

ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ

ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

**КАФЕДРА МЕХАНИЗАЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА И
ПЕРЕРАБОТКИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ**

ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА

**Задания и методические указания
к контрольной работе**

НОВОСИБИРСК 2023

**Кафедра механизации животноводства и переработки
сельскохозяйственной продукции**

Составители: канд. техн. наук, доцент *А.А. Диденко*,

канд. техн. наук, доцент *Е.А. Пшенов*

Рецензент: канд. тех. наук, доцент И.В. Тихонкин

Холодильная техника: задания и методические указания к контрольной работе / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост.: А.А. Диденко, Е.А. Пшенов. – Новосибирск, 2023. – 16 с.

Задания и методические указания к контрольной работе предназначены для студентов очной формы обучения по направлению подготовки «Продукты питания животного происхождения», профиль – «Технология мясных и молочных продуктов

Утвержден и рекомендован к изданию методическим советом Инженерного института (протокол № 8 от 28 марта 2023 г.).

© Новосибирский государственный
аграрный университет, 2023

ВВЕДЕНИЕ

Природно-климатические условия России обуславливают сезонность производства продукции растениеводства и животноводства. Сохранение ее пищевой и биологической ценности в течение длительного периода возможно только с помощью консервирования. Выбор того или иного способа консервирования зависит от свойств продукта, возможностей поддержания его качеств и эффективности затрат на хранение.

Холодильное консервирование — эффективный способ обработки и хранения продуктов питания высокого качества. Не менее 40 % производимой в нашей стране сельскохозяйственной продукции подвергается холодильной обработке для предотвращения порчи и сокращения потерь. Воздействие холода по сравнению с другими методами консервирования вызывает минимальные изменения первоначальных свойств продукции.

Наиболее распространенный и экономичный способ холодильного консервирования - охлаждение, позволяющее полностью сохранить потребительские свойства. Однако срок хранения охлажденных пищевых продуктов ограничен. Это не позволяет создать достаточные их запасы и обеспечить непрерывное снабжение ими население.

Для увеличения продолжительности хранения продукты замораживают, что существенно тормозит скорость протекания процессов, влияющих на их качество. Замораживание и хранение в замороженном виде изменяют начальное качество продуктов, но позволяют сохранить их ценные свойства значительно дольше, чем охлажденных.

Характерной особенностью производства продуктов питания является то, что выработанная продукция необходима каждому из нас ежедневно. Перебои в снабжении населения продуктами питания отрицательно сказываются на всех сторонах жизни общества. Четкая работа пищевой промышленности немыслима без создания достаточных запасов сырья и готовой продукции, т.е. без холодильного консервирования.

Требования к оформлению

Контрольная работа выполняется с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ. Шрифт Times New Roman, размер шрифта 10, межстрочный интервал 1,5 строки, выравнивание основного текста по ширине, заголовков по центру.

Каждый лист пояснительной записки оформляется рамкой и основной надписью по форме 2 (высотой 40 мм) для первого или заглавного листа и форме 2а (высотой 15 мм) для последующих листов. Расстояние по бокам от рамки формы до границ текста в начале и в конце строк – не менее 3 мм. Расстояние от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней рамки должно быть не менее 10 мм. Абзацы в тексте начинают отступом, равным 15-17 мм.

Опечатки, описки и графические неточности, обнаруженные в процессе выполнения документа, допускается исправлять.

РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЯ КАМЕРЫ ОДНОФАЗНОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ МЯСА С ВЫНУЖДЕННЫМ ДВИЖЕНИЕМ ВОЗДУХА

Камера однофазного замораживания мяса оборудована воздухоохладителями с системой воздухо распределения типа «ложный потолок». В таблице 1 представлены исходные данные для расчета камеры по вариантам.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета камеры

