/кг,

r - координата точки объема продукта, м,

R - определяющий геометрический размер продукта, м,

$t_{вк}$ - температура воздуха в холодильной камере, °С,

$t_{нв}$ - температура наружного воздуха, °С,

t_o - температура кипения холодильного агента, °С,

$t_{вс}$ - температура всасывания холодильного агента, °С,

$t_{кр}, t_{ск}$ - криоскопическая и средняя конечная т.е. средняя по объёму продукта температура в конце процесса замораживания, °С.

t_k - температура конденсации холодильного агента, °С,

$t_{пер}$ - температура переохлаждения холодильного агента °С,

$t_{кр}$ - криоскопическая температура, °С, $t_{кр} = -1^\circ\text{C}$

$i_{раб}$ - рабочий коэффициент подачи компрессора,

$i_{ном}$ - номинальный коэффициент подачи компрессора,

V_H - часовой объём описываемый поршнями компрессора, м³/ч.,

λ_p - коэффициент теплоотдачи, Вт/м²К,

α - коэффициент теплоотдачи от кипящего холодильного агента к внутренней поверхности испарителя, Вт/м²К,

a - коэффициент температуропроводности продукта, м²/с,

ρ_e - теплопроводность продукта до замораживания, Вт/мК,

\times - теплопроводность замороженного продукта, Вт/мК,

$\rho_{пр}$ - плотность продукта до его замораживания, кг/м³,

Q_o - холодопроизводительность компрессора холодильной машины, Вт,

K - коэффициент теплопередачи ограждения, Вт/м²К,

W - количество влаги в продукте выраженное в процентах или в долях единицы,

F_o - площадь поверхности испарителя, м²,

Δt_w - подогрев воды в конденсаторе (2...4°С при обратном водоснабжении и 6...8°С при прямоточном из сети городского водоснабжения)

t_{w1}, t_{w2} - температура воды на входе и выходе из конденсатора, °С,

C_w - удельная теплоёмкость воды, кДж/кгК,

ρ_w - плотность воды, кг/м³,

K_o - коэффициент теплопередачи испарителя или воздухоохладителя, Вт/м²К,

$V_{\text{лин}}$ -линейная скорость движения, м/с,

V - расход среды, м³/с,

$d_{\text{вх}}, d_{\text{вых}}$ - влагосодержание воздуха на входе и выходе из холодильной камеры, кг/кг,

$\rho_{\text{возд}} = 1.29$ - плотность воздуха, кг/м³,

t_{max} -максимальная температура теплоотводящей среды или кипения холодильного агента, °С,

t_{min} -минимальная температура теплоотводящей среды или кипения холодильного агента, °С,

$t_{\text{ср}}$ -средняя температура теплоотводящей среды или кипения холодильного агента, °С,

C_m -теплоёмкость замороженного продукта, Дж/кгК,

$t_{\text{рав}}$ -равновесная температура воздуха, °С.

3. Указания к выбору варианта вопросов контрольной работы

Задание для выполнения контрольной работы подготовлено в соответствии с типовой и рабочей программами по курсу "Холодильная техника и технология".

Оно содержит два вопроса по теории курса и две задачи.

Выбор вопросов по теории курса осуществляется на основе таблицы 4, задач - на основе таблицы 5.

Выбор вариантов задания осуществляется по трём последним числам номера зачётной книжки.

3.1. Порядок выбора контрольных вопросов

Вариант принимается по таблице 4 на пересечении данных по первой цифре из трёх последних номера зачётной книжки в горизонтальной части таблицы и последней цифре номера зачётной книжки в вертикальной части.

Пример: Номер зачётной книжки 836064. Из таблицы 4 горизонтального ряда по цифре 0 и цифре 4 вертикального ряда принимается вариант 38;27. Из перечня вопросов рассматриваются вопросы 38 и 27.

Таблица 4

Варианты вопросов		Первая из трёх последних цифр номера зачётной книжки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Последняя цифра номера зачётной книжки.	0	1;21	4;17	6;30	8;28	9;31	11;29	2;34	10;20	12;13	36;15
	1	40;18	37;16	38;22	39;27	35;19	5;25	7;26	11;23	4;32	3;33
	2	37;25	35;28	11;34	12;19	2;26	9;27	12;16	1;16	3;27	11;34
	3	2;27	6;18	9;28	12;18	11;34	37;19	8;22	9;28	4;26	5;15
	4	38;27	35;18	39;16	2;22	3;18	5;14	7;32	11;19	1;19	2;15
	5	8;22	9;21	6;30	4;28	1;13	2;27	5;16	6;27	8;31	9;34
	6	4;26	7;15	8;17	9;19	10;22	11;28	4;29	5;31	6;18	7;28
	7	38;17	39;18	40;19	35;18	36;16	37;22	4;17	6;34	5;17	7;17
	8	8;14	9;19	10;23	10;25	1;27	2;29	3;25	5;18	7;19	8;27
	9	6;18	7;25	8;27	9;29	10;34	11;18	12;28	2;30	3;31	4;32

