

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра машин и аппаратов химических и пищевых производств

РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ, ПРОНИКАЮЩЕЙ ЧЕРЕЗ СТЕНУ ХОЛОДИЛЬНИКА И ПОСЛОЙНЫХ ТЕМПЕРАТУР

Методические указания

Составители:
Р.Н. Касимов,
С.П. Василевская

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование, 19.03.02 Продукты питания из растительного сырья, 19.03.03 Продукты питания животного происхождения

Оренбург
2021

УДК 621.56(076.5)

ББК 31.392я7

Р 24

Рецензент - кандидат технических наук, доцент А.В. Холодилин

Р 24 Расчет количества теплоты, проникающей через стену холодильника и послойных температур: методические указания / составители Р.Н. Касимов, С.П. Василевская; Оренбургский гос. ун-т. Оренбург: ОГУ, 2021. – 15 с.

Методические указания содержат сведения о конструкции и эксплуатации холодильных установок, а также методы их расчета.

Методические указания предназначены для выполнения практической работы по дисциплинам «Холодильная техника» и «Холодильная техника и технология» для студентов по направлениям подготовки: 15.03.02 Технологические машины и оборудование, 19.03.02 Продукты питания из растительного сырья, 19.03.03 Продукты питания животного происхождения, очной и заочной форм обучения.

УДК 621.56(076.5)

ББК 31.392я7

© Касимов Р.Н.,
Василевская С.П.,
составление, 2021
© ОГУ, 2021

Содержание

1 Теоретическая часть	4
1.1 Холодильники для пищевых продуктов	4
1.2 Конструкции наружных стен холодильников	5
1.3 Теплопроводность	9
1.4 Расчетная часть	12
1.5 Порядок оформления отчета	13
1.6 Контрольные вопросы.....	13
Список использованных источников	14
Приложение А.....	15

1 Теоретическая часть

1.1 Холодильники для пищевых продуктов

Понятие «холодильник» включает специально оборудованное здание и холодильную компрессорную установку, которую используют для поддержания в здании температурно-влажностного режима, соответствующего технологическим нормам хранения или производства пищевых продуктов. Холодильники относятся к промышленным зданиям. В отличие от отапливаемых зданий в помещениях холодильников поддерживают пониженную температуру воздуха от +12 °С до минус 30 °С и повышенную относительную влажность воздуха 80-95 %. Отличительными особенностями зданий холодильников являются отсутствие световых проемов (окон), наличие мощной тепловой изоляции наружных и внутренних ограждений, теплоизолированных дверей, оборудования для охлаждения помещений и устройств для предотвращения промерзания грунта в основании здания.

Назначение холодильников определяет выбор материалов для строительных конструкций, которые должны быть прочными, устойчивыми к воздействию нагрузок, долговечными, огнестойкими, морозостойкими, экономичными.

В наибольшей степени этим требованиям удовлетворяет железобетон.

Несущие и ограждающие конструкции из железобетона применяют на строительстве как одно-, так и многоэтажных холодильников. Включение в конструкции ограждений холодильника тепловой изоляции и пароизоляционного слоя, которые должны быть непрерывными, определяет необходимость построения зданий из двух частей: несущего каркаса и самонесущих стен. Исключение составляют холодильники небольшой емкости, в которых стены являются несущими.

При проектировании следует стремиться к широкому применению сборных железобетонных конструкций заводского изготовления. В случае использования монолитного железобетона должно предусматриваться применение индустриальных методов производства работ. Использование железобетона не

исключает возможности применения других строительных материалов. Особое внимание следует обратить на применение местных строительных материалов, таких, как ракушечник, туф с малыми коэффициентами теплопроводности.

С освоением промышленного выпуска легких металлических конструкций каркасов, покрытий и стеновых ограждений для одноэтажных промышленных зданий стало возможным использовать их при проектировании одноэтажных холодильников наряду с железобетонными конструкциями заводского изготовления.

1.2 Конструкции наружных стен холодильников

Наружные ограждающие конструкции (стены и покрытия) отделяют помещения здания от воздействия погодных условий.