№ вар	Производительность камеры $G, \text{т/сут}$	Темпер. воздуха в камере $t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	Продолжительность замораживания $\tau, \text{ч}$	Темпер. поступления мяса $t_{\text{пос}}, ^\circ\text{C}$	Конечная температур. в центре бедра $t_{\text{кон.ц}}, ^\circ\text{C}$	Темпер. окружающей среды $t_{\text{о.с}}, ^\circ\text{C}$	Высота камеры $H_{\text{кал}}, \text{м}$
1.	1,5	-38	14	34	-32	30	3,6
2.	3	-32	16	32	-24	28	3,6
3.	5	-30	18	30	-22	26	3,6
4.	7,5	-28	22	28	-17	24	4,2
5.	10	-26	24	26	-19	22	4,2
6.	12	-24	28	24	-16	20	4,2
7.	15	-22	27	22	-18	18	4,6
8.	18	-20	24	20	-16	16	4,6
9.	20	-30	26	18	-25	14	4,6
10.	22	-28	28	16	-21	12	4,6
11.	25	-26	25	15	-14	24	4,8
12.	38	-25	22	14	-16	22	4,8
13.	30	-24	28	12	-18	20	4,8
14.	32	-22	27	24	-22	18	4,8
15.	35	-20	26	22	-24	16	5
16.	40	-30	30	20	-21	14	5
17.	45	-28	28	18	-20	12	5
18.	48	-26	25	16	-19	20	5
19.	50	-28	24	14	-16	18	5,2
20.	55	-28	26	12	-17	16	5,2
21.	60	-26	20	24	-18	14	5,2
22.	64	-26	22	22	-16	12	5,2
23.	68	-24	20	20	-17	24	5,4
24.	72	-24	22	18	-18	22	5,4
25.	75	-22	24	16	-16	20	5,4
26.	80	-22	24	24	-14	18	5,4
27.	85	-20	25	22	-15	16	6
28.	90	-20	25	20	-14	14	6
29.	95	-18	26	18	-12	12	6
30.	100	-18	26	16	-10	20	6

Цель расчета. Определить вместимость камеры и ее размеры, приведенный коэффициент теплоотдачи от замораживаемого мяса, скорость движения воздуха в зоне бедренной части полутуши, скорость выхода воздуха из щелевых сопел, число сопел, объемный расход воздуха через камеру, тепловую нагрузку на холодильное оборудование камеры, число

воздухоохладителей, соответствие вентиляторов воздухоохладителей требуемому режиму эксплуатации камеры.

Методика расчета. Продолжительность цикла замораживания τ_u будет складываться из продолжительности замораживания τ_u продолжительности загрузки-выгрузки мяса τ_3 :

$$\tau_u = \tau + \tau_3$$

В зависимости от производительности камеры период загрузки-выгрузки мяса τ_3 выбирается из таблицы 3.

Таблица 3 – Продолжительность загрузки и выгрузки в зависимости от производительности камеры

G, т/сут	1-5	5-10	10-15	15-30	30-45	45-60	60-75	75-100
τ_3 , ч.	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4

Вместимость камеры М (т.), с учетом загрузки и выгрузки:

$$M = \frac{G \cdot \tau_u}{24},$$

где: G – производительность камеры, т/сут.

Строительная площадь камеры $F_{\text{кам}}$ (м^2) составит:

$$F_{\text{кам}} = \frac{M}{g_f},$$

где: g_f – норма загрузки камеры мясом в полутушах, размещенных на подвесных путях, т/м^2 ; принимаем $g_f = 0,25 \text{ т/м}^2$.

Длину подвесных путей можно определить из нормы нагрузки:

$$l_{\text{п}} = \frac{M}{g_l},$$

где: g_l – норма загрузки подвесных путей мясом в полутушах, т/м ; принимаем $g_l = 0,28 \text{ т/м}$.

Принимаем размеры камеры ширину $B_{\text{кам}}$ и длину $L_{\text{кам}}$ с учетом стандартного ряда сетки колонн: 6х6; 6х12; 12х12; 12х18; 18х18; 18х24.

Размещаем подвесные пути с учетом отступа от колонн 0,5 м и минимальным расстоянием между подвесными путями $l_{\text{min}} = 0,9 \text{ м}$.

Рабочая часть одной нитки подвесного пути будет составлять, м.:

$$l_{\text{раб1}} = L_{\text{кам}} - 2 \cdot l_{\text{min}}$$

С учетом отступа от колонн и минимальным расстоянием между подвесными путями принимаем необходимо количество ниток подвесных путей n (шт.) по ширине камеры и составляем конструктивную схему камеры замораживания согласно примеру (рис. 1).