3.2. Контрольные вопросы

1. Основные методы холодильной обработки продуктов и их краткая характеристика.
2. Методы интенсификации охлаждения продуктов. Цель выполнения процесса.
3. Теплофизические характеристики продуктов. Особенности изменения теплофизических характеристик при замораживании.
4. Интенсификация замораживания продуктов. Цель выполнения процесса, краткая характеристика методов.
5. Изменение качества продукта при замораживании. Биохимические процессы в продуктах животного и растительного происхождения.
6. Льдообразование в продуктах при замораживании. Особенности течения процесса. Связь с качеством замороженного продукта.
7. Теплофизические основы процесса размораживания продуктов. Связь процесса размораживания с качеством продукта.
8. Холодильное хранение продуктов. Возможная продолжительность хранения продуктов. Влияние параметров теплоотводящей среды на длительность процесса.
9. Потеря влаги продуктом (усушка) при холодильной обработке и хранении. Методы борьбы с усушкой.
10. Микрофлора продуктов. Особенности питания и дыхания микрофлоры. Методы борьбы с микрофлорой.
11. Параметры теплоотводящей среды. Влияние параметров теплоотводящей среды на сохранность исходных свойств продуктов при холодильной обработке и хранении.
12. Основные отличия теоретического цикла паровой компрессионной холодильной машины от цикла Карно.
13. Целесообразность замены в схеме холодильной машины расширительного цилиндра дросселирующим устройством.
14. Достоинства и недостатки сухого хода компрессора. Показать в диаграмме T-S.
15. В диаграмме T-S и LnP-i в цикле холодильной машины с учётом перегрева паров на всасывании в цилиндр компрессора и при переохлаждении холодильного агента перед дросселирующим вентилем, отобразить величины q_0, q_k, L .
16. Какова целесообразность переохлаждения холодильного агента перед дросселирующим вентилем? Показать в диаграммах T-S и LnP-i.
17. В цикле в диаграммах T-S и LnP-i показать теплоту конденсации.
18. Какие объёмные потери наблюдаются в компрессоре и чем они обусловлены? Пояснить в диаграмме P-V.
19. Раскрыть физические процессы, протекающие в каждом аппарате холодильной машины.
20. Отобразить влияние температуры конденсации и кипения холодильного агента в испарителе на величину удельной холодопроизводительности килограмма холодильного агента.
21. Достоинства и недостатки систем охлаждения воздуха в холодильной камере и торговом холодильном оборудовании.
22. Эксплуатационные особенности компрессоров открытого типа.
23. Достоинства и недостатки рассольной системы охлаждения. Схема рассольной холодильной машины.
24. Эксплуатационные особенности ротационных компрессоров.

25. Эксплуатационные особенности компрессоров с экранированным ротором.
26. Назначение теплоизоляционных материалов. Оценка эффективности теплоизоляционного материала.
27. Основные виды теплопритоков, поступающих в торговое холодильное оборудование. Расчёт и подбор камерного холодильного оборудования.
28. Испарители и воздухоохладители. Требования к эксплуатации теплообменных аппаратов холодильных машин.
29. Работа компрессора холодильной машины сухим ходом. Отделители жидкости и теплообменники холодильной машины.
30. Регулирование подачи холодильного агента при помощи терморегулирующего вентиля (ТРВ).
31. Приборы автоматики холодильных машин, обеспечивающие поддержание заданной температуры воздуха в торговом холодильном оборудовании.
32. Влияние цикличной работы холодильной машины на температуру воздуха в охлаждаемом объёме и качество продукта.
33. Фильтры и осушители в схеме холодильной машины. Устройство, место установки в схеме холодильной машины.
34. Сравнение холодопроизводительности холодильной машины, работающей в разном температурном режиме. Номинальный (стандартный) температурный режим.
35. Физико - химические изменения в охлаждённом (замороженном) продукте животного происхождения.
36. Льдогенераторы. Принцип получения чистого прозрачного льда.
37. Фризеры мягкого мороженого. Получение взбитого мороженого высокого качества.
38. Технические средства для охлаждения продуктов. Целесообразность процесса. Методы интенсификации охлаждения.
39. Технические средства для замораживания продуктов. Целесообразность процесса. Методы интенсификации замораживания.
40. Дополнительные средства воздействия на продукт при холодильном хранении.

3.3. Порядок выбора задач

Вариант принимается по таблице 2 на пересечении данных второй цифры из трёх последних цифр номера зачётной книжки в горизонтальной части таблицы и последней цифре номера зачётной книжки в вертикальной части

Пример: Номер зачётной книжки 836064. Из таблицы 5 горизонтального ряда по цифре 6 и цифре 4 вертикального ряда принимаются задачи 16 и 24.