Наружные стены зданий холодильников выполняют многослойными. Можно выделить три основных слоя. Средний слой стены – тепловая изоляция из эффективных и долговечных теплоизоляционных материалов. Наружный слой - несущий и защитно-декоративный, предназначенный для восприятия нагрузки собственной массы всех слоев стены и ветровой нагрузки, защиты тепловой изоляции от механических повреждений и погодных факторов, а также создания архитектуры фасадов здания. Между наружным слоем и тепловой изоляцией осуществляется пароизоляция, предназначенная для защиты тепловой изоляции от увлажнений. Третий – внутренний (защитный) слой - располагают со стороны помещений холодильника, предназначается для защиты изоляции от разрушения при грузовых работах на холодильнике и устранения контакта изоляционных материалов с пищевыми продуктами.

Наружные стены зданий холодильников выполняют из железобетонных панелей, кирпича или естественных камней.

При использовании сборных железобетонных конструкций наружные стены проектируют из вертикальных или горизонтальных крупноразмерных панелей (рисунок 1), изготавливаемых из тяжелого бетона марки 200 или

керамзитоблоки марки 100. Стеновые панели серии 1.423-4 имеют высоту 4,8; 5,2; 6,0 и 6,4 м, ширину 1,5 и 3,0 м, толщину 120 мм и применяются в основном для проектирования многоэтажных холодильников.