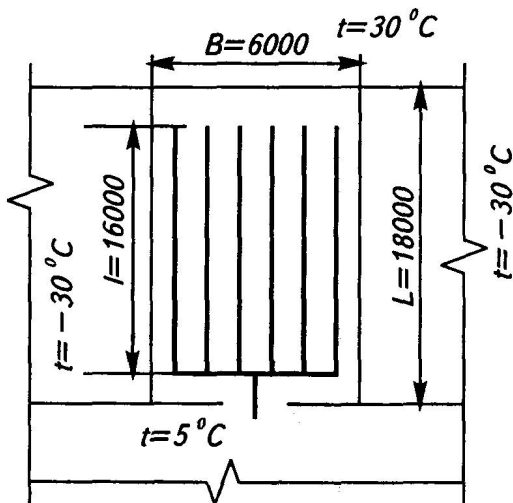


Рисунок 1 – Конструктивная схема камеры замораживания мяса

Действительная вместимость камеры M_d составит (т):

$$M_d = l_{\text{раб}} \cdot n \cdot g_1$$

Действительная строительная площадь камеры $F_{\text{кам.д}}$ (м^2):

$$F_{\text{кам.д}} = L_{\text{кам}} \cdot B_{\text{кам}}$$

Действительная производительность камеры замораживания достигнет G_d (т/сут):

$$G_d = \frac{M_d \cdot 24}{\tau_{\text{ц}}}$$

Чтобы создать необходимую скорость движения воздуха в зоне бедренной части полутуши w_6 , определим приведенный коэффициент теплоотдачи от поверхности полутуши к воздуху:

$$\alpha_{\text{пр}} = \frac{0,0962 \cdot \rho_{\text{м}} \cdot \delta_{\text{м}} \left[c_0 \left(\frac{t_{\text{ном}} - t_{\text{нм}}}{t_{\text{кр}} - t_{\text{нм}}} \right)^{1,5} + \frac{c_w}{c_3} \left(\frac{t_{\text{кр}} - t_{\text{нм}}}{t_{\text{кон.д}} - t_{\text{нм}}} \right)^{1,09} \right]}{3600 \cdot \tau}$$

где: C_0 , C_3 – удельная теплоемкость, соответственно, охлажденного и замороженного мяса, ($C_0 = 3300 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, $C_3 = 2500 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$);

c_w – удельная теплоемкость, учитывающая долю вымораживаемой воды ($c_w = 11400 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$);

$\rho_{\text{м}}$ – плотность мяса ($\rho_{\text{м}} = 1050 \text{ кг}/\text{м}^3$);

$\delta_{\text{м}}$ – толщина бедренной части полутуши (для полутуш крупного рогатого скота массой 80...90 кг $\delta_{\text{м}} = 0,20 \dots 0,25 \text{ м}$);

$t_{\text{ном}}$ – начальная температура мяса, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{им}}$ – температуре воздуха в камере, °C;

$t_{\text{кр}}$ – криоскопическая температура (для мяса $t_{\text{кр}} = -1$ °C);

$t_{\text{кон.ц}}$ – конечная температура мяса в центре бедра, °C.

Принимая, что коэффициент теплоотдачи при испарении воды в процессе однофазного замораживания в камере с воздушной системой охлаждения составляет $\alpha_u = 1,5 \dots 2,0$ Вт/(м²·K), находим значение конвективного коэффициента теплоотдачи:

$$\alpha_k = \alpha_{np} - \alpha_u$$

Скорость движения воздуха в зоне бедренной части w_0 выразим из уравнение подобия для теплообмена полутуши:

$$w_0 = 6,73 \cdot \alpha_k^{1,72} \cdot \delta_m^{0,72} \cdot \frac{V_0}{\lambda_0^{1,72}}$$

где: λ_0 – теплопроводность воздуха, Вт/(м·K), принимается в зависимости от температуры воздуха в камере $t_{\text{им}}$ (см. приложение 1);

ν_0 – кинематический коэффициент вязкости воздуха, м²/с, также принимается в зависимости от $t_{\text{им}}$ (см. приложение 1).

Воздух в камеру поступает через щелевые сопла ложного потолка. Принимаем длину сопла $l_s = 0,6$ м, ширину $b_0 = 0,02$ мм. Расстояние между соплами принимаем $l_p = 0,2$ м.