Таблица 5

Выбор вариантов задач

Выбор задачи		Вторая из трёх последних цифр номера зачётной книжки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Последняя цифра номера зачётной книжки	0	1;26	4;20	6;21	12;31	7;13	8;19	9;24	11;32	10;18	16;28
	1	17;25	23;28	3;30	2;32	5;14	8;15	1;24	12;22	11;14	8;13
	2	6;15	7;18	9;11	13;19	3;22	10;21	15;18	17;28	12;22	16;18
	3	13;16	19;20	15;31	18;21	22;29	27;29	28;30	4;14	5;11	7;12
	4	12;15	13;18	11;14	18;28	16;19	15;17	16;24	17;23	16;24	2;11
	5	5;14	6;9	7;12	8;14	9;11	10;22	11;24	13;25	18;22	19;26
	6	11;21	14;25	16;19	18;25	19;22	7;18	6;11	13;23	14;22	1;12
	7	5;25	6;15	4;16	8;11	9;24	8;13	5;27	3;14	2;5	4;14
	8	25;28	22;25	14;19	15;18	18;24	16;22	11;19	22;32	14;24	12;29
	9	6;14	7;18	8;13	3;12	4;25	5;24	6;16	7;13	13;23	14;16

3.4. Задачи по холодильной технологии и технике

Задача №1

Можно ли использовать одноступенчатую холодильную машину с холодильным агентом R-22 для работы в диапазоне температур: $t_0 = -35^\circ\text{C}$; $t_k = 32^\circ\text{C}$? Перегрев и переохлаждение в цикле равны нулю. Допустимое отношение абсолютных давлений кипения и конденсации для одноступенчатой машины равно 8.5

Задача №2

Может-ли обеспечить холодопроизводительность $Q_0 = 2000$ Вт холодильный агрегат ФАК-1.5 МЗ, если он эксплуатируется не в номинальном, а в рабочем режиме, при температуре кипения холодильного агента $t_0 = -25^\circ\text{C}$ ($\lambda_p = 0.75$, $V_h = 6.44 \text{ м}^3/\text{ч}$). Холодильный агент R-12. Величиной перегрева и переохлаждения холодильного агента в номинальном и рабочем режимах пренебречь.

Задача №3

В какой мере (выразить в процентах) холодопроизводительность компрессора при его работе в номинальном режиме больше рабочей при работе компрессора в температурном режиме $t_0 = -30^\circ\text{C}$, $t_k = 40^\circ\text{C}$? Холодильный агент R-22. ($V_h = 31 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\lambda_p = 0.75$, $\lambda_n = 0.8$). Величины перегрева и переохлаждения хладагента в номинальном и рабочем режиме одинаковы.

Задача №4

При помощи номограммы $Q_c - F_0$ оценить длительность охлаждения центра продукта в форме пластины от начальной температуры $t_{нц} = 80^\circ\text{C}$ до конечной

$t_{кц}=4^{\circ}\text{C}$ при $a=40\text{ Вт/м}^2\text{К}$ и $a=400\text{ Вт/м}^2\text{К}$ ($t_c = -7^{\circ}\text{C}$, $R=0.06\text{ м.}$, $a_{пр}=0.16 \times 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$) λ_0
 $=0.6\text{Вт/м}^2\text{К}$.

Задача №5

Найти холодопроизводительность холодильной машины для охлаждения объёма, имеющего размеры: $1.2 \times 0.6 \times 0.6\text{ м.}$, если $K=0.5\text{ Вт/м}^2\text{К}$, $t_{н}=20^{\circ}\text{C}$; $t_{вк}=2^{\circ}\text{C}$, $Q_3=0$, $Q_4=0.4Q_1$, $Q_2=0$.

Задача №6

Оценить, какое из слагаемых Q_1 или Q_2 преобладает в тепловом балансе холодильной камеры? Расчёт выполнить для холодильных камер, размерами $2.0 \times 4.0 \times 2.0\text{ м.}$ и $20.0 \times 40.0 \times 2.0\text{ м.}$ Удельная нагрузка продукта на единицу площади пола камеры равна 180 кг/м^2 . Суточное поступление продукта - 680 кг/сут. Температура воздуха в камере $t_{вк}=2^{\circ}\text{C}$, температура наружного воздуха $t_{н}=20^{\circ}\text{C}$, $K=0.5\text{ Вт/м}^2\text{К}$. При подсчёте Q_1 учитывать все теплопередающие поверхности ограждения. Q_3 и Q_4 равны нулю.

Задача №7

До какой температуры в центре будет охлаждён продукт после двухчасового охлаждения? Форма продукта - шар. ($t_{н}=80^{\circ}\text{C}$, $t_c=-5^{\circ}\text{C}$, $R=0.06\text{ м.}$, $\lambda_{пр}=0.64\text{ Вт/мК}$, $a_{пр}=0.16 \times 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$, $a = 25\text{ Вт/м}^2\text{К}$).

Задача №8

Холодильную машину работающую на R-12 при $t_0=-30^{\circ}\text{C}$ и $t_k=25^{\circ}\text{C}$, заполнили вместо R-12 хладоном R-22. На сколько при этом изменилась удельная массовая холодопроизводительность килограмма холодильного агента?