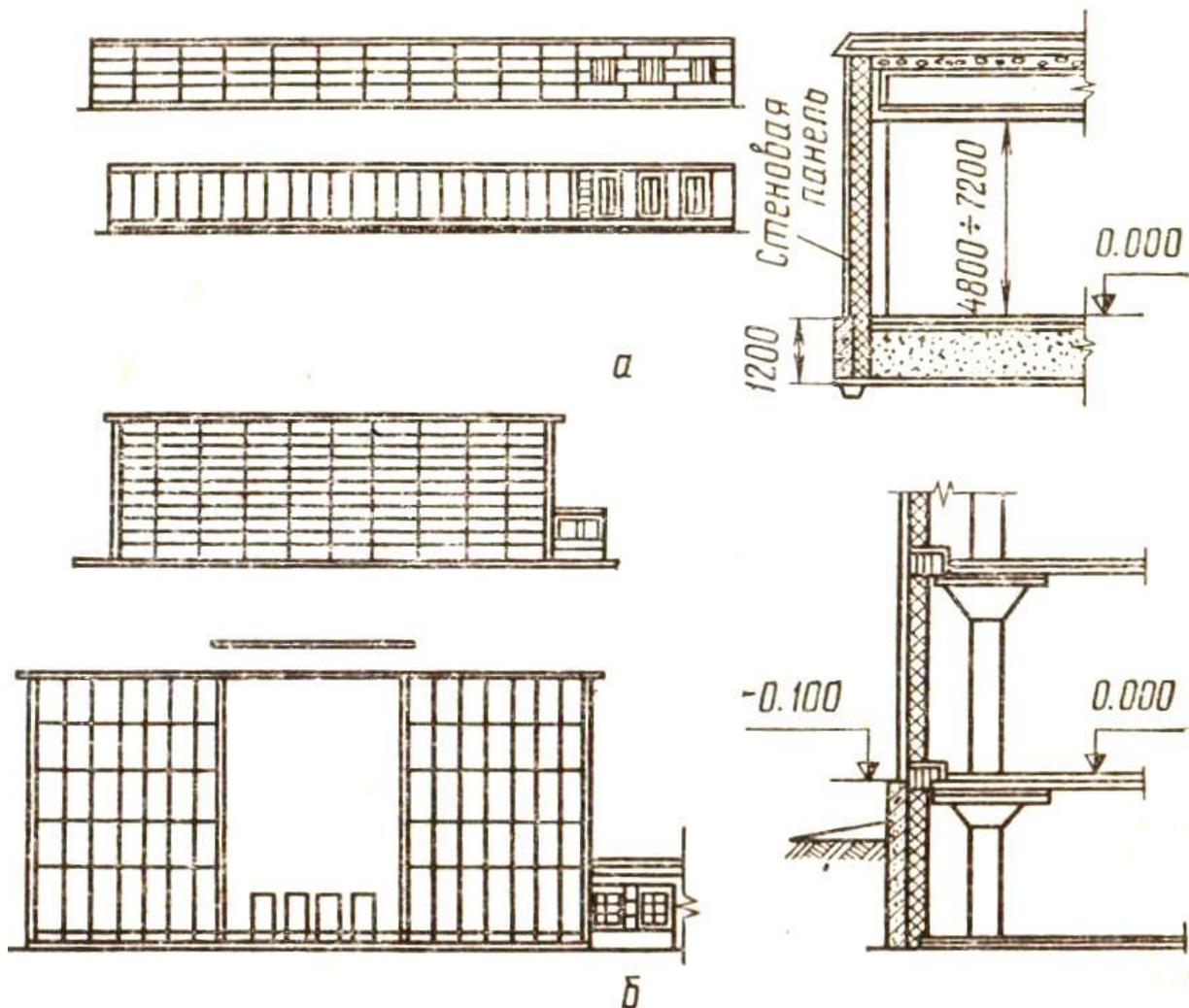
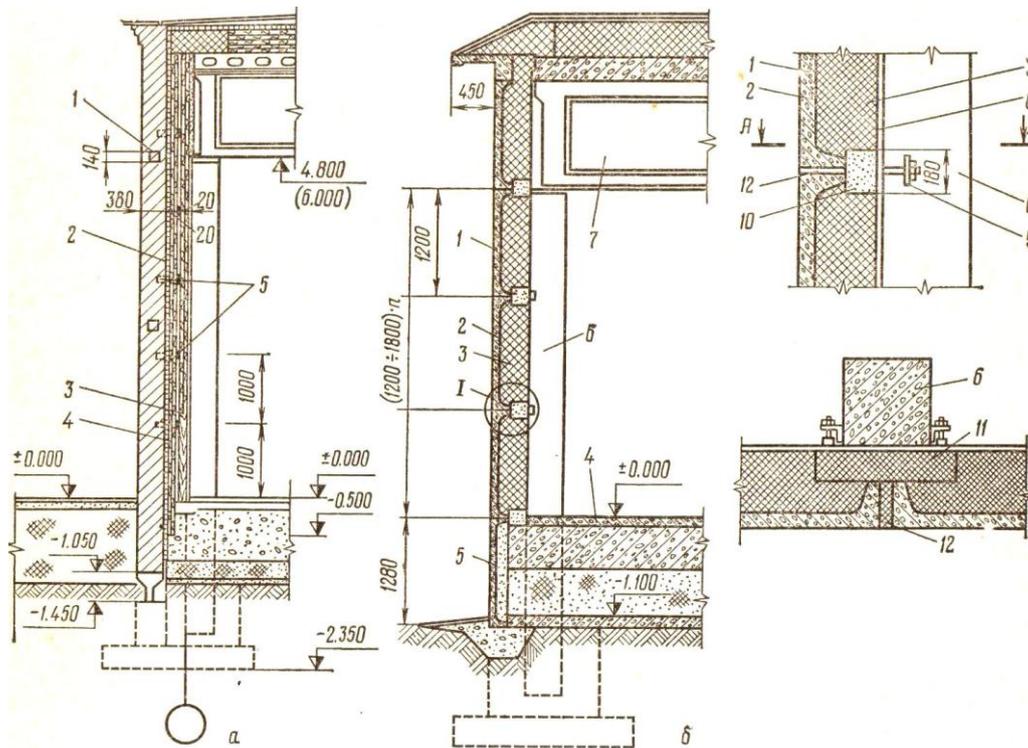


Рисунок 1 - Фасады и конструкции наружных стен из сборных горизонтальных и вертикальных панелей одноэтажных (а) и многоэтажных (б) холодильников

Можно применять горизонтальные железобетонные панели серии СТ- 02-31 и горизонтальные панели из керамзитобетона (рисунок 2). Высота таких панелей 1.2 – 1,8 м, длина 6 м, толщина 200 мм.



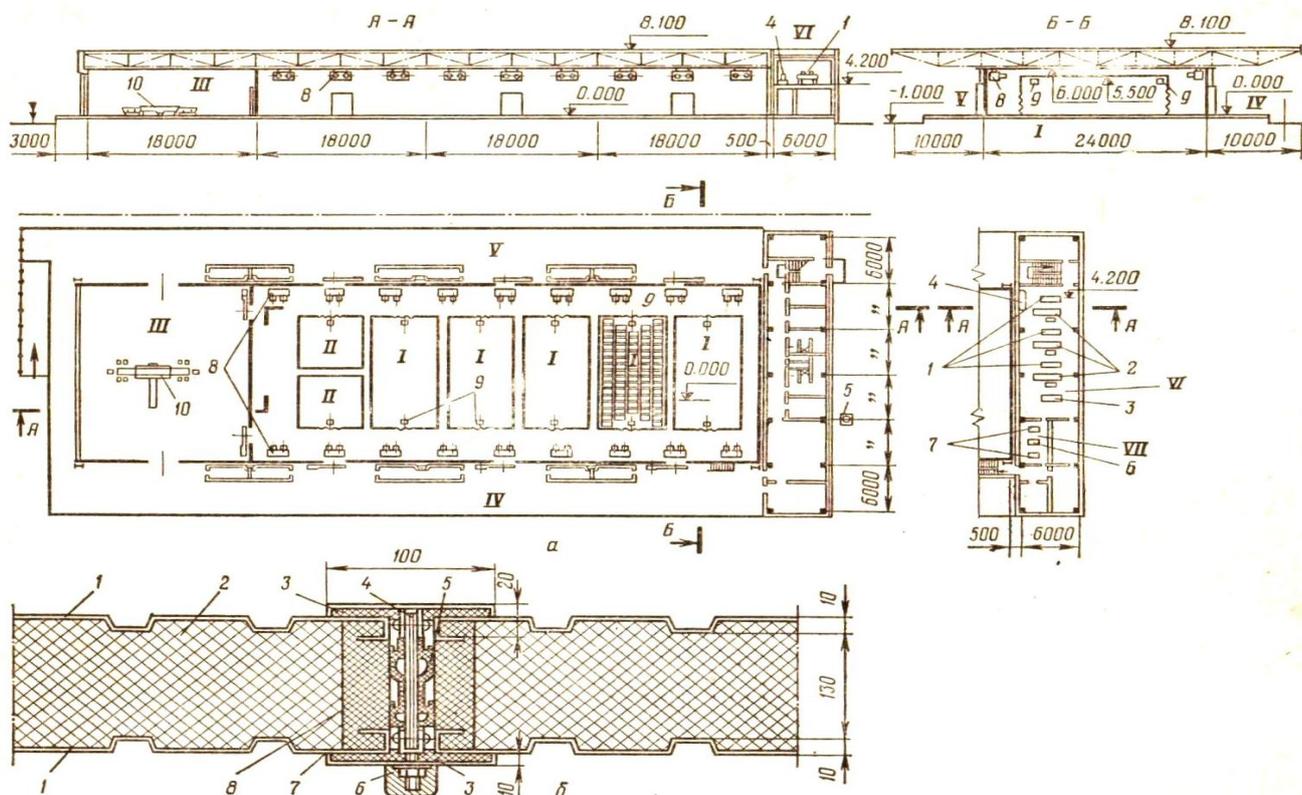
a - из кирпича: 1 - железобетонный пояс; 2 - штукатурка; 3 - теплоизоляция; 4 - пароизоляция; 5 - деревянные антисептированные рейки; *б* - из сборных железобетонных панелей: 1 - железобетонная панель; 2 - пароизоляция; 3 - теплоизоляция; 4 - пол камеры; 5 - цокольная панель; 6 - колонна; 7 - балка покрытия; 8 - внутренняя отделка; 9 - деталь крепления; 10 - 11 - дополнительная изоляция; 12 - заделка стыка

Рисунок 2 - Конструкции наружных стен холодильников

До последнего времени наиболее распространенным материалом для наружных стен одноэтажных холодильников был обыкновенный полнотелый глиняный кирпич пластического прессования. Поскольку наружные стены холодильников самонесущие, толщина кирпичной кладки составляет 380 мм (полтора кирпича) на цементно-песчаном растворе марки 50. Её оштукатуривают с одной (внутренней) или двух сторон. Внутренний слой выполняют по металлической сетке. Иногда штукатурку заменяют асбестоцементными листами толщиной 8 ÷ 12 мм.

Стена отстоит от внешней грани наружного ряда колонн каркаса на 250-500 мм. Для устойчивости стены крепят к колоннам с помощью анкеров в средней части колонны и вверху (там, где устанавливается балка покрытия).

В многоэтажных холодильниках наружный ряд колонн отстоит от стен на 1,5-2,0 м. Стены крепятся к многоэтажным покрытиям анкерами.



а - план и разрезы холодильника: *I-II* - секции с регулируемой газовой средой; *III* - цех товарной обработки; *IV-V*- автомобильная и железнодорожная платформы; *VI* - машинное отделение; *VII* - помещение газогенераторной установки; б - деталь стыка ограждающих панелей: *1* - профилированный лист из стали или алюминия; *2* - теплоизоляция; *3* - гнутый профиль из стали или алюминия; *4* - бакелизированная фанера; *5* - уплотняющий профиль из эластичного пенополиэтилена; *6* - полиэтиленовый колпак на эпоксидной смоле; *7* - герметизирующая мастика; *8* - участок теплоизоляции, пропитанный синтетическими смолами.

Рисунок 3 - Экспериментальный холодильник из легких ограждающих конструкций

Перспективным считается внедрение облегченных конструкций охлаждаемых складов, наружные ограждения которых выполнены из панелей типа «сэндвич». Эти элементы выполнены из двух гофрированных стальных оцинкованных листов толщиной 0,75 мм, пространство между которыми заполнено пенополистиролом ПСБ-С. Толщина изоляционного слоя 130 мм (см. рисунок 3, б). Теплоизоляционный слой может быть выполнен из заливочных композиций (пенополиуретан, фенольный пенопласт). Толщина его может быть различной. Для кровельных слоев могут быть применены также другие, более стойкие материалы.

Выпускают панели значительной длины – до 20 м. Ширина панелей также может быть различной. Панели крепят к элементам каркаса самонарезающимися болтами. Стыки герметизируют. Наиболее целесообразно применение стыков, заполняемых после монтажа вспененным полиуретаном, что позволяет получить сплошной теплоизоляционный слой.

Внутренние стены холодильников, отделяющие охлаждаемые помещения от коридоров, тамбуров, вестибюлей, выполняют из тех же материалов, что и наружные, только толщина кирпичной кладки может быть уменьшена до 250 мм.

1.3 Теплопроводность

Количество теплоты, переданной теплопроводностью, определяется по закону Фурье $q = -\lambda grad \cdot T$, где λ - коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К).

Расчетные уравнения:

Для плоской однослойной стенки

$$q = (\lambda / \delta) \cdot (T_1 - T_2), \quad (1)$$

где δ - толщина стенки, м;

$$Q = (\lambda / \delta) \cdot (T_1 - T_2) \cdot A, \quad (2)$$

где A - площадь стены, м^2 .

Для плоской многослойной стенки

$$q = \frac{T_1 - T_{n+1}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} ;$$

$$Q = \frac{A \cdot (T_1 - T_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} . \quad (3)$$

Температура на поверхности слоев:

$$T_2 = T_1 - q \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} \right) ;$$

$$T_3 = T_2 - q \left(\frac{\delta_2}{\lambda_2} \right) = T_1 - q \left[\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} \right) + \left(\frac{\delta_2}{\lambda_2} \right) \right] ;$$

$$T_i = T_1 - q \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) \right] ; \quad (4)$$

Для однослойной цилиндрической поверхности

$$q = \frac{\pi \cdot (T_1 - T_2)}{\frac{1}{2\lambda} \cdot \ln \left(\frac{d_2}{d_1} \right)} ;$$

$$Q = \frac{\pi \cdot l \cdot (T_1 - T_2)}{\frac{1}{2\lambda} \cdot \ln \left(\frac{d_2}{d_1} \right)} . \quad (5)$$

где d_1, d_2 - внутренний и наружный диаметры цилиндрической поверхности, м;
 l - длина цилиндрической поверхности, м;
 для многослойной цилиндрической поверхности:

$$q = \frac{\pi \cdot (T_1 - T_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \cdot \ln\left(\frac{d_{i+1}}{d_i}\right)};$$

$$Q = \frac{\pi \cdot l \cdot (T_1 - T_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \cdot \ln\left(\frac{d_{i+1}}{d_i}\right)}; \quad (6)$$

Температура на поверхности слоев многослойной цилиндрической стенки:

$$T_2 = T_1 - \frac{q}{\pi} \cdot \frac{1}{2\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1};$$

$$T_3 = T_1 - \frac{q}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{2\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2} \right);$$

$$T_i = T_1 - \frac{q}{\pi} \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} \right); \quad (7)$$