Скорость воздуха на выходе из щелевого сопла w_0 , (м/с), определяем по формуле:

$$w_0 = w_0 \frac{\left(\frac{a_m \cdot l_0}{b_0} + 0,41 \right)^{0,5}}{0,82}$$

где: a_m – коэффициент турбулентной структуры струи (для плоского сопла $a_m = 0,12$);

l_0 – расстояние от сопла до бедренной части полутуши ($l_0 = 1,1$ м.);

b_0 – ширина сопла ($b_0 = 0,02$ м.).

Количество рядов сопел зависит от количества ниток подвесных путей n . Каждый ряд сопел располагаем на участке, соответствующем длине подвесного пути. Таким образом, в одном ряду размещаем

$$n_{sl} = l_{\text{павл}} / (l_s + l_p)$$

Общее число сопел n_s , (шт.):

$$n_s = n \cdot n_{sl}$$

Сечение одного сопла f_s , (м²):

$$f_s = l_s \cdot 2 \cdot b_0$$

Общее живое сечение всех сопел камеры $F_{\text{ш}}$, (м²):

$$F_{\text{ш}} = n_s \cdot f_s$$

Объемная подача воздуха V_0 , (м³/с):

$$V_0 = F_{\text{ш}} \cdot w_0$$

Общий теплоприток в камеру Q_0 (Вт), складывается из теплопритоков через ограждающие конструкции Q_1 , от замораживаемого мяса Q_2 и эксплуатации оборудования Q_3 :

$$Q_o = Q_1 + Q_2 + Q_3.$$

Теплоприток Q_1 (Вт) через ограждающие конструкции камеры складывается из теплопритоков исходящих от наружной стены, от стены с коридором, от обогреваемого пола и от перекрытия:

$$Q_1 = k_1 \cdot B_{\text{кам}} \cdot H_{\text{кам}} \cdot (t_{o,c} - t_{нм}) + k_2 \cdot B_{\text{кам}} \cdot H_{\text{кам}} \cdot (t_{\kappa} - t_{нм}) + k_3 \cdot B_{\text{кам}} \cdot L_{\text{кам}} \cdot (t_{\text{пол}} - t_{нм}) + k_4 \cdot B_{\text{кам}} \cdot L_{\text{кам}} \cdot (\Delta t_c - t_{нм})$$

где: k_1 – коэффициент теплопередачи ограждения от наружной стены, $k_1 = 0,20$ Вт/(м²·К);

k_2 – коэффициент теплопередачи ограждения от внутренней с коридором стены, $k_2 = 0,22$ Вт/(м²·К);

k_3 – коэффициент теплопередачи ограждения от обогреваемого пола $k_3 = 0,23$ Вт/(м²·К);

k_4 – коэффициент теплопередачи от покрытия $k_4 = 0,17$ Вт/(м²·К);

$H_{\text{кам}}$ – высота камеры, м (выбирается из задания);

$B_{\text{кам}}$ – ширина камеры, м;

$L_{\text{кам}}$ – ширина камеры, м;

$t_{o,c}$ – температура воздуха окружающей среды, °С (выбирается из задания);

$t_{\text{пол}}$ – температура обогреваемого пола, $t_{\text{пол}} = 2$ °С;

Δt_c – избыточная разность температур от солнечной радиации, $\Delta t_c = 18$ °С;

Теплоприток от замораживаемого мяса (кВт):

$$Q_2 = K \cdot M_{\text{д}} \frac{i_{\text{пост}} - i_{\text{вып}}}{\tau}$$

где: K – коэффициент, учитывающий неравномерность теплопритока от продукта в процессе замораживания в камере периодического действия ($K = 1,4 \dots 1,7$);

$i_{\text{пост}}$ – удельная энтальпия поступающего мяса принимается в зависимости от $t_{\text{пос}}$ (см. приложение 2), кДж/кг;

$i_{\text{вып}}$ – энтальпия замороженного мяса, при конечной среднеобъемной температуре $t_{\kappa} = -20$ °С (см. приложение 2), кДж/кг.

Эксплуатационные теплопритоки (кВт) от двигателей вентиляторов принимаем ориентировочно:

$$Q_3 = A \cdot F_{\text{кам.д}}$$

где: A – коэффициент, учитывающий мощность электродвигателей в камере холодильной обработки, $A = 0,1 \dots 0,2$ кВт/м².

Площадь теплообменной поверхности воздухоохладителей определяем по формуле (м²):

$$F_{\text{во}} = \frac{Q_0}{k_0 \cdot \theta_0}$$

где: k_0 – коэффициент теплопередачи воздухоохладителя (см. приложение 4), Вт/(м²·К);

θ_0 – температурный напор, принимаем в пределах 6... 10 К.

По приложению 3 выбираем воздухоохладитель и выписываем его технические характеристики.

Из учета поверхности теплообмена определим число воздухоохладителей установленных в камере n_{eo} , (шт):

$$n_{eo} = \frac{F_{eo}}{f_{eo}}$$

Суммарная объемная подача V_c , ($\text{м}^3/\text{с}$) всех вентиляторов воздухоохладителей:

$$V_c = n_{eo} \cdot V_{вен}$$

Действительная тепловая нагрузка $Q_{Д}$, (кВт) на камерное оборудование составляет:

$$Q_{Д} = Q_1 + Q_2 + n_{вен} \cdot N_{вен}$$

Площадь теплообменной поверхности установленных воздухоохладителей должна соответствовать расчетному значению Q_0 .

Потеря напора, развиваемого вентиляторами воздухоохладителей, складывается из статического напора перед соплами Δp_c , потерь напора в батарее воздухоохладителя Δp_{eo} , потерь напора на входе воздуха в вентилятор и на выходе из вентилятора Δp_{ex} , потерь напора на четырех поворотах потока воздуха $\Delta p_{пов}$:

$$\Delta p = \Delta p_c + \Delta p_{eo} + \Delta p_{ex} + \Delta p_{пов}$$

Статический напор Δp , (Па) перед щелевыми соплами:

$$\Delta p_c = \frac{\rho_s \cdot w_0^2}{2 \cdot \varphi_0^2}$$

При развиваемой вентиляторами скорости потока

$$w_0 = V_c / F_{ш}$$

где φ_0 – коэффициент скорости истечения воздуха из сопла, $\varphi_0 = 0,6-0,8$.

Потери напора на входе воздуха в вентилятор и на выходе из него:

$$\Delta p_{ex} = 2 \cdot \zeta_{ex} \cdot \rho_s \cdot \frac{w_{ex}^2}{2}$$

где: ζ_{ex} – коэффициент местного сопротивления, который зависит от отношения сечений потока до и после сопротивления:

$$\frac{S_{вен}}{S_{кан}} = n_{вен} \cdot n_{eo} \cdot \frac{\pi \cdot d_{вен}^2}{4 \cdot L_{кам} \cdot h_{eo}}$$

где: $S_{вен}$ – сечение вентиляторов, м^2 ;

$S_{кан}$ – сечение канала, равное произведению длины камеры на высоту воздухоохладителей, м^2 ;

w_{ex} – скорость воздуха на входе в вентилятор и на выходе из него, $\text{м}/\text{с}$.

$$w_{ex} = \frac{4 \cdot V_c}{2 \cdot n_{eo} \cdot \pi \cdot d_{вен}^2}$$

где: здесь V_c – суммарная объемная подача вентиляторов, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$d_{вен}$ – диаметр вентилятора, м .

Потери напора на четырех поворотах потока воздуха $\Delta p_{пов}$, (Па):

$$\Delta p_{пов} = 4 \cdot \zeta_n \cdot \rho_s \cdot \frac{w_n^2}{2}$$

где ζ_n – коэффициент местного сопротивления поворота потока (принимается по прил. 4);

w_n – скорость воздуха на поворотах (считаем, что высота канала на повороте равна высоте воздухоохладителя), м/с;

$$w_n = \frac{10 \cdot V_c}{2 \cdot n_{\text{во}} \cdot L_{\text{кам}} \cdot h_{\text{во}}}$$

Потери напора (Па) в батарее воздухоохладителя с пластинчатым оребрением:

$$\Delta p_{\text{во}} = 0,132 \cdot \frac{l_p}{d_{\text{э}}} (\rho_{\text{в}} \cdot w_{\text{ж}})^{1,7}$$

где: l_p – длина ребра в направлении движения воздуха (зависит от марки воздухоохладителя), м;

$d_{\text{э}}$ – эквивалентный диаметр суженного сечения между трубами и ребрами, м;

$$d_{\text{э}} = \frac{2 \cdot U \cdot s_p}{U + s_p}$$

где: U – расстояние между ребрами с учетом инея;

$$U = t_p - 2 \cdot \delta_u - \delta_p$$

где: t_p – шаг оребрения, мм;

δ_u – толщина инея, мм; $\delta_u = 1$ мм;

δ_p – толщина ребра, мм; $\delta_p = 0,5$ мм;

s_p – шаг между трубами, мм; $s_p = 50 \dots 60$ мм;

$w_{\text{ж}}$ – скорость воздуха в живом сечении батареи воздухоохладителя, м/с;

$$w_{\text{ж}} = \frac{\phi \cdot V_{\text{в}}}{l_{\text{во}} \cdot h_{\text{во}}}$$

ϕ – коэффициент сжатия струи;

$$\phi = \frac{1}{\left(1 - \frac{d_n}{s_p} \cdot \left(1 + \frac{s_p}{U \cdot d_n}\right)\right)}$$

где: d_n – наружный диаметр трубы, м.

Действительная мощность электродвигателей вентиляторов составит:

$$N_{\text{вен}} = \frac{V_c \cdot \Delta p}{\eta_{\text{вен}}}$$

где: $\eta_{\text{вен}}$ – к.п.д вентилятора, $\eta_{\text{вен}} = 0,7-0,9$;

Кратность циркуляции воздуха в камере (ч⁻¹)

$$z = \frac{V_c}{L_{\text{кам}} \cdot B_{\text{кам}} \cdot H_{\text{кам}}}$$

V_c – суммарный объемный расход воздуха, м³/ч.

Удельные затраты металла на камерные охлаждающие устройства g_M , кг/м²:

$$g_M = \frac{n_{\text{вен}} \cdot m_{\text{во}}}{F_{\text{д}}}$$

Удельные затраты электроэнергии от работы вентиляторов воздухоохлаждаителей при замораживании 1 т мяса, полагая оборачиваемость камеры стократной в течение года, кВт·ч/(т·год):

$$a = 2 \cdot 24 \cdot 100 \cdot \frac{n_{вен} \cdot N_{вен}}{100 \cdot M_{д}}$$

Список рекомендуемой литературы:

1. А. В. Бараненко, В. Е. Куцакова, Е. И. Борзенко, С. В. Фролов. Примеры и задачи по холодильной технологии пищевых продуктов. Ч. 3. Теплофизические основы. — М.: КолосС, 2004. — 249 с: ил. — (Учебники и учеб. пособия для студентов вузов).
2. Инженерные системы помещений с искусственным льдом или снегом: Учебное пособие / О.Я. Кокорин, Н.В. Товарас. - М.: КУРС: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 240 с (ЭБС)
3. Кокорин О.Я. Системы и оборудование для создания микроклимата помещений: учебник / О.Я. Кокорин, 2-е изд., испр. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 218 с (ЭБС)
4. Оболенский Н.В. Холодильное и вентиляционное оборудование: учеб. пособие для студ. вузов / Н.В. Оболевский, Е.А. Денисюк. – М.: КолосС, 2006. – 247 с.
5. Оборудование предприятий общественного питания: Учебное пособие/ В.Ф. Кащенко, Р.В. Кащенко. - М.: Альфа-М, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 412 с. (ЭБС)
6. Общие требования к оформлению курсовых и дипломных проектов (работ). Стандарт предприятия / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инж. ин-т; Сост. Г.А. Евдокимова и др. – Новосибирск, 2010. – 58 с.
7. Холодильная техника и технология: учеб. для студ. вузов / под ред. А.В. Руцкого. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 286 с.
8. Цуранов О.А. Холодильная техника и технология: учеб. для студ. вузов / О.А. Цуранов, А.Г. Крысин. – СПб.: Питер, 2004. – 446 с.
9. Устройство, эксплуатация и обслуживание холодильного оборудования : учебное пособие / Д. И. Грицай, И. В. Капустин, В. И. Марченко, Е. В. Кулаев. — Ставрополь : СтГАУ, 2019. — 52 с. Текст : электронный . — URL: <https://e.lanbook.com/book/169704>.
10. Пыжов, В.К. Системы кондиционирования, вентиляции и отопления : учебник / В.К. Пыжов, Н.Н. Смирнов ; ИГЭУ. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. - 528 с. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1053294>.

Приложение 1. Физические свойства сухого воздуха

Температура, °C	Плотность, кг/м ³	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·K)	Теплопроводность, Вт/(м·K)	Температуро-проводность x 10 ² , м ² /с	Динамический коэффициент вязкости x 10 ⁶ , Па·с	Кинематический коэффициент вязкости x 10 ⁶ , м ² /с	Число Прандтля
-50	1,584	1,013	2,04	12,7	14,6	9,23	0,728
-40	1,515	1,013	2,12	13,8	15,2	10,04	0,728
-30	1,453	1,013	2,20	14,9	15,7	10,80	0,723
-20	1,395	1,009	2,28	16,2	16,2	11,79	0,716
-10	1,342	1,009	2,36	17,4	16,7	12,43	0,712
0	1,293	1,005	2,44	18,8	17,2	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	20,0	17,6	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	21,4	18,1	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	22,9	18,6	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	24,3	19,1	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	25,7	19,6	17,95	0,698

Приложение 2. Удельная энтальпия пищевых продуктов, кДж/кг

Температура, C	Говядина, птица	Свинина	Рыба	Субпродукты	Колбаса вареная	Яйца	Виноград, абрикосы, вишня	Другие плоды
-25	-11	-10	-12	-12	221		-17	-14
-20	0	0	0	0	233		0	0
-18	5	5	5	5	238		9	7
-15	13	12	11	14	246		21	17
-12	22	21	24	24	256		38	25
-10	30	29	33	33	265		50	38
-8	39	35	42	43	275		76	56
-5	57	54	62	63	299		116	83
-3	75	73	86	88	345	227	202	139
-2	99	92	106	110	454	230	217	206
-1	185	170	200	204	467	234	233	268
0	232	212	249	261	471	237	236	272
1	235	215	253	264	475	240	240	274
2	238	218	256	268	479	243	243	278
4	245	224	263	274	486	250	250	287
8	248	236	277	289	497	262	268	302
10	264	242	284	296	504	269	272	309
12	271	248	290	302	511	274	279	313
15	280	257	301	313	522	284	290	328
20	297	273	318	331	543	300	307	346
25	312	288	335	348	561	316	326	366
30	329	302		366	581	332	343	385
35	345	318		384	599	348	361	403
40	361	332		401	616	363		

Приложение 3. Фреоновые воздухоохладители

Марка	Шаг между ребрами, t_p , мм	Площадь поверхности теплообмена, $f_{по}$, м ²	Объемная подача $V_{по}$, м ³ /ч	Мощность вентилятора, $N_{вент}$, кВт	Диаметр вентилятора $d_{вент}$, м	Габаритные размеры, мм $l_{по} \times b_{по} \times h_{по}$	Масса, кг
041A/14	4	28,8	2800	0,18	0,4	996 x 665 x 565	47
041 B/14	4	36,0	2650	0,18	0,4	996 x 665 x 565	51
046A/14	4	46,1	4340	0,37	0,5	1196 x 685 x 665	63
046B/14	4	57,7	4220	0,37	0,5	1196 x 685 x 665	70
051B/14	4	72,1	5590	0,37	0,5	1396 x 690 x 665	82
066A/14	4	102,5	9390	0,55	0,55	1831 x 785 x 965	151
066B/14	4	128,1	9020	0,55	0,55	1831 x 785 x 965	165
071A/14	4	134,5	13200	0,75	0,63	2046 x 865 x 1065	186
071B/14	4	168,2	12650	0,75	0,63	2046 x 865 x 1065	204
081A/14	4	182,8	18440	1,1	0,8	2231 x 955 x 1265	251
041B/17	7	21,2	2990	0,18	0,4	996 x 665 x 565	45
041 C/17	7	25,5	2910	0,18	0,4	996 x 665 x 565	49
046B/17	7	34,0	4500	0,37	0,5	1196 x 685 x 665	61
046C/17	7	40,7	4430	0,37	0,5	1196 x 685 x 665	66
051C/17	7	50,9	5860	0,37	0,5	1396 x 690 x 665	77
066A/17	7	60,3	10110	0,75	0,63	1831 x 785 x 965	136
066B/17	7	75,4	9870	0,55	0,55	1831 x 785 x 965	148
066C/17	7	90,5	9660	0,55	0,55	1831 x 785 x 965	158
071B/17	7	99,0	13880	0,75	0,63	2046 x 865 x 1065	181
071C/17	7	118,8	13570	0,75	0,63	2046 x 865 x 1065	194
081B/17	7	134,5	19220	1,1	0,8	2231 x 955 x 1265	242
081C/17	7	161,4	18860	1,1	0,8	2231 x 1055 x 1265	272
051C/11 0	10	36,7	5950	0,37	0,5	1396 x 690 x 665	76
051D/11 0	10	48,9	5760	0,37	0,5	1396 x 790 x 665	92
066C/11 0	10	65,2	9870	0,55	0,55	1831 x 785 x 965	158
066D/11 0	10	86,9	9430	0,55	0,55	1831 x 985 x 965	193
071C/110	10	85,6	13880	0,75	0,63	2046 x 865 x 1065	194
071D/110	10	114,1	13230	0,75	0,63	2046 x 1065 x 1065	240
081C/110	10	116,2	19220	1,1	0,8	2231 x 1055 x 1265	271
081D/110	10	155,0	18450	1,1	0,8	2231 x 1055 x 1265	308
051C/112	12	31,1	6030	0,37	0,5	1396 x 690 x 665	73
051D/112	12	41,5	5870	0,37	0,5	1396 x 790 x 665	87
066C/112	12	55,4	10090	0,55	0,55	1831 x 785 x 965	151
066D/112	12	73,8	9690	0,55	0,55	1831 x 985 x 965	186
071D/112	12	96,9	13610	0,75	0,63	2046 x 1065 x 1065	231
081C/112	12	98,7	19580	1,1	0,8	2231 x 1055 x 1265	262
081D/112	12	131,6	18900	1,1	0,8	2231 x 1055 x 1265	296

Приложение 4. Коэффициенты местных сопротивлений

Местное сопротивление	A	Местное сопротивление	A
Проходной вентиль:		Отвод 45°:	
открытый	390	$R/d_{\text{вн}} = 0,5$	26
наполовину открытый	4700	$R/d_{\text{вн}} = 1,0$	12
Угловой вентиль	195	$R/d_{\text{вн}} = 2,5$	6
Задвижка:		Отвод 180° (калач):	
открытая	15	$R/d_{\text{вн}} = 0,5$	54
наполовину открытая	180	$R/d_{\text{вн}} = 1,0$	25
Обратный клапан	165	$R/d_{\text{вн}} = 2,5$	12,5
Проходной кран	20	Выход из сосуда:	
Трехходовой кран:		в трубу с выступающей кромкой	52
на проходе	50	в трубу заподлицо со стенкой	33
на повороте	160	в трубу с закруглением	16
Тройник:		Внезапное расширение:	
на проходе	20	$d_1 : d_2 = 1 : 4$	32
на разветвлении	65	$d_1 : d_2 = 1 : 2$	16
на проходе с уменьшением сечения наполовину	35	$d_1 : d_2 = 3 : 4$	10
Отвод 90° (угольник):		Внезапное сужение:	
$R/d_{\text{вн}} = 0,5$	40	$d_2 : d_1 = 1 : 4$	15
$R/d_{\text{вн}} = 1,0$	18	$d_2 : d_1 = 1 : 2$	12
$R/d_{\text{вн}} = 2,5$	9	$d_2 : d_1 = 3 : 4$	7

Составители: *Диденко Александр Александрович*
Пишенов Евгений Александрович

ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА

**Задания и методические указания
к контрольной работе**

Печатается в авторской редакции
Компьютерная вёрстка А.А. Диденко

Подписано в печать 28 марта 2023 г
Формат 84×108/32. Объем 1 уч.-изд. л
Тираж 40 экз. Изд. № . Заказ №

Отпечатано в минитипографии Инженерного института НГАУ
630039, г. Новосибирск, ул. Никитина 147