Задача №9

На сколько изменится удельная холодопроизводительность килограмма холодильного агента R-12, если при неизменной температуре $t_k=40^{\circ}\text{C}$, температура кипения холодильного агента изменится с $t_0=-15^{\circ}\text{C}$ до $t_0=-30^{\circ}\text{C}$? Расчёт выполнить используя параметры цикла номинального режима.

Задача №10

При помощи номограммы ($\theta_c - F_0$) оценить длительность охлаждения продукта в центре, форма которого подобна пластине, от начальной температуры $t_{н}=80^{\circ}\text{C}$ до конечной температуры $t_{цп}=10^{\circ}\text{C}$. Температура теплоотводящей среды $t_c=5^{\circ}\text{C}$. Принять коэффициенты теплоотдачи $\alpha = 300\text{ Вт/м}^2\text{К}$ и $\alpha = 3\text{ Вт/м}^2\text{К}$ ($R=0.06\text{ м.}$, $\lambda_{пр} = 0.64\text{ Вт/мК}$, $a=0.16 \times 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$).

Задача №11

Оценить длительность замораживания блока рыбы (форма продукта подобна пластине) от начальной температуры $t_{н}=20^{\circ}\text{C}$ в центре до конечной $t_{ц}=-20^{\circ}\text{C}$, если

температура теплопроводящей среды равна $t_c = -30^\circ\text{C}$? $t_{кр} = -1^\circ\text{C}$, $R = 0.06 \text{ м.}$, $\rho_{лр} = 980 \text{ кг/м}^3$, $\alpha = 30 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, $\Delta\lambda = 0.95$, $\lambda_{лр} = 0.65 \text{ Вт/мК}$, $q_{л} = 335000 \text{ Дж/кг}$, $W = 75\%$, $C_o = 2600 \text{ Дж/кгК}$.

Задача №12

Определить количество тепла отводимого при замораживании 300 килограмм говядины, если начальная температура $t_n = 20^\circ\text{C}$, конечная $t_k = -20^\circ\text{C}$? $t_{кр} = -1^\circ\text{C}$, $t_c = -40^\circ\text{C}$? $R = 0.12 \text{ м.}$, $\rho_{лр} = 1080 \text{ кг/м}^3$, $\alpha = 25 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, $\Delta\lambda = 0.95$, $\lambda_o = 0.6 \text{ Вт/мК}$, $q_{л} = 335000 \text{ Дж/кг}$, $W = 75\%$.

Задача №13

Установить количество влаги ΔG , кг. осевшей за сутки на поверхности испарителя холодильного шкафа, если $F_o = 2 \text{ м}^2$. Габариты двери - $1.2 \times 0.5 \text{ м}$. Дверь открывается 60 раз в сутки на 5 секунд. $t_{нв} = 20^\circ\text{C}$, $t_{вк} = 2^\circ\text{C}$, $\Phi = 75\%$. Поток воздуха на входе и, соответственно на выходе из шкафа, затрагивает $1/3$ площади сечения двери при скорости его движения $v = 0.2 \text{ м/с}$. Влагосодержание воздуха определяется по $i - d$ диаграмме.

Задача №14

При помощи ($i - \lg P$) диаграммы для холодильного агента R-22 установить интервал регулирования температуры кипения холодильного агента в испарителе и, соответственно, воздуха в холодильной камере, посредством реле давления РД-3, если дифференциал прибора установлен на значении давления 0.06 МПа , а значение давления при котором холодильная машина выключится соответствует величине 0.3 МПа .

Задача №15

Установить интервал регулирования температуры воздуха в холодильной камере при помощи реле температуры ТР-1-02, если его дифференциал равен 3°C , а на основной шкале температуры установлено значение температуры 7°C . (Температура, соответствующая значению "min" находится из литературных данных [6, 14]).

Задача №16

Для нормальной работы фризера мягкого мороженого требуется холодильная машина холодопроизводительностью 1 кВт , работающая при температуре кипения $t_o = -35^\circ\text{C}$ и температуре конденсации $t_k = 30^\circ\text{C}$. Температура переохлаждения жидкого холодильного агента $t_{пер} = 25^\circ\text{C}$, температура всасывания паров в компрессор $t_{вс} = -20^\circ\text{C}$. Подходит ли по холодопроизводительности к установке во фризер агрегат ФАК-1.5М3 ? $\lambda_{рвб} = 0.4$, $\lambda_{ном} = 0.75$ Номинальная холодопроизводительность агрегата ФАК-1.5 М3 при -15°C составляет 1860 Вт , холодильный агент R-12.

Задача №17

На сколько изменится удельная массовая холодопроизводительность холодильного агента холодильной машины работающей на R-22, если температура воздуха поступающего на конденсатор повысится с 30°C до 40°C. Температура кипения холодильного агента остаётся неизменной и равной $t_0 = -35^\circ\text{C}$. Принять разность температур между температурой воздуха и температурой конденсации 10°C, а перегрев и переохлаждение равными нулю.

Задача №18

По технологическим соображениям в холодильной камере требуется установить температуру воздуха (-12°C) вместо ранее используемой для хранения продуктов +4°C. Возможно ли достичь указанной температуры в камере, используя ту же самую холодильную машину? Принять разность температур между температурой кипения холодильного агента и воздуха в камере равной 15°C. Температура конденсации холодильного агента в обоих случаях составляет 30°C. Теплоприток в камеру на режиме -12°C составляет $Q_0 = 400$ Вт. ($V_h = 6.44$ м³/ч. Холодильный агент R-22)

Задача №19

Произойдёт ли влаговываждение на поверхности продуктов, если они выгружаются из холодильной камеры. Температура поверхности продукта +8°C. Относительная влажность наружного воздуха составляет $\varphi = 75\%$, его температура 23°C?

Задача №20

В какой мере действительная холодопроизводительность компрессора отличается от номинальной при работе компрессора в режиме $t_0 = -25^\circ\text{C}$, и одинаковых температуре конденсации $t_k = 30^\circ\text{C}$, перегреве и переохлаждении.

Холодильный агент R-22, $V_h = 31$ м³/ч., $\lambda_{\text{раб}} = 0.75$, $\lambda_{\text{ном}} = 0.8$?

Задача №21

За 6 часов эксплуатации холодильной витрины, имеющей площадь поверхности испарителя $F_0 = 4$ м², на его поверхности испарителя образовался слой инея толщиной 0.02 м. Насколько изменится через 6 часов холодопроизводительность холодильной машины ? Исходная холодопроизводительность $Q_0 = 450$ Вт. Считать неизменными: $t_0 = -15^\circ\text{C}$ и $t_{\text{вк}} = 5^\circ\text{C}$, $\alpha_{\text{вк}} = 6$ Вт/м²К, $\alpha_0 = 350$ Вт/м²К. Теплоперенос через металл не учитывать. Процесс теплопередачи происходит через плоскую стенку. Теплопроводность инея $\lambda_{\text{ин}} = 1$ Вт/м²К.

Задача №22

В процессе небрежной эксплуатации холодильной машины, обслуживающей стационарную холодильную камеру, оборвана капиллярная трубка ТРВ. Представить анализ возможных вариантов работы компрессора холодильной машины, если в качестве приборов автоматики, обеспечивающих регулирование холодопроизводительности холодильной машины используются: реле температуры ТР-1-02, реле давления РД-1. Как изменится

холодопроизводительность холодильной машины, если капиллярная трубка ТРВ не будет оборвана, но термобалон будет отсоединён от испарителя ?

Задача №23

Оценить площадь поверхности теплообмена и суточный расход воды протекающей через кожухотрубный проточный конденсатор. Температурный напор принять как среднеарифметический:

$$\theta_m = t_k - \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2}, ^\circ\text{C}$$

Температуру воды на выходе из конденсатора t_{w2} принимают равной $t_{w2} = t_{w1} + \Delta t_w$.
 $t_{w1} = 16^\circ\text{C}$, $\Delta t_w = 4^\circ\text{C}$, $t_k = 30^\circ\text{C}$

Принять: $k = 400 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, $q_f = 9000 \text{ Вт/м}^2$, $C_w = 4190 \text{ Дж/кгК}$, $\rho_w = 1000 \text{ кг/м}^3$, $Q_{\text{кд}} = 9000 \text{ Вт}$.
Расход воды, протекающей через конденсатор:

$$V_w = \frac{Q}{C_w \rho_w \Delta t} \text{ м}^3/\text{с}$$

Задача №24

Во сколько раз площадь поверхности испарителя с холодильной мощностью 6кВт отличается от площади поверхности воздухоохладителя. $K_o = 4.5 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ - для испарителя или $K_o = 14 \text{ Вт/м}^2$ при соответствующем температурном напоре в испарителе $\theta_m = 16^\circ\text{C}$ и $\theta_m = 11^\circ\text{C}$ - для воздухоохладителя [3].

Задача №25

Работоспособность холодильной машины существенно зависит от правильного выбора диаметра трубопроводов холодильных машин, - всасывающего и нагнетающего. Определить диаметр всасывающего и нагнетающего трубопроводов [6]. Принять расчётную скорость движения холодильного агента во всасывающем трубопроводе 10м/с, в нагнетательном - 15м/с. Сортамент медных труб приведён в таблице 2 приложения 1. Расчёт теоретического цикла холодильной машины работающей на R-22 при тепловой нагрузке $Q_o = 6000 \text{ Вт}$ осуществить для номинальных условий работы холодильной машины. $\lambda_{\text{ном}} = 0.75$, $t_o = -15^\circ\text{C}$, $t_k = 30^\circ\text{C}$.

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 V_{\text{рас}}}{\pi V_{\text{скор}}}}$$

Задача №26

Оценить длительность размораживания куриных ножек, лежащих на неохлаждаемом поддоне от начальной температуры $t_n = -12^\circ\text{C}$ до конечной температуры в центре продукта $t_{\text{кц}} = 0^\circ\text{C}$, если температура воздуха $t_c = 20^\circ\text{C}$. Принять, что форма продукта подобна пластине, а продукт отепляется воздухом с

двух сторон. $d=2R$, $R=0.01\text{ м.}$, $\alpha_{\text{в}}=15\text{ Вт/м}^2\text{К}$, $C_0=1600\text{ Дж/кгК}$, $W=0.75$, $\lambda_{\text{пр}}=0.63\text{ Вт/мК}$, $t_{\text{кр}}=-1^\circ\text{C}$.

Задача №27

Какой толщины слой льда может нарасти в пластинчатом льдогенераторе типа "Торос-2" за время 0.5 ч.?

Принять: $\lambda_{\text{л}}=1.2\text{ Вт/мК}$, $C_{\text{м}}=2095\text{ Дж/кгК}$, $t_0=-25^\circ\text{C}$, $\rho_{\text{лр}}=980\text{ кг/м}^3$.

Задача №28

Сможет ли работать холодильная машина на хладагенте R-22 в диапазоне температур: $t_0=-30^\circ\text{C}$ и $t_{\text{к}}=30^\circ\text{C}$, если допустимая температура конца сжатия пара равна 105°C . Переохлаждение и перегрев холодильного агента составляет 10°C .

Задача №29

Осуществить расчёт толщины теплоизоляции внутренней стены холодильной камеры размером 2.0 x 2.0 м. Температура воздуха снаружи $t_{\text{вн}}=25^\circ\text{C}$, температура воздуха в камере $t_{\text{вк}}=-15^\circ\text{C}$. Принять структуру стены: штукатурка, $\delta=0.02\text{ м.}$, кирпич $\delta=0.25\text{ м.}$, гидроизоляция - битум $\delta=0.002\text{ м.}$ листовой алюминий $\delta=0.001\text{ м.}$ $\lambda_{\text{ал}}=100\text{ Вт/мК}$, теплоизоляция - ?, штукатурка, $\delta=0.02\text{ м.}$ Методика расчёта отражена в [3].

Задача №30

Какое количество влаги (g, кг) потеряет продукт, имеющий форму шара, в процессе его охлаждения в холодильной камере от температуры $t_{\text{пр}}=20^\circ\text{C}$ до температуры воздуха камеры $t_{\text{вк}}=-2^\circ\text{C}$?

Принять: $R=0.04\text{ м.}$, $a=1.34 \times 10^{-7}\text{ м}^2/\text{с}$, $\lambda_{\text{пр}}=0.488\text{ Вт/мК}$, $v_{\text{лин}}=7\text{ м/с}$. Охлаждение осуществляется до достижения температуры поверхности продукта $t_{\text{пр}}=8^\circ\text{C}$.

$C_0=3160\text{ Дж/кгК}$, $\rho_{\text{пр}}=1160\text{ кг/м}^3$, теплота испарения $L_{\text{и}}=2514000\text{ Дж/кг}$.

Задача №31

Определить секундный и суточный расход холода для охлаждения холодильной камеры КХС-6 с поверхностью ограждения 28 м^2 и коэффициентом теплопередачи $0.45\text{ Вт/м}^2\text{К}$. Температура воздуха внутри камеры 0°C , снаружи 20°C . В камере находится 500 кг. битой птицы, упакованной в картонные коробки. Теплоёмкость картона - 1.6 кДж/кг . Масса тары составляет 15% к массе продукта. Теплоёмкость продукта 2500 кДж/кг . За сутки продукт охлаждается от начальной температуры продукта 10°C , конечная 0°C . Расход холода на вентиляцию и производственные потери принять равными по 0.1 от Q_1 .

4. Литература

4.1. Основная учебная литература

1. Данилов А.М. Холодильная технология пищевых продуктов. "Вища школа", Киев, 1974, 253 с.
2. Лыков А.В. Теория теплопроводности. Гос. издат.-во технико-теоретической литературы, М. 1952, 392 с.
3. Мещеряков Ф.Е. Основы холодильной техники и холодильной технологии. М.: Пищевая промышленность. 1975. 560 с.
4. Холодильная техника. Под ред. проф. Лебедева В.Ф. М.: Агропромиздат. 1986. 334 с.
5. Холодильная техника в торговле. Учебное пособие. Под ред. проф. Гуляева В.А. С-Пб., С-ПбТЭИ, 1998

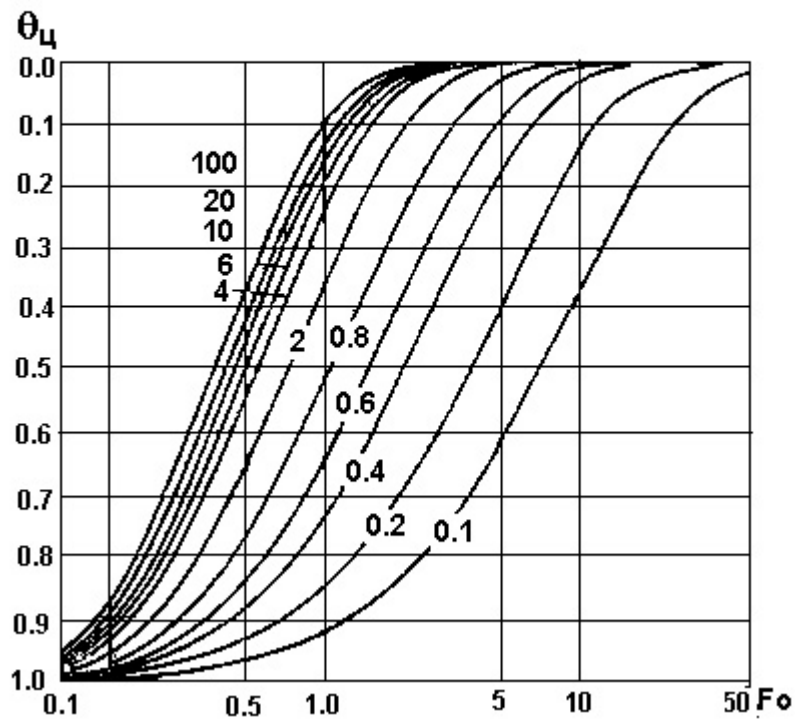
4.2. Дополнительная литература

1. Зеликовский И.Х., Каплан Л.Г. Справочник. Малые холодильные машины и установки. М.: Агропромиздат, 1989, 671с.
2. Цуранов О.А., Кириевский Б.Н., Тимофеевский А.Л. Методические указания по оценке длительности охлаждения и замораживания пищевых продуктов. С-Пб. ЛИСТ, 1992.
3. Цуранов О.А., Тимофеевский А.Л. Методические указания к выполнению лабораторной работы по оценке длительности охлаждения и замораживания пищевых продуктов. С-Пб., С-ПбТЭИ, 1996,
4. Цуранов О.А., Кириевский Б.Н., Тимофеевский А.Л. Методические указания к лабораторной работе: "Оценка параметров теплоотводящей среды", С-Пб., С-ПбТЭИ, 1993,
5. Цуранов О.А., Тимофеевский А.Л., Кириевский Б.Н., Расчётно - практическое занятие: "Оценка величины потери влаги при охлаждении (хранении) продуктов с открытой невлагоизолированной поверхностью". С-Пб., С-ПбТЭИ, 1994.
6. Цуранов О.А., Тимофеевский А.Л., Кириевский Б.Н., Методические указания к лабораторной работе: "Оценка условий работы льдогенератора Торос - 2", С-Пб., С-ПбТЭИ, 1994,
7. Цуранов О.А., Кириевский Б.Н., Тимофеевский А.Л. Методические указания для оценки длительности размораживания пищевых продуктов. С-Пб., С-ПбТЭИ, 1992,
8. Цуранов О.А., Евреинова В.С., Методические указания к пользованию термодинамическими диаграммами при расчёте циклов паровых компрессионных холодильных машин, Ленинград, ЛИСТ 1993,
9. Цуранов О.А., Тимофеевский А.Л., Практические работы по курсу "Холодильная техника и технология", раздел: "Компрессоры и приборы автоматики торгового холодильного оборудования", С-Пб., С-ПбТЭИ, 1995.
10. Цуранов О.А., Кириевский Б.Н., Полещук О.Б. Практические работы по холодильной технике. Учебное пособие. Ленинград, ЛИСТ, 1986,

Физические свойства влажного воздуха при P=760 мм.рт.ст.

$t, ^\circ\text{C}$	ρ кг/м ³	C_p кДж/кг	$\lambda \cdot 10^2$ Вт/мК	$a \cdot 10^{-6}$ м ² /с	$\nu \cdot 10^{-6}$ м ² /с	Pr
-40	1.515	1.013	0.0212	13.8	10.04	0.728
-30	1.453	1.013	0.0220	14.9	10.80	0.723
-20	1.395	1.009	0.0228	16.2	12.79	0.716
-10	1.342	1.009	0.0236	17.4	12.43	0.712
0	1.293	1.005	0.0244	18.8	13.28	0.707
10	1.247	1.005	0.0251	20.0	14.16	0.705

Номограмма для оценки температуры центра пластины



Сортамент медных труб холодильных машин

Условный проход d_y , мм	Наружный диаметр $d_{н}$, мм	Внутренний диаметр $d_{вн}$, мм
6	9	7
8	10	8
10	12	10
14	16	14
16	18	16
20	24	21
25	28	25
32	36	32
40	45	40

1. Пояснение к пользованию номограммой.

Длительность охлаждения оценивается путём последовательного определения

$$\theta = \frac{t_{r,s} - t_c}{t_w - t_c}$$

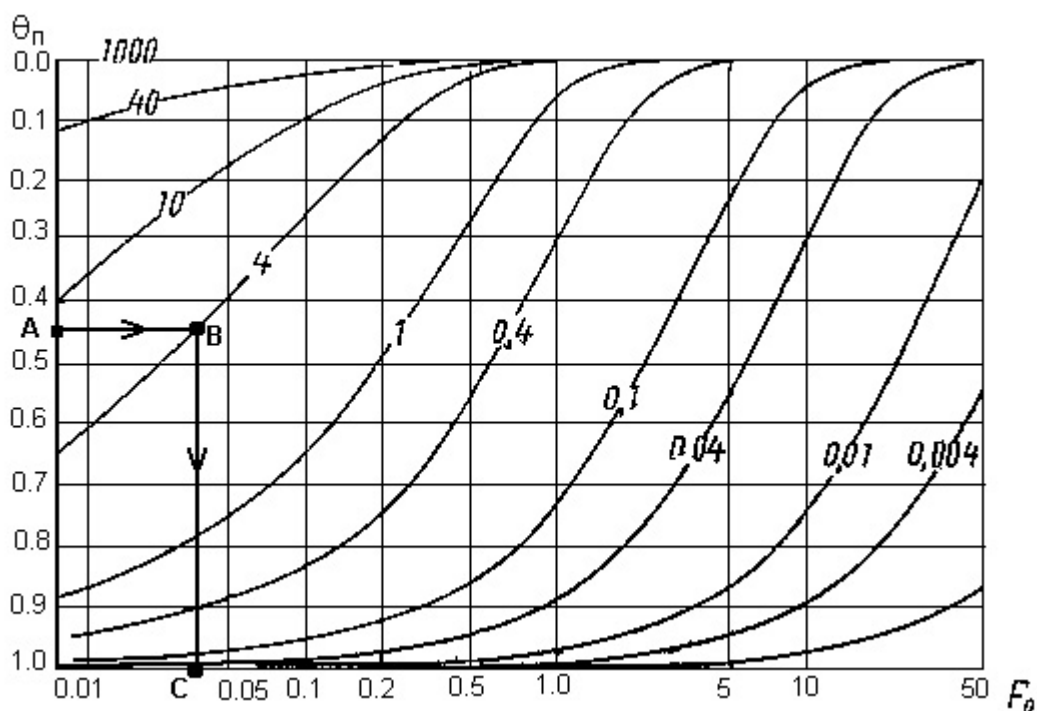
величин: θ (точка А), кривой, соответствующей величине числа Био

$$Bi = \frac{\alpha R}{\lambda_0}$$

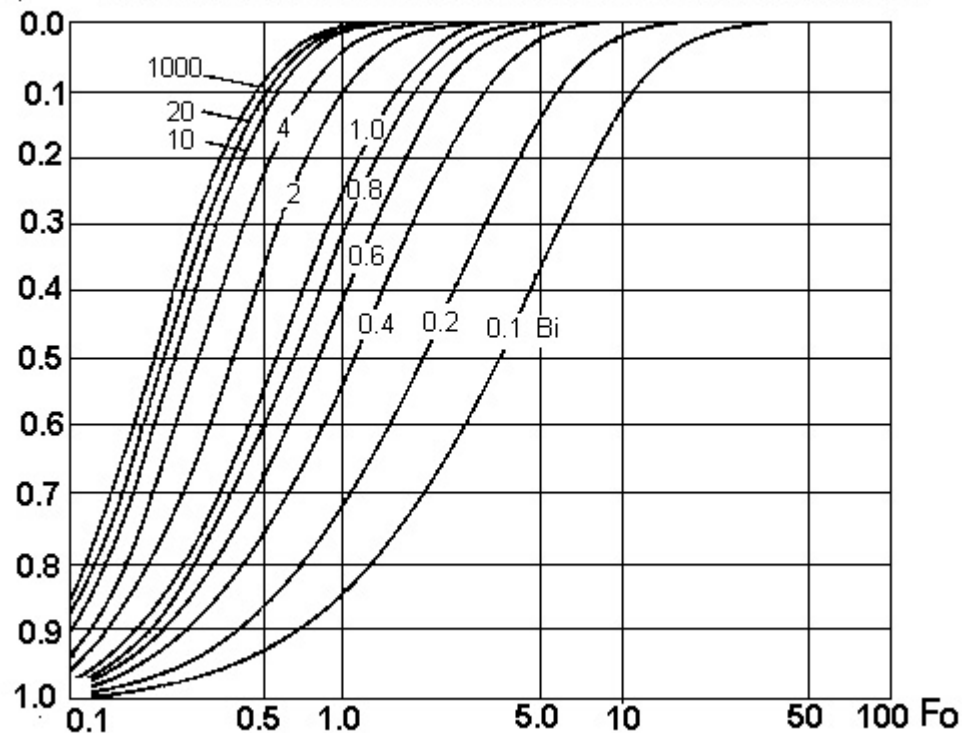
(точка В). Пересечение горизонтальной линии с кривой B_i даёт точку В.

Перпендикуляр на линию, соответствующую F_0 приводит к точке С. По величине F_0 находится длительность охлаждения.

Номограмма для оценки температуры поверхности шара



θ_c Номограмма для оценки температуры центра шара



θ_c Номограмма для оценки температуры центра цилиндра