Толщина любого слоя

$$\delta_x = \frac{\lambda_x \left[(T_1 - T_{n+1}) - q \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right]}{q} \quad (8)$$

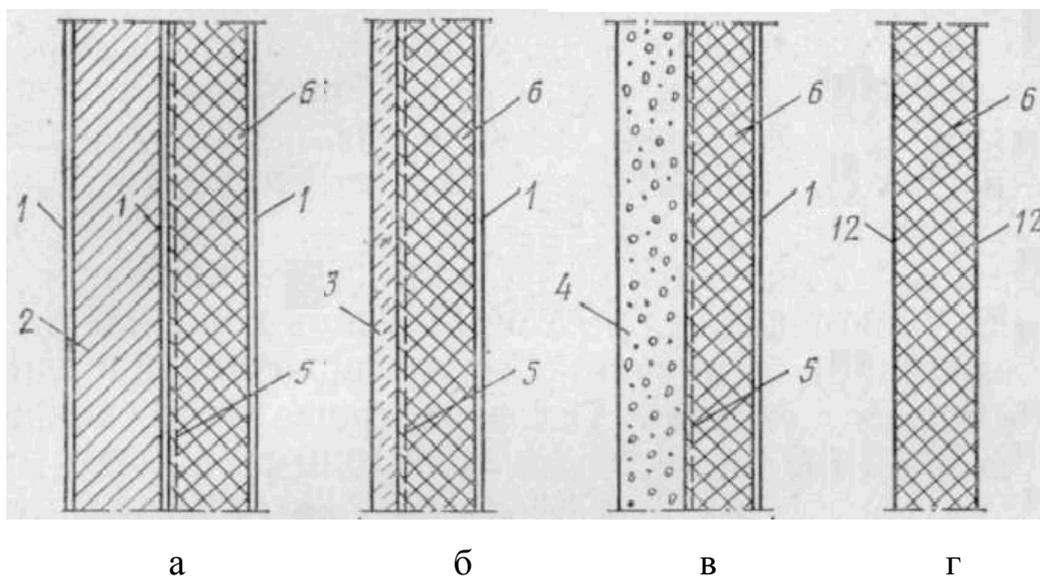
ИЛИ

$$\delta_x = \frac{\lambda_x \left[(T_1 - T_{n+1}) - Q \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right]}{Q} \quad (9)$$

1.4 Расчетная часть

Цель работы: изучение теоретических основ теплообмена, в частности теплопроводности для случая плоской многослойной стенки; приобретение практических навыков по расчету теплопритока через наружную стену холодильника, выполненную из различных строительных материалов.

Задание: Определить количество теплоты, проникающей через наружную поверхность стены холодильника площадью S , м^2 , расположенного в городе (см. приложение А), и неизвестные температуры в местах соприкосновения слоев. Температура наружного слоя t_n , внутреннего $t_{вн}$. Расчетный коэффициент теплопроводности λ , ($\text{Вт/м}\cdot\text{К}$) для тяжелого бетона $1\div 1,4$; керамзитобетона $0,46\div 0,7$; кладки кирпичной $0,82$; штукатурки цементной $0,88\div 0,93$; пароизоляции $0,86$; теплоизоляции $0,047$. Толщину штукатурки принять $\delta = 0,020$ м, пароизоляции $\delta = 0,005$ м; теплоизоляции $\delta = 0,300$ м. Распределение температур по слоям отобразить графически согласно рисунка 4 (по вариантам).



- а - кирпичные стены; б - железобетонные панельные стены;
в - керамзитобетонные панельные стены; г – типа «сэндвич»:
1 – штукатурка; 2 – кирпичная кладка; 3 – железобетонная панель;
4 - керамзитобетонная панель; 5 – пароизоляция; 6 – теплоизоляция.

Рисунок 4 - Наружные ограждающие конструкции холодильника

1.5 Порядок оформления отчета

Отчет расчетно-практической работы включает в себя:

- цель работы;
- теоретическая часть, в которой приведены конструкции стен холодильников из различных строительных материалов и излагаются основы теплопроводности;
- расчетную часть, в которой проводится расчет теплопритока через стену холодильника и послойных температур;
- графическую часть, в которой полученные температуры отображаются в виде графика на разрезе стены.

1.6 Контрольные вопросы

1. Каковы особенности конструкций зданий холодильников?
2. Для чего в конструкции стен необходимо включение пароизоляционного слоя?
3. Почему перспективным считается внедрение облегченных охлаждаемых складов типа «сэндвич»?
4. Способы передачи теплоты?
5. Как определяется количество теплоты, переданной теплопроводностью?
6. Как определить температуру на поверхности слоев плоской многослойной стенки?

Список использованных источников

1. Холодильная техника / Под ред. Лебедева В.Ф. – М.: Агропромиздат, 1986.- 335 с.: ил.- (Учебники и учеб. пособия для вузов).
2. Самойлов, А.И. Сборник задач по термодинамическим процессам и процессам теплообмена в машинах и аппаратах холодильных установок./ А.М. Самойлов – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1984. – 144 с.
3. Свердлов, Г.З., Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха./ Г.З. Свердлов, Б.К. Явнель – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Пищевая пром-сть, 1978. – 264 с.
4. Основы холодильной техники /Доссат Р. Дж., Хоран Т. Дж./ Москва: Техносфера, 2008. - 824 с.
5. Мещеряков, Ф.Е. Основы холодильной техники и холодильной технологии./ Ф.Е. Мещеряков - М.: Пищевая промышленность, 1975.

Приложение А
(справочное)
Варианты индивидуальных заданий

Вариант	Город	Стена холодильника			$t_n, ^\circ\text{C}$	$t_{вн}, ^\circ\text{C}$	
		Материал	Толщина, м	Длина, м			Высота, м
1	Архангельск	тяжелый бетон	0,20	12,0	6,0	27	- 20
2	Астрахань	кирпич обыкновенный	0,38	6,0	4,8	34	- 20
3	Барнаул	керамзитобетон	0,20	6,0	6,0	31	+ 4
4	Брянск	тяжелый бетон	0,12	6,0	6,0	30	0
5	Владивосток	кирпич обыкновенный	0,51	6,0	6,0	30	- 30
6	Владимир	керамзитобетон	0,20	6,0	6,0	29	+ 4
7	Волгоград	кирпич обыкновенный	0,38	6,0	4,8	35	0
8	Вологда	тяжелый бетон	0,12	12,0	6,0	28	+ 4
9	Воронеж	керамзитобетон	0,20	12,0	6,0	33	0
10	Екатеринбург	кирпич обыкновенный	0,51	12,0	4,8	30	- 20
11	Иваново	тяжелый бетон	0,12	6,0	5,2	30	+ 4
12	Краснодар	керамзитобетон	0,20	12,0	6,0	34	- 20
13	Курск	кирпич обыкновенный	0,38	12,0	4,8	30	0
14	Москва	тяжелый бетон	0,12	12,0	6,0	30	+ 6
15	Мурманск	керамзитобетон	0,20	6,0	6,0	25	+ 4
16	Н.Новгород	кирпич обыкновенный	0,51	6,0	4,8	29	0
17	Новосибирск	тяжелый бетон	0,20	12,0	6,0	30	- 20
18	Омск	кирпич обыкновенный	0,64	12,0	6,0	31	- 30
19	Оренбург	керамзитобетон	0,20	6,0	6,0	34	+ 4
20	Пермь	тяжелый бетон	0,12	12,0	6,4	29	0
21	Ростов-на-Дону	кирпич обыкновенный	0,64	12,0	4,8	33	- 30
22	Самара	керамзитобетон	0,20	6,0	6,0	32	- 20
23	С. Петербург	тяжелый бетон	0,12	12,0	5,2	27	0
24	Саратов	кирпич обыкновенный	0,51	6,0	4,8	33	+4
25	Сочи	керамзитобетон	0,20	6,0	6,0	32	+ 6
26	Томск	тяжелый бетон	0,12	12,0	5,2	29	0
27	Уфа	тяжелый бетон	0,20	12,0	6,0	32	- 20
28	Хабаровск	кирпич обыкновенный	0,64	12,0	4,8	32	- 30
29	Чита	керамзитобетон	0,20	6,0	6,0	32	0
30	Ярославль	тяжелый бетон	0,12	12,0	6,0	28	+ 4