

Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО Уральский государственный технический университет

Система теплоснабжения цеха малого предприятия

Методическое руководство к курсовому проекту
по дисциплине «Основы инженерного проектирования»
для студентов всех форм обучения специальностей:

140104 – Промышленная теплоэнергетика

140106 – Энергообеспечение предприятий

Екатеринбург 2007

УДК

Составители: Ю.В. Дружинина, В.Г. Тупоногов

Научный редактор проф., д-р техн. наук В.А. Мунц

Система теплоснабжения цеха малого предприятия: Методическое руководство к курсовому проекту по дисциплине «Основы инженерного проектирования»

/ Ю.В. Дружинина, В.Г. Тупоногов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. 42 с.

Изложены основные аспекты расчета количества теплоты, необходимого для отопления промышленного здания, приведены рекомендации по выбору схемы и расчету оборудования системы теплоснабжения, правила гидравлического расчета схемы.

Библиогр.: назв. Рис. 4 . Табл. 21.

Подготовлено кафедрой «Промышленная теплоэнергетика».

ЗАДАЧИ И ОБЪЕМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.

Цель выполнения курсового проекта – закрепление теоретических знаний в процессе практического решения конкретной инженерной задачи - проектирования системы теплоснабжения цеха малого предприятия; ознакомление со специальной литературой и номенклатурой выпускаемых промышленностью изделий, развитие творческой инициативы студентов и инженерного мышления.

Расчетно-пояснительная записка к курсовому проекту должна включать расчет теплотерь здания через ограждающие конструкции; расчет полной тепловой нагрузки; расчет элементов и выбор оборудования системы отопления; гидравлический расчет тепловой сети; расчет тепловой завесы (если требуется); спецтема. Спецтемой может быть проектирование узла учета тепловой энергии или выбор и размещение оборудования автономной отопительной котельной.

В графическую часть проекта входят план цеха с разводкой системы теплоснабжения, выполняемый на листах формата А2; аксонометрическая схема системы отопления и спецтема, выполняемые на листах формата А3.

Оформление пояснительной записки и графических материалов необходимо производить в соответствии установленными государственными стандартами и стандартом предприятия СТП УПИ 1-85.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТА.

В задании на курсовой проект указываются следующие данные: размеры цеха малого предприятия, характер производства, вид и количество технологического оборудования, количество персонала, одновременно работающего в цехе, производительность цеха по основной продукции, наличие и размеры административно-бытовых помещений, их расположение; материал и толщина стен, внутренние и наружные покрытия; вид и величина световых проемов; вид и толщина перекрытия; тип пола; размеры, материал и толщина ворот и дверей, периодичность открывания; температурный график тепловой сети; температура внутри бытовых помещений и в цехе; спецтема.

1. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ОТАПЛИВАЕМЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ.

РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА.

Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха создают в закрытых помещениях микроклимат, обеспечивающий благоприятные условия для труда и отдыха людей, а также для ведения технологического производственного процесса. Основными параметрами, определяющими состояние воздуха, являются его температура, влажность, чистота, скорость движения.

Нормы метеорологических условий в производственных помещениях, общественных и жилых зданиях приведены в таблицах.

Таблица 1.

Нормы оптимальных метеорологических условий на постоянных рабочих местах в рабочей зоне производственных помещений и в обслуживаемой зоне других помещений.

Характеристика помещений	Категория работ	Холодный и переходный периоды года (температура наружного воздуха ниже 10°С)			Теплый период года (температура наружного воздуха 10°С и выше)		
		Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Производственные независимо от величины избытков явной теплоты	Легкая	20-22	60-30	Не более 0,2	22-25	60-30	0,2-0,5
	Средней тяжести	17-19	60-30	Не более 0,3	20-23	60-30	0,2-0,5
	Тяжелая	16-18	60-30	Не более 0,3	18-21	60-30	0,3-0,7
Вспомогательные помещения в произв. зданиях, помещениях в жилых и общественных зданиях и во вспом. зданиях предприятий	-	20-22	45-30	0,1-0,15	22-25	60-30	Не более 0,25

Таблица 2.

Допустимая наибольшая относительная влажность воздуха в производственных помещениях (для расчетов систем вентиляции) φ , %.

Температура внутри помещения, °С	Выделения только теплоты	Одновременное выделение теплоты и влаги при тепло-влажностном отношении	
		$4200 < \varepsilon < 8400$	$\varepsilon < 4200$
Холодный и переходный периоды года			
16-18	60	80	80
20-25	55	80	80
Теплый период года			
28 и выше	55	60	65
26	60	70	75
25	65	75	80
24	80	80	80

Примечания:
 1. Для расчета наружных ограждений следует принимать предельно допустимую относительную влажность воздуха в производственных помещениях.
 2. Величина ε характеризует изменение состояния воздуха (его энтальпии и влагосодержания) в помещении. Определение значения ε см.

Таблица 3.

Параметры воздуха в помещении, необходимые для различных технологических процессов.

Технологический процесс или помещение	$t_{в}$, °С	φ , %
Точное машиностроение		
Цехи точной обработки и сборки деталей, помещения ОТК	20	45-50
Сборка герметичного холодильного оборудования	20	30-45
Электрическое производство		
Намотка трансформаторов и катушек	22	15
Сборка радиоламп	20	40
Изготовление электроизмерительных приборов	21-24	50-55
Обработка пластинок из селена и окиси меди	23	30-40
Устройство газовой аппаратуры	20	20-40
Оптическое производство		
Плавка стекла	24	45
Шлифовка линз	24	80
Спичечное производство		

Технологический процесс или помещение	$t_{в}, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$
Изготовление	21-25	50
Сушка	21-25	40
Хранение	15-17	50
Производство искусственного волокна		
Изготовление волокна и ткани из вискозы	25	60
Изготовление волокна и ткани из нейлона	25	50-60
Хранение меха	4-10	55-65
Хранение кожи	10-16	40-60
Производство абразивов и наждачной бумаги	25	50
Полиграфическое производство		
Многоцветная литография (офсет)	24-26	46-48
Плоское печатание (отдельными листами)	24-26	45-50
Ротационное печатание (из рулона)	24-26	50-55
Хранение бумаги для литографии	22-25	На 5-8% выше, чем при печатании
Хранение остальной бумаги	20-25	То же, что при печатании
Переплет, резка, сушка, склеивание	20-26	45-50
Хранение печатных валков	22-26	50
Библиотеки и музеи	20-25	40-50

2. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ЗДАНИЙ.

2.1. РАСЧЕТ ТЕПЛОПOTЕРЬ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ.

Основные потери теплоты Q , Вт, через ограждающие конструкции зданий определяются по формуле

$$Q = \frac{F}{R_o} (t_v - t_n) n,$$

где F – площадь ограждения, m^2 ; R_o – полное термическое сопротивление теплопередачи через ограждающие конструкции, $\frac{m^2 K}{Bm}$; t_v и t_n – расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха, $^{\circ}C$; n – поправочный коэффициент на разность температур.

Термическое сопротивление R_o , $\frac{m^2 K}{Bm}$, для многослойного ограждения следует определять по формуле

$$R_o = R_v + \Sigma R_c + R_{в.п.} + R_n$$

где R_v и R_n – термическое сопротивление теплоотдачи к внутренней и от наружной поверхности, $\frac{m^2 K}{Bm}$; $R_{в.п.}$ – термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, $\frac{m^2 K}{Bm}$; ΣR_c – сумма термических сопротивлений отдельных слоев ограждения, $\frac{m^2 K}{Bm}$.

Таблица 4.

Значения коэффициента n в формуле.

Ограждающие конструкции	Коэффициент n
Наружные стены и покрытия, перекрытия чердачные (с кровлей из штучных материалов) и над проездами; перекрытия над холодными без ограждающих стенок подпольями в северной строительной-климатической зоне	1
Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом, перекрытия чердачные (с кровлей из рулонных материалов); перекрытия над холодными с	0,9

Ограждающие конструкции	Коэффициент n
ограждающими стенками подпольями и холодными этажами в северной строительной-климатической зоне	
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах	0,75
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенными выше уровня земли	0,6
Перекрытия над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	0,4

Таблица 5.

Термическое сопротивление теплоотдачи R_v к внутренней поверхности ограждения.

Внутренняя поверхность ограждающих конструкций	$R_v, \text{ м}^2\text{К}/\text{Вт}$
Стены, полы, гладкие потолки, потолки с выступающими ребрами при отношении высоты ребер h к расстоянию a между гранями соседних ребер $h/a \leq 0,3$	0,115
Потолки с выступающими ребрами при отношении $h/a > 0,3$	0,132

Таблица 6.

Значение коэффициентов теплоотдачи $\alpha_n = 1/R_n$ у наружной поверхности ограждающей конструкции.

Наружная поверхность ограждающих конструкций	Коэффициент теплоотдачи для зимних условий $\alpha_n, \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$
Наружные стены, покрытия, перекрытия над проездами и над холодными без ограждающих стенок подпольями в северной строительной-климатической зоне	23,3
Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытия над холодными с ограждающими стенками подпольями и холодными этажами в северной строительной-климатической зоне	17,5
Перекрытия чердачные и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах	11,6
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли, и над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	5,8

Таблица 7.

Термическое сопротивление теплоотдачи $R_{в.п.}$, $\text{м}^2\text{К}/\text{Вт}$ к внутренней поверхности ограждения.

Толщина воздушной прослойки, м	Воздушные прослойки			
	Горизонтальная при потоке теплоты снизу вверх и вертикальная		Горизонтальная при потоке теплоты сверху вниз	
	Температура воздуха в прослойке			
	положительная	отрицательная	положительная	отрицательная
0,01	0,13	0,15	0,14	0,16
0,02	0,14	0,16	0,16	0,19
0,03	0,14	0,17	0,17	0,21
0,05	0,14	0,17	0,17	0,22
0,1	0,15	0,18	0,18	0,23
0,15	0,16	0,18	0,19	0,24
0,2-0,3	0,16	0,19	0,19	0,24

Примечание: При оклейке одной или обеих поверхностей воздушной прослойки алюминиевой фольгой термическое сопротивление следует увеличить в 2 раза.

Таблица 8.

Теплотехнические характеристики конструкций наружных стен с внутренней штукатуркой.

Характеристика конструкций	ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$	λ , $\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$	σ , мм	$R_{ст}$, $\text{м}^2\text{К}/\text{Вт}$
Кладка сплошная				
из обыкновенного глиняного кирпича на тяжелом растворе	1800	0,7	380	0,65
			510	0,81
			640	0,96
			770	1,16
из силикатного кирпича на тяжелом растворе	1900	0,76	380	0,66
			510	0,83
			640	1,01
			770	1,18
из эффективного (дырчатого) кирпича на тяжелом растворе (60 отверстий)	1300	0,58	380	0,89
			510	1,14
			640	1,38
Крупноразмерная трехслойная железобетонная панель ($l = 6$ м, $b = 0,8-1,8$ м)	2400	1,22	250	1,00
Утеплитель – минераловатные плиты ($\delta = 14$ мм)	300	0,08		
Крупноразмерная двухслойная панель ($l = 12$ м, $b = 0,8-2,4$ м)	2400	1,22	30	1,49

Характеристика конструкций	ρ , кг/м ³	λ , Вт/м·К	σ , мм	$R_{ст}$, м ² К/Вт
Утеплитель – цементный фибролит ($\delta = 14$ мм)	350	0,12		
Крупноразмерная однослойная панель ($l = 6$ м, $b = 0,8-2,0$ м), керамзитобетон	900	0,29	200	0,90
			240	1,06
Крупноразмерная панель из ячеистого бетона	700	0,22	200	1,06
Кладка сплошная из ракушечника на тяжелом растворе с внутренней штукатуркой	1400	0,58	390	0,70
			590	0,99
Кладка сплошная из бутового камня с внутренней штукатуркой	2420	2,39	700	0,62
			900	0,75

Таблица 9.

Термическое сопротивление $R_{с.п.}$, м²К/Вт заполнений световых проемов.

Заполнение светового проема	$R_{с.п.}$
Одинарное остекление в деревянных переплетах	0,17
Одинарное остекление в металлических переплетах	0,15
Двойное остекление в деревянных спаренных переплетах	0,34
Двойное остекление в металлических спаренных переплетах	0,31
Двойное остекление в деревянных отдельных переплетах	0,38
Двойное остекление в металлических отдельных переплетах	0,34
Двойное остекление витрин в металлических отдельных переплетах	0,31
Тройное остекление в деревянных переплетах (спаренных и одинарных)	0,52
Тройное остекление в металлических переплетах	0,48
Блоки стеклянные пустотелые размерами 194x194x98 мм при ширине швов 6 мм	0,31
Блоки стеклянные пустотелые размерами 244x244x98 мм при ширине швов 6 мм	0,33
Профильное стекло швеллерного сечения	0,16
Профильное стекло коробчатого сечения	0,34
Органическое стекло одинарное	0,19
Органическое стекло двойное	0,36
Органическое стекло тройное	0,52
Двухслойные стеклопакеты в деревянных переплетах	0,34
Двухслойные стеклопакеты в металлических переплетах	0,31
Двухслойные стеклопакеты и одинарное остекление в отдельных деревянных переплетах	0,52
Двухслойные стеклопакеты и одинарное остекление в металлических переплетах	0,48

2.2. ОБМЕР ПОВЕРХНОСТЕЙ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ.

Размеры ограждений (рис.) принимают следующими:

1. высота стен первого этажа h_1 при наличии пола, расположенного на грунте, – между уровнями полов первого и второго этажей; при наличие пола на лагах – от нижнего уровня подготовки пола первого этажа до уровня пола второго этажа; при наличии неотапливаемого подвала – от уровня нижней поверхности конструкции пола первого этажа до уровня пола второго этажа; в одноэтажных зданиях с чердачным перекрытием – то же, но с измерением высоты до верха утепленного перекрытия;

2. высота стен промежуточного этажа h_2 – между уровнями полов данного и вышележащего этажей; высота стен верхнего этажа h_3 – от уровня пола до верха утепляющего слоя чердачного перекрытия; высота стен одноэтажных производственных зданий с бесчердачным перекрытием – от уровня пола на грунте до пересечения внутренней грани стены с верхней поверхностью бесчердачного перекрытия; высота стен верхнего этажа зданий с бесчердачным перекрытием – та же (только до уровня чистого пола);

3. длина наружных стен (по внешнему периметру здания) в угловых помещениях l и l_1 – от линии пересечения наружных поверхностей стен до осей внутренних стен; в неугловых помещениях l_2 – между осями внутренних стен;

4. длина внутренних стен – от внутренних поверхностей наружных стен до осей внутренних стен l_3 или между осями внутренних стен l_4 ;

5. длина и ширина потолков и полов над подвалами и подпольями – между осями внутренних стен l_4 и от внутренних поверхностей наружных стен до осей внутренних стен l_3 и l_5 ;

6. ширина l_6 и высота l_7 окон, фонарей и дверей – по наименьшим размерам проемов в свету.

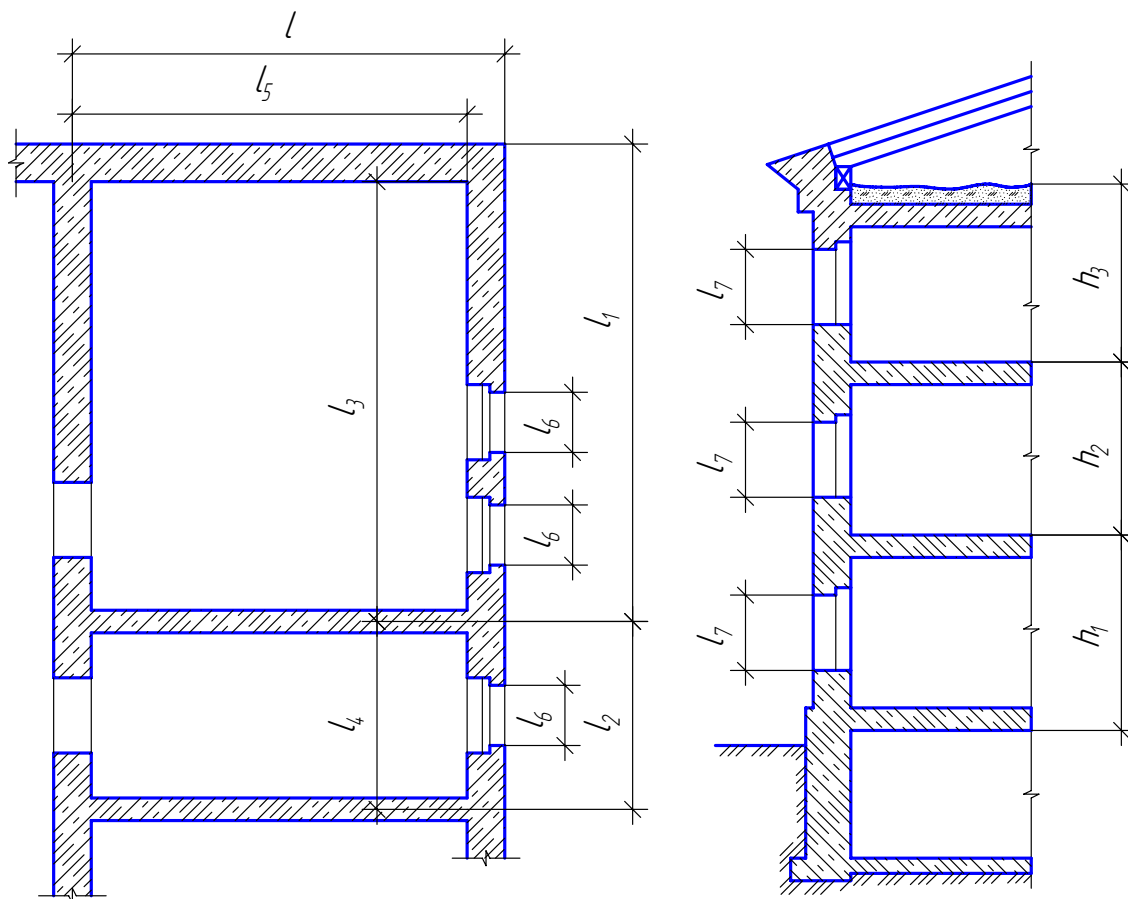


Рис.1. Размеры ограждающих конструкций зданий.

Теплопотери через неутепленные полы, расположенные непосредственно на грунте, определяются по формуле

$$Q = (t_v - t_n) \sum \frac{F_{в.н.}}{R_{н.н.}},$$

где $\frac{F_{н.н.}}{R_{н.н.}}$ – отношение площади зоны пола к условному термическому сопротивлению зоны.

Зоной называется полоса шириной 2 м, параллельная линии наружной стены. Зоны нумеруются от наружной стены.

Часть площади первой зоны, примыкающей к углу наружных стен, измеряют дважды (на рисунке эта площадь показана двойной штриховкой).

Значения термических сопротивлений следующие:

для зоны I $R_{н.п.}^I = 2,5 \cdot \text{м}^2 \text{К} / \text{Вт}$; для зоны II $R_{н.п.}^{II} = 5,0 \cdot \text{м}^2 \text{К} / \text{Вт}$; для зоны III $R_{н.п.}^{III} = 10,0 \cdot \text{м}^2 \text{К} / \text{Вт}$; для остального пола $R_{н.п.} = 16,5 \cdot \text{м}^2 \text{К} / \text{Вт}$.

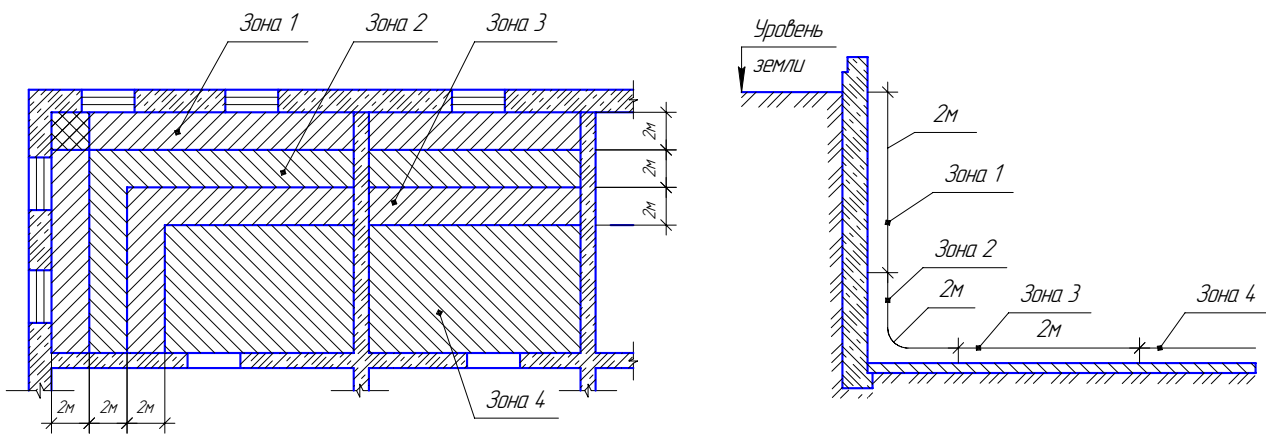


Рис.2. К расчету теплотерь через неутепленные полы.

Неутепленными считаются конструкции, которые независимо от толщины состоят из слоев материалов, имеющих коэффициент теплопроводности $\lambda \geq 1,16 \text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{К}$.

Термическое сопротивление утепленных полов $R_{у.п.}$, расположенных непосредственно на грунте, вычисляется для каждой зоны по формуле

$$R_{у.п.} = R_{н.п.} + \sum \frac{\delta_{у.с.}}{\lambda_{у.с.}}$$

где $\delta_{у.с.}$ – толщина утепляющего слоя, м; $\lambda_{у.с.}$ – коэффициент теплопроводности утепляющего слоя, $\text{Вт} / \text{м} \cdot \text{К}$.

Термическое сопротивление $R_{л}$ конструкции полов на лагах определяется по формуле:

$$R_{л} = \frac{R_{у.п.}}{0,85}$$

Теплопотери через подземную часть наружных стен отапливаемых помещений определяются так же, как и теплопотери через полы, т.е. по зонам шириной 2 м с отчетом их от поверхности земли. Сами полы в этом случае

рассматриваются как продолжение стен. Термическое сопротивление зон определяется так же, как для неутепленных или утепленных полов.

При определении общих теплопотерь через ограждающие конструкции учитываются приведенные в таблице 10 добавочные теплопотери в процентах к основным.

Таблица 10.

Добавочные теплопотери через ограждающие конструкции.

Помещения, здания и сооружения	Виды ограждающих конструкций	Добав. теплопотери к основн., %
Помещения в зданиях и сооружениях	Наружные вертикальные и наклонные (вертикальная проекция) стены, двери и светопроемы, обращенные:	
	на севр, восток, северо-восток и северо-запад	10
	на юго-восток и запад	5
Общественные здания, вспомогательные помещения производственных зданий и сооружений (при наличии в помещении двух и более наружных стен)	Наружные стены, двери и окна	5
Здания и сооружения любого назначения	Наружные двери, не оборудованные воздушными или воздушно-тепловыми завесами, при n этажах в зданиях и сооружениях:	
	тройные с двумя тамбурами между ними	60n
	двойные с тамбуром между ними	80n
	одинарные	65n
Примечания:		
1. В жилых, общественных и вспомогательных зданиях для помещений высотой более 4 м расчетное значение потерь теплоты всех ограждающих конструкций с включением добавочных потерь теплоты (без учета на инфильтрацию) надлежит увеличивать на 2 % на каждый метр высоты сверх 4 м, но не более, чем на 15 %. При расчете теплопотерь ограждающими конструкциями лестничных клеток дополнительные потери теплоты не следует учитывать.		
2. При разработке типовых проектов добавочные потери теплоты для помещений в зданиях и сооружениях любого назначения следует принимать в размере 8 %.		
3. Добавочные потери теплоты через наружные двери не следует учитывать, если двери являются летними или запасными.		

2.3. ТЕМПЕРАТУРА ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЯ.

В производственных помещениях за расчетную внутреннюю температуру t_v принимают: для ограждений на высоте 2 м от пола и через полы – температуру воздуха в рабочей зоне $t_{p.з.}$; для покрытий – температуру воздуха под покрытием $t_{в.з.}$; для стен – среднюю температуру – $t_{cp} = \frac{t_{p.з.} + t_{в.з.}}{2}$.

Температура верхней зоны при обогреве помещений сосредоточенным потоком воздуха от установленных в помещении отопительно-вентиляционных агрегатов $t_{в.з.} = t_{p.з.} + 3^{\circ}\text{C}$.

В других случаях $t_{в.з.}$ можно определить из выражения $t_{в.з.} = t_{p.з.} + \Delta \cdot (h - 2)$, где $t_{p.з.}$ – температуру в рабочей зоне; Δ – температурный градиент, принимаемый для промышленных зданий в пределах от 0,5 до 1,2 К/м; h – полная высота помещений, м.

В помещениях высотой до 4 м повышение температуры по высоте можно не учитывать.

В нерабочее время, как правило, во всех отапливаемых цехах, поддерживается температура $t_v = +5^{\circ}\text{C}$, если по особым условиям помещения или особенностям технологии производства не требуется другая температура.

2.4. ТЕМПЕРАТУРА НАРУЖНОГО ВОЗДУХА.

Расчетная температура наружного воздуха принимается равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 (92%).

Для перекрытий над неотапливаемыми подвалами, у которых часть наружных стен высотой 1 м и более расположена над поверхностью земли, расчетная разность температур определяется с учетом температуры воздуха в подвале, подсчитываемой по балансу тепла, поступающего в подвал и теряемого через наружные ограждения.

Для бесчердачного перекрытия с вентилируемой воздушной прослойкой температура воздушной прослойки принимается равной температуре наружного воздуха.

Теплообмен между смежными отапливаемыми помещениями учитывается только при разности расчетных температур внутреннего воздуха этих помещений более 5°C.

Для ограждений, отделяющих отапливаемые помещения от неотапливаемых, расчетная разность температур принимается как для наружных стен с поправочным коэффициентом.

2.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ТЕПЛА НА НАГРЕВАНИЕ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА, МАТЕРИАЛОВ И ТРАНСПОРТА.

Расход тепла Q , кВт, на нагревание материалов и транспорта определяются по формуле

$$Q = G_m c B (t_b - t_m)$$

где G_m – масса поступивших извне однородных материалов, транспортных средств, кг/с;

c – удельная теплоемкость материалов, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;

B – коэффициент, учитывающий долю тепла, поглощенного материалом за 1 час (табл 11);

t_b – температура внутреннего воздуха помещения, °С;

t_m – температура вносимого материала, °С.

Таблица 11.

Коэффициент B , учитывающий долю тепла, поглощенного материалом, за 1 час.

Продолжительность нахождения материалов в помещении, час	Значение коэффициента B	
	для несыпучих материалов и транспорта	для сыпучих материалов
1	0,5	0,4
2	0,3	0,25

Температура материала, поступающего из одного помещения в другое, следует принимать по данным технологического проекта.

Температура материала, поступающего снаружи, может быть принята для металла и металлических изделий равной зимней наружной температуре t_n , принимаемой для расчета отопления; для других несыпучих материалов – на 10°C выше t_n , для сыпучих материалов (песок, руда, уголь и пр.) – на 15°C выше t_n .

Расход тепла на обогревание железнодорожного транспорта, въезжающего в помещение, определяются по формуле

$$Q = Q' \cdot V$$

где Q' - общий расход теплоты на обогревание железнодорожных вагонов, кДж.

Для расчета мощности на покрытие тепловых потерь на нагревание железнодорожных вагонов нужно учесть количество поступающего транспорта в помещение за единицу времени.

Таблица 12.

Общий расход Q' на обогревание железнодорожного товарного вагона.

Вагон	Грузоподъемность вагона, т	Значение Q' , МДж, при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления, $^\circ\text{C}$									
		-15		-20		-25		-30		-35	
		при внутренней температуре помещения, $^\circ\text{C}$									
		+5	+15	+5	+15	+5	+15	+5	+15	+5	+15
Крытый	16,	115,6	173,5	144,6	202,4	173,5	231,3	202,4	256	231,3	289,1
Платформа	5	83,8	125,7	104,7	146,7	125,7	167,6	146,7	188,5	167,6	209,5
Крытый	20	163,4	244,7	204	285,8	244,7	326,8	285,8	367,5	326,8	408,5
Платформа		104,8	157,1	130,7	183,1	157,1	209,5	183,1	235,5	209,5	261,9
Крытый	50	301,7	452,5	377,1	527,9	452,5	590,8	527,9	678,8	590,8	754,2
Платформа		251,4	377,1	314,3	440	377,1	502,8	440	611,7	502,8	628,5
Хоппер	60	226,3	339,4	282,8	396	339,4	452,5	396	509	452,5	565,7

2.6. РАСХОД ТЕПЛОТЫ НА НАГРЕВАНИЕ ИНФИЛЬТРУЮЩЕГОСЯ ВОЗДУХА.

Расход тепла на нагревание инфильтрующегося воздуха для жилых зданий следует принимать, исходя из воздухообмена, требуемого нормами, а в

помещениях промышленных, общественных и вспомогательных зданий – определять по расчету.

При расчете теплопотерь учитывают инфильтрацию только через окна, двери и ворота, так как количество воздуха, инфильтрующегося через массивные ограждения и стыковые соединения панелей, сравнительно мало.

Теплота, расходуемая на подогрев инфильтрующегося воздуха, кВт, в промышленных зданиях

$$Q_{\text{инф}} = c_{\text{рв}} (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) (\sum l) g_{\text{инф}} a,$$

где $c_{\text{рв}}$ – удельная теплоемкость воздуха, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; $t_{\text{в}}$ и $t_{\text{н}}$ – расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха, °С; l – длина щелей притворов, м; $g_{\text{инф}}$ – расход воздуха, поступающего через 1 м длины щели в зимний период, в зависимости от скорости ветра, $\frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}}$, (табл. 13.); a – поправочный коэффициент, принимаемый равным 0,5 для двойных переплетов окон и фонарей и 2 для ворот и дверей.

Таблица 13.

Количество воздуха $10^3 \cdot g_{\text{инф}}$, $\frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}}$, инфильтрующегося через 1 м длины щели притворов.

Ширина щели и материал переплетов	Скорость ветра, м/с				
	до 1	2	3	4	5
1 мм, металл	0,69	1,08	1,33	1,53	2,14
1,5 мм, дерево	1,55	2,53	3,11	3,5	4,86

Инфильтрация воздуха учитывается для окон и дверей, расположенных только с наветренной стороны; для фонарей, не защищенных от задувания – только с одной стороны фонаря.

Расход теплоты на нагрев воздуха, поступающего в помещение через открытые ворота и другие проемы, $Q_{\text{пр}}$, если проемы открыты не более 15 мин в смену, определяется по формуле для закрытых проемов с введением коэффициента $a=3$. При большей продолжительности открывания ворот $Q_{\text{пр}}$, кВт, определяется по формуле

$$Q_{\text{пр}} = w c_{\text{рв}} \rho F (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})$$

где $c_{\text{рв}}$ – удельная теплоемкость воздуха, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; w – скорость

движения воздуха, врывающегося в ворота или проемы, м/с ($w = 2 \div 4$ м/с); F – площадь ворот или проемов, м^2 ; ρ – плотность воздуха при расчетной наружной температуре, $\text{кг}/\text{м}^3$; $t_{\text{в}}$ и $t_{\text{н}}$ – расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Часовой объем поступающего воздуха следует принимать не более 75% объема помещения, в котором расположены ворота.

2.7. ТЕПЛОВЫЕ ПРИТОКИ.

Кроме тепловых потерь в здании необходимо учитывать поступление теплоты в помещение, т.к. многие технологические процессы связаны с выделением теплоты.

Тепловыделения могут быть: от промышленных печей, от горячих поверхностей трубопроводов и аппаратов, от остывающих изделий, от продуктов сгорания, от электроосвещения, от поверхности нагретой воды, тепловыделение вследствие перехода механической энергии в тепловую, выделение теплоты людьми, находящимися в помещении.

Тепловыделения от промышленных печей, работающих на твердом, жидком и газообразном топливе, $Q_{\text{п}}$, кВт, при ориентировочных расчетах можно принимать:

$$Q_{\text{п}} = B Q_{\text{н}}^{\text{п}} a$$

от электрических печей

$$Q_{\text{п}} = N_{\text{уст}} a$$

где B – расход топлива, $\text{кг}/\text{с}$; $Q_{\text{н}}^{\text{п}}$ – теплота сгорания топлива, $\text{кДж}/\text{кг}$; $N_{\text{уст}}$

– установочная мощность печи; кВт; a – тепловыделения в цех, % от $Q_{\text{н}}^{\text{п}}$ и $N_{\text{уст}}$,

для электропечей $a = 70\%$, для остальных $a = 40 \div 60\%$.

Количество теплоты $Q_{п}$, передаваемое от печи в окружающее пространство, более точно может быть подсчитано из теплового баланса с учетом материала и толщины тепловой изоляции.

Тепловыделения от горячих поверхностей трубопроводов и аппаратов, Вт, рассчитывают по формуле

$$Q_{г.п} = \alpha F(t_{пов} - t_{в}),$$

где α – коэффициент теплоотдачи (конвекцией и излучением), $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$; F – площадь поверхности, отдающей теплоту, м^2 ; $t_{пов}$ и $t_{в}$ – температуры поверхности и окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Для ориентировочной оценки коэффициента теплоотдачи α от изолированной поверхности можно пользоваться формулой

$$\alpha = 9,3 + 0,047(t_{пов} - t_{в}) + 7\sqrt{w}$$

где w – скорость движения окружающего воздуха, м/с.

Тепловыделения от продуктов сгорания, кВт,

$$Q_{г} = G_{г} c_{пр} (t_{г} - t_{yx})$$

где $G_{г}$ – массовый расход газов, поступающих в помещение, кг/с; $c_{пр}$ – удельная теплоемкость продуктов сгорания, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; $t_{г}$ – температура газов, поступающих в помещение, $^{\circ}\text{C}$; t_{yx} – температура газов, уходящих из помещения, $^{\circ}\text{C}$ (принимается равной температуре воздуха в помещении).

Поступление газов в помещение цеха возможно при разливке литья в земляные опоки, а также газосварочных и стеклодувных работах.

Тепловыделения могут быть от остывающих изделий (материалов), кВт,

$$Q_{ост} = \frac{G_{м} [c_{ж} (t_{нач} - t_{пл}) + q + c_{т} (t_{пл} - t_{к})]}{z}$$

где $G_{м}$ – масса остывающего материала, кг; $c_{ж}$ – удельная теплоемкость материала в жидком состоянии, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; $c_{т}$ – средняя удельная теплоемкость материала в твердом состоянии, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ (при температуре от $t_{к}$ до $t_{пл}$); q –

скрытая теплота плавления, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$; $t_{\text{нач}}$ – начальная температура материала, °С;
 $t_{\text{пл}}$ – температура плавления, °С; $t_{\text{к}}$ – конечная температура материала, °С; z –
 время остывания материала, с.

Тепловыделения, кВт, вследствие перехода механической энергии в тепловую (электродвигатели, станки и др.)

$$Q_{\text{м}} = N_{\text{уст}} a$$

где $N_{\text{уст}}$ – номинальная установочная мощность электродвигателей; кВт;
 $a = 0,15 \div 0,7$ – коэффициент, учитывающий использование установочной мощности, загрузку, одновременность работы машин и ассимиляцию выделяющейся теплоты воздухом. Для механических и механосборочных цехов приближенно можно считать $a = 0,25$.

Тепловыделение, кВт, от электроосвещения

$$Q_{\text{э}} = N_{\text{ос}} a$$

где $N_{\text{ос}}$ – мощность установленных осветительных приборов; кВт; a – коэффициент, учитывающий вид арматуры (см. табл).

Таблица 14.

Значение коэффициента a .

Вид осветительного прибора	Значение коэффициента a
Люминесцентные открытые лампы	0,9
Люминесцентные лампы, закрытые матовым стеклом	0,6
Открытые лампы накаливания	1,0
Лампы накаливания, закрытые матовыми колпаками	0,7

Тепловыделения, Вт/м², от поверхности нагретой воды

$$q_{\text{н.в}} = (5,7 + 4,1w)(t_{\text{воды}} - t_{\text{возд}}),$$

где w – скорость движения воздуха над поверхностью воды, м/с; $t_{\text{воды}}$ и $t_{\text{возд}}$ – температуры воды и воздуха, °С.

Выделение теплоты людьми, находящимися в помещении, определяются с помощью табл., где приведено количество теплоты, выделяемое одним человеком.

Таблица 15.

Теплота, Вт, выделяемая взрослым человеком (мужчиной)

Показатели	Температура воздуха в помещении, °С					
	10	15	20	25	30	35
В состоянии покоя						
явная	140	116	87,2	88	40,7	11,6
скрытая	23	29	28,8	35	52,3	81,4
полная	163	145	116	93	93	93
При легкой работе						
явная	151	122	98,8	63,5	40,8	5,8
скрытая	20	35	52,2	81,5	104,5	139,5
полная	180	157	151	145	145	145,3
При работе средней тяжести						
явная	143	134,4	105	70	40,8	5,8
скрытая	52,5	75,6	99	128	157,2	192,2
полная	195,5	210	204	198	198	198
При тяжелой работе						
явная	198	163	128	93	52,5	11,6
скрытая	93	128	163	198	238,5	279,4
полная	291	291	291	291	291	291

Для определения расчетной тепловой нагрузки системы отопления составляют тепловой баланс производственных помещений для холодного периода путем подсчета всех теплопотерь и тепловыделений.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ.

3.1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ.

Системы отопления подразделяют на местные и центральные.

Местными называются системы отопления, в которых генератор тепла, теплопроводы и отопительные приборы конструктивно объединены в одном устройстве. К этим системам относят печное, газовое (при сжигании газа непосредственно в отопительных приборах) и электрическое отопление. Радиус действия местных систем отопления ограничен одной комнатой (при печном отоплении – двумя-тремя комнатами).

Центральными называют системы отопления, в которых генератор (например, котел) вынесен за пределы отапливаемых помещений и теплоноситель от генератора к местам потребления подается через систему трубопроводов.

Центральные системы, применяемые в нашей отопительной практике, подразделяют:

по теплоносителю – на системы водяного, парового, воздушного отопления и комбинированные (пароводяные, водоводяные, паровоздушные, водовоздушные и др.); в последних циркулируют различные виды теплоносителя или один теплоноситель, но с разными параметрами;

по способу перемещения теплоносителя – на системы с естественной циркуляцией за счет разности плотностей охладившегося и нагретого теплоносителя (воды или воздуха) и системы с механическим побуждением циркуляции насосами в водяных системах и вентиляторами в воздушных;

по начальной температуре воды – на системы с температурой воды $95\div 105^{\circ}\text{C}$ (105°C однотрубные системы отопления) и системы с температурой воды более 105°C .

3.2. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ.

Системы отопления и теплоноситель выбирают в соответствии с требованиями санитарных и противопожарных норм в зависимости от назначения помещений и технологического процесса.

Таблица 16.

Категории производств по взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности.

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А взрывопожароопасная	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа. Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа
Б взрывопожароопасная	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
В1-В4 пожароопасные	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б
Г	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии

Системы отопления, допустимые к применению в зданиях, сооружениях и помещениях различного назначения.

Помещения	Система отопления (отопительные приборы, теплоноситель, предельная температура теплоносителя или теплоотдающей поверхности)
Залы зрительные и рестораны	<p>Водяное с радиаторами и конвекторами при температуре теплоносителя 115°C.</p> <p>Воздушное.</p> <p>Электрическое с температурой на теплоотдающей поверхности 115°C</p>
<p>Производственные:</p> <p>категорий А, Б и В без выделений пыли и аэрозолей или с выделением негорючей пыли</p> <p>категорий А, Б и В с выделением горючей пыли и аэрозолей</p> <p>категорий Г и Д без выделений пыли и аэрозолей</p>	<p>Водяное и паровое при температуре теплоносителя: воды 150°C, пара 130°C.</p> <p>Электрическое и газовое для помещений категории В (кроме складов категории В) при температуре на теплоотдающей поверхности 130°C.</p> <p>Электрическое для помещений категорий А и Б (кроме складов категорий А и Б) во взрывозащищенном исполнении в соответствии с ПУЭ при температуре на теплоотдающей поверхности 130°C</p> <p>Воздушное.</p> <p>Водяное и паровое при температуре теплоносителя: воды 110°C в помещениях категорий А и Б и 130°C — в помещениях категории В.</p> <p>Электрическое и газовое для помещений категории В (кроме складов категории В) при температуре на теплоотдающей поверхности 110°C.</p> <p>Электрическое для помещений категорий А и Б (кроме складов категорий А и Б) во взрывозащищенном исполнении в соответствии с ПУЭ при температуре на теплоотдающей поверхности 110°C</p> <p>Водяное и паровое с ребристыми трубами, радиаторами и конвекторами при температуре теплоносителя: воды 150°C, пара 130°C.</p> <p>Водяное с нагревательными элементами и стояками, встроенными в наружные стены, перекрытия и полы.</p> <p>Газовое и электрическое, в том числе с высокотемпературными темными излучателями.</p>

Помещения	Система отопления (отопительные приборы, теплоноситель, предельная температура теплоносителя или теплоотдающей поверхности)
категорий Г и Д с повышенными требованиями к чистоте воздуха	<p>Воздушное.</p> <p>Водяное с радиаторами (без оребрения), панелями и гладкими трубами при температуре теплоносителя 150°C.</p> <p>Водяное с нагревательными элементами, встроенными в наружные стены, перекрытия и полы</p>
категорий Г и Д с выделением негорючих пыли и аэрозолей	<p>Воздушное.</p> <p>Водяное и паровое с радиаторами при температуре теплоносителя: воды 150°C, пара 130°C.</p> <p>Водяное с нагревательными элементами, встроенными в наружные стены, перекрытия и полы</p> <p>Электрическое и газовое с температурой на теплоотдающей поверхности 150°C</p>
категорий Г и Д с выделением горючих пыли и аэрозолей	<p>Воздушное.</p> <p>Водяное и паровое с радиаторами и гладкими трубами при температуре теплоносителя: воды 130°C, пара 110°C.</p> <p>Водяное с нагревательными элементами, встроенными в наружные стены, перекрытия и полы</p>
категорий Г и Д со значительным влаговыделением	<p>Воздушное.</p> <p>Водяное и паровое с радиаторами, конвекторами и ребристыми трубами при температуре теплоносителя: воды 150°C, пара 130°C.</p> <p>Газовое с температурой на теплоотдающей поверхности 150°C</p>
с выделением возгоняемых ядовитых веществ	По специальным нормативным документам
Лестничные клетки, пешеходные переходы и вестибюли	Водяное и паровое с радиаторами, конвекторами и калориферами при температуре теплоносителя: воды 150°C, пара 130°C.
Тепловые пункты	Водяное и паровое с радиаторами и гладкими трубами при температуре теплоносителя: воды 150°C, пара 130°C
Помещения и рабочие места в неотапл. и отапливаемых помещениях с темп. воздуха ниже нормируемой (кроме помещ. категорий А, Б и В)	Газовое и электрическое, в том числе с высокотемпературными излучателями

4. ВЫБОР И РАЗМЕЩЕНИЕ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ.

При выборе вида и типа отопительного прибора принимаются во внимание назначение и архитектурно-технологическое решение помещения, место и длительность пребывания в нем людей, вид системы отопления, технико-экономические и санитарно-гигиенические показатели прибора.

Основные положения по выбору вида прибора:

при повышенных санитарно-гигиенических требованиях выбираются приборы с гладкой поверхностью, лучше всего отопительные панели, совмещенные со строительными конструкциями; применение гладкотрубных приборов должно быть обосновано;

при нормальных санитарно-гигиенических требованиях используются приборы и с гладкой, и с ребристой поверхностью, причем рекомендуется выбирать не более одного-двух видов приборов для всего сооружения и размещать их под световыми проемами возможно ближе к полу помещения;

при пониженных санитарно-гигиенических требованиях в помещениях, предназначенных для кратковременного пребывания людей, могут использоваться приборы любого вида; предпочтение отдается приборам с высокими технико-экономическими показателями.

Отопительные приборы размещаются так, чтобы были обеспечены их осмотр, ремонт и очистка.

Отопительные приборы располагаются преимущественно под световыми проемами (под витринами – по всей их длине). При размещении приборов под окнами вертикальные оси прибора и оконного проема должны совпадать.

Ограждать отопительные приборы необходимо в помещениях для хранения взрыво- и пожароопасных газов, жидкостей и материалов. Ограждение или укрытие не должно уменьшать более чем на 15% теплопередачу открыто установленного прибора.

Присоединение труб к отопительному прибору выполняется одно или двухсторонним. Теплотехнически целесообразнее двухстороннее присоединение, но в вертикальных системах конструктивно более рационально выполнять одностороннее присоединение.

В качестве нагревательных приборов в отопительной технике применяются радиаторы – гладкие чугунные или штампованные из листовой стали; гнутые или сварные регистры из гладких труб; чугунные ребристые трубы, а также конвекторы с нагревательными элементами из оребренных стальных труб. Находят применение греющие бетонные панели с вмонтированными в них змеевиками из стальных труб.

В данном курсовом проекте систему отопления цеха и административно-бытовых помещений рекомендуется принять двухтрубную (с прямым и обратным трубопроводами) с нижней разводкой и параллельным подключением отопительных приборов.

Рекомендуется для отопления цехов принимать к установке стальные регистры, выполненные из труб с наружным диаметром 108 мм, толщиной стенки 4 мм, для отопления административно-бытовых помещений стальные радиаторы типа «Гермал». При необходимости установки других нагревательных приборов их расчет произвести по материалам дополнительной литературы.

4.1. РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ЦЕХА.

В цех необходимо подвести тепловую мощность $Q_{ц}$, кВт, для покрытия тепловых потерь (с учетом тепловых выделений).

Для расчета количества отопительных приборов необходимо учесть теплоту, поступающую в помещение от подводящих и отводящих трубопроводов.

Изображается план цеха с разводкой системы отопления и предполагаемым количеством (N_p) и размещением отопительных приборов.

Исходя из необходимой тепловой мощности, рассчитываются расходы теплоносителя. По расходам принимаются диаметры подводящих и отводящих трубопроводов. Поскольку подключение отопительных приборов принято параллельным, количество теплоносителя после каждого из них будет меняться. Чтобы поддержать скорость воды в рекомендуемом диапазоне, изменяется диаметр трубопровода. На плане измеряются длины трубопроводов.

Расход воды G , кг/с, рассчитывается по формуле:

$$G = \frac{Q}{c(\tau_1 - \tau_2)}$$

где Q – тепловая мощность, кВт; c – теплоемкость воды; τ_1 и τ_2 – температуры соответственно прямой и обратной воды в отопительном приборе.

Диаметр трубопровода рассчитывается по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4G}{\rho v \pi}}$$

где ρ – плотность воды, кг/м³; v – скорость воды, м/с.

Скорость воды рекомендуется принимать в диапазоне 1÷1,5 м/с.

Количество теплоты, отдаваемое прямыми трубопроводами, рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{пр}} = kF(\tau_1 - t_{\text{в}})$$

где k – коэффициент теплопередачи между трубопроводами, отопительными приборами и окружающим воздухом, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$; F – площадь поверхности трубы, м²; τ_1 – температура прямой воды, °С; $t_{\text{в}}$ – температура воздуха в помещении, °С.

Количество теплоты Q , Вт, отдаваемое обратными трубопроводами, рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{обр}} = kF(\tau_2 - t_{\text{в}})$$

где τ_2 – температура обратной воды, °С.

Площадь поверхности труб рассчитывается по формуле

$$F = \pi D l$$

где D – наружный диаметр трубопровода, м; l – длина участка трубопровода, м.

Расчет коэффициента теплоотдачи k , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$, производится как для плоской стенки

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{тр}}}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

где α_1 - коэффициент теплоотдачи от труб и приборов в помещении, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$; $\delta_{\text{тр}}$ – толщина стенки трубы, м; λ_c - коэффициент теплопроводности стали, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$; α_2 - коэффициент теплоотдачи в трубе, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$.

Коэффициент теплоотдачи от труб и приборов в помещении принимается по СНиП 2.04.14-88 (1998) $\alpha_1 = 9 \div 11 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$.

Коэффициент теплоотдачи в трубе и отопительных регистрах принимаем $\alpha_2 = 1000 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$.

Суммарная тепловая мощность, поступающая в помещение цеха через подводящие и отводящие трубопроводы

$$Q_{\text{тр}} = Q_{\text{пр}} + Q_{\text{обр}}$$

Общая площадь поверхности отопительных приборов рассчитывается по формуле

$$F = \frac{(Q_{\text{ц}} - Q_{\text{тр}}) \cdot 10^3}{k(t_{\text{пр}} - t_{\text{в}})}$$

где $Q_{\text{ц}}$ – теплота, которую необходимо подвести в помещение цеха, кВт; $t_{\text{пр}}$ – средняя температура воды в отопительном приборе, °С.

$$t_{\text{пр}} = \frac{t_{\text{пр}} + t_{\text{обр}}}{2}$$

Площадь поверхности одного регистра

$$f_p = \frac{F}{N_p}$$

где N_p – количество отопительных приборов, принятых к установке, шт.

Длина регистров в одном отопительном приборе L , м

$$L = \frac{f_p}{\pi d}$$

где d – наружный диаметр регистра, м.

Принимается количество регистров в каждом отопительном приборе и рассчитывается длина одного регистра, l , м

$$l_p = \frac{L}{n_p}$$

4.2. РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ АДМИНИСТРАТИВНО-БЫТОВЫХ ПОМЕЩЕНИЙ.

В качестве отопительных приборов выбираются стальные радиаторы «Termal 500».

Аналогично цеху рассчитывается количество теплоты, поступающее в помещение через неизолированные прямой и обратный трубопроводы.

В административно-бытовые помещения необходимо подвести тепловую мощность Q_6 , кВт, для покрытия тепловых потерь (с учетом тепловых выделений).

Рассчитывается мощность радиаторов в бытовом помещении

$$Q_{рб} = Q_6 - Q_{тр}$$

Мощность одной секции радиатора (по каталогу) $q_p = 0,18$ кВт, если вода в нем охлаждается с 95 до 70°C и температура воздуха 20°C.

При иных параметрах теплоносителя или температуры воздуха, которую необходимо поддерживать в помещении, необходимо пересчитать действительную мощность одной секции $q_{рд}$, кВт, по формуле

$$q_{рд} = q_p \frac{t_{cp} - t_b}{82,5 - 20}$$

где t_{cp} – средняя температура воды в радиаторе, °C.

Конструктивно выбирается количество радиаторов ($N_{рб}$) в административно-бытовых помещениях.

Рассчитывается мощность одного радиатора

$$Q_p = \frac{Q_{рб}}{N_{рб}}$$

Рассчитывается необходимое количество секций (n_c) в каждом радиаторе

$$n_c = \frac{Q_p}{q_{рд}}$$

5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ.

При проектировании в гидравлический расчет входят следующие задачи:

1. определение диаметров трубопроводов;
2. определение падения давления (напора);
3. определение давлений (напоров) в различных точках сети;
4. увязка всех точек системы при статическом и динамическом режимах с

целью обеспечения допустимых давлений и требуемых напоров в сети и абонентских системах.

Результаты гидравлического расчета дают следующий исходный материал:

1. для определения капиталовложений, расхода металла (труб) и основного объема работ по сооружению тепловой сети;
2. установления характеристик циркуляционных и подпиточных насосов, количества насосов и их размещения;

Для проведения гидравлического расчета должна быть известна схема разводки отопления, указано размещение отопительных приборов, рассчитаны диаметры трубопроводов, длины участков, расходы и скорости теплоносителя.

Диаметры трубопроводов, расходы и скорости теплоносителя необходимо рассчитать для каждого участка.

В двухтрубной системе рассчитывают основное наиболее неблагоприятное циркуляционное кольцо системы, которым считается кольцо через наиболее нагруженный и удаленный от теплового ввода отопительный прибор.

Падение давления в трубопроводе может быть представлено как сумма двух слагаемых: линейного падения и падения в местных сопротивлениях

$$\delta p = \delta p_{\text{л}} + \delta p_{\text{м}},$$

где $\delta p_{\text{л}}$ – линейное падение давления; $\delta p_{\text{м}}$ – падение давления в местных сопротивлениях.

Линейное падение $\delta p_{\text{л}}$ представляет собой падение давления на прямолинейных участках трубопровода. Падение давления в местных сопротивлениях $\delta p_{\text{м}}$ – это падение давления в арматуре (вентильях, задвижках, кранах и т.д.) и других элементах оборудования, размещенных неравномерно по длине трубопровода (коленах, шайбах, переходах и т.п.).

Для гидравлического расчета системы отопления необходимо представить схему разводки трубопроводов. Поскольку присоединение отопительных приборов принято параллельным, для расчета выбираем наиболее удаленный регистр (радиатор). Рассчитывается падение давления на отопительном приборе, затем падение давления в подводящем и отводящем трубопроводах. Для расчета последнего нужно разбить трубопроводы на участки. Каждый из них характеризуется расходом и скоростью теплоносителя.

При гидравлическом расчете системы с водоемкими отопительными приборами (радиаторами) отопительные приборы считаются местным сопротивлением на пути движения воды. При гидравлическом расчете системы с приборами, имеющими греющие трубы, учитывается линейная и местная потеря давления в этих трубах.

5.1. ЛИНЕЙНОЕ ПАДЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ.

В трубопроводах, транспортирующих жидкость или газы,

$$\delta p_{\text{л}} = R_{\text{л}} l$$

где $\delta p_{\text{л}}$ – линейное падение давления на участке, Па; $R_{\text{л}}$ – удельное падение давления, т. е. падение давления, отнесенное к единице длины трубопровода, Па/м; l – длина трубопровода, м.

Исходной зависимостью для определения удельного линейного падения в трубопроводе является уравнение Дарси

$$R_{\text{н}} = \lambda \frac{w^2}{2} \cdot \frac{\rho}{d} = 0,812\lambda \frac{G^2}{d^5 \rho}$$

где λ – коэффициент гидравлического трения (безразмерная величина); w – скорость среды, м/с; ρ – плотность среды, кг/м³; d – внутренний диаметр трубопровода, м; G – массовый расход, кг/с.

Коэффициент гидравлического трения λ зависит от состояния стенки трубы (гладкая или шероховатая) и режима движения жидкости (ламинарное или турбулентное).

Поскольку гладкие трубы в технике транспортировки теплоты имеют ограниченное применение (в основном в теплообменных аппаратах), ниже приведены формулы для расчета коэффициента трения гладких труб без их подробного анализа:

	Значение числа Re	Расчетная формула
Формула Пуайзеля (действительна как для гладких, так и для шероховатых труб)	$Re \leq 2300$ (ламинарное течение)	$\lambda = \frac{64}{Re}$
Формула Блазиуса	$2300 \leq Re \leq 10^4$	$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$
Формула Альтшуля	$Re \geq 10^4$	$\lambda = \frac{1}{(1,82 \lg Re - 1,64)^2}$
Формула Никурадзе	$Re \geq 10^5$	$\lambda = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}}$

Основное применение для транспортировки теплоты имеют шероховатые стальные трубы.

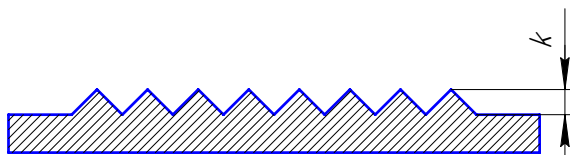


Рис. 3. Вид шероховатости.

Шероховатую поверхность можно представить состоящей из ряда элементарных выступов k (рис.3). В качестве первого характеристического параметра шероховатости принимают высоту выступа шероховатости,

называемую абсолютной шероховатостью стенки. У большинства работающих стальных трубопроводов она составляет в зависимости от технологии изготовления труб и условий эксплуатации от 0,05 до 2 мм. В качестве второго характеристического параметра принимают отношение абсолютной шероховатости к радиусу трубопровода $\frac{k}{r}$, называемое относительной шероховатостью.

Как показывают исследования стальных труб, при малых числах Re коэффициент гидравлического трения λ имеет максимальное значение. С увеличением числа Re коэффициент гидравлического трения монотонно уменьшается и при некотором значении $Re_{пр}$ практически достигает минимального значения. При дальнейшем увеличении числа Re коэффициент гидравлического трения остается постоянным.

С достаточной для практических расчетов точностью принимают, что в так называемой переходной области, т.е. при $2300 < Re < Re_{пр}$, коэффициент гидравлического трения зависит как от эквивалентной относительной шероховатости $\frac{k_э}{r}$, так и от числа Re , а при $Re > Re_{пр}$ коэффициент гидравлического трения зависит только от $\frac{k_э}{r}$ и не зависит от числа Re .

Под эквивалентной относительной шероховатостью реального трубопровода понимается искусственная относительная равномерная шероховатость цилиндрической стенки, коэффициент гидравлического трения которой в области $Re > Re_{пр}$ такой же, как и в данном реальном трубопроводе.

Полученная опытным путем зависимость коэффициента гидравлического трения стальных труб от числа Re и относительной шероховатости хорошо описывается универсальным уравнением, предложенным А.Д.Альтшулем,

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_э}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$$

На основе имеющихся материалов гидравлических испытаний тепловых сетей и водопроводов рекомендуются следующие значения абсолютной эквивалентной шероховатости, м, для гидравлического расчета тепловых сетей:

Паропроводы	$0,2 \cdot 10^{-3}$
Водяные сети в условиях нормальной эксплуатации	$0,5 \cdot 10^{-3}$
Конденсаторопроводы и сети горячего водоснабжения	$1 \cdot 10^{-3}$

В трубопроводах подвода и отвода воды на отопление обычно $Re > Re_{пр}$, поэтому эти трубы работают, как правило, в квадратичной области.

Формулу для расчета линейного падения давления в квадратичной области можно привести к виду, более удобному для практических расчетов.

Удельное падение давления, Па/м,

$$R_{л} = \frac{A_R G^2}{\rho d^{5,25}}$$

При транспортировке жидкости, и в частности воды, т.е. при $\rho = \text{const}$, приведенную формулу можно записать в следующем виде:

$$R_{л} = \frac{A_R^B G^2}{d^{5,25}}$$

Значения коэффициентов A_R и A_R^B приведены в таблице.

Таблица 18.

Значения коэффициентов А.

Коэфф.	Выражение	Абсолютная эквивалентная шероховатость k_s , м		
		0,0002	0,0005	0,001
A_R	$0,0894k_s^{0,25}$	$10,6 \cdot 10^{-3}$	$13,3 \cdot 10^{-3}$	$15,92 \cdot 10^{-3}$
A_R^B	$0,0894k_s^{0,25} / \rho$	$10,92 \cdot 10^{-6}$	$13,62 \cdot 10^{-6}$	$16,3 \cdot 10^{-6}$

5.2. МЕСТНОЕ ПАДЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ.

При наличии на участке трубопровода ряда местных сопротивлений суммарное падение давления во всех местных сопротивлениях, Па, определяется по формуле:

$$\delta p_m = \sum \xi \frac{w^2}{2} \cdot \rho = 0,812 \sum \xi \frac{G^2}{d^4 \rho}$$

где $\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений, установленных на участке; ξ – безразмерная величина, зависящая от характера сопротивления.

Сопротивления муфтовых, фланцевых и сварных соединений трубопроводов при правильном выполнении незначительны, поэтому их надо рассматривать в совокупности с линейными сопротивлениями. Рекомендованные значения абсолютной шероховатости учитывают эти сопротивления.

Таблица 19.

Коэффициенты местных сопротивлений ξ для расчета систем водяного и парового отопления

Элементы системы	ξ
Внезапное расширение	1,0
Внезапное сужение	0,5
Отступы	0,5
Тройники на проходе	1,0
Тройники в ответвлении	1,5
Тройники противоточные	3
Кресты на проход	2,0
Кресты в ответвлении	3,0
Компенсаторы П- и лирообразные	2,0
Компенсаторы сальниковые	0,5

Таблица 20.

Коэффициенты местных сопротивлений ξ элементов отопительных систем

Элемент	Значение ξ при условном диаметре трубы, мм					
	15	20	25	32	40	50
Вентиль обыкновенный	16,0	10,0	9,0	9,0	8,0	7,0
Кран проходной	4,0	2,0	2,0	2,0	-	-
Кран двойной регулировки с цилиндрической пробкой	4,0	2,0	2,0	2,0	-	-
Вентиль «Косва»	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0
Клапан «Лудло»	1,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Угольник	2,0	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0
Отвод 90°	1,5	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5
Скоба	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Отвод двойной узкий	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Отвод двойной широкий	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Коэффициент местного сопротивления задвижек и клапанов можно определить по формуле

$$\xi = \left[\frac{11 - n}{(0,67 - 0,57n)n} - 1 \right]^2$$

где n – степень сжатия сечения, т.е. отношение сжатого сечения потока к площади поперечного сечения трубопровода:

При открытой задвижке	$n=1$	$\xi=0$
При 50%-ном открытии	$n=0,5$	$\xi=4,4$
При 10%-ном открытии	$n=0,1$	$\xi=235$
При закрытой задвижке	$n=0$	$\xi=\infty$

6. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ВОЗДУШНОЙ ЗАВЕСЫ.

Воздушные завесы с подогревом воздуха устраивают у ворот, дверей и технологических проемов отапливаемых зданий, расположенных в районах с расчетной температурой наружного воздуха для холодного периода года минус 15°С и ниже, когда исключена возможность устройства шлюзов и тамбуров.

Воздушные завесы должны обеспечить расчетную температуру воздуха на рабочих местах.

На традиционные воздушно-тепловые завесы с калориферами, работающими на высокотемпературной воде расходуется в ряде случаев до 25% тепла от общего его расхода на отопление и вентиляцию этих зданий или помещений.

Как “отсечка”, препятствующая врыванию через входы наружного холодного воздуха, воздушно-тепловая завеса не всегда обеспечивает требуемый эффект, т.к. это в значительной степени зависит от напора наружного воздушного потока, часто изменяющегося.

Проектирование традиционных воздушно-тепловых завес у наружных входов во встроенно-пристроенные помещения и отдельно стоящие здания общественного и коммунального назначения должно осуществляться только при соответствующем технико-экономическом обосновании целесообразности их устройства.

При этом в первую очередь следует учитывать наличие в этих помещениях фиксированных рабочих мест рядом со входами или напротив них (т.е. в местах наиболее подверженных отрицательному влиянию проникающего наружного воздуха), а также временной показатель, в течение которого входы открыты для прохода людей (персонала, посетителей).

Во многих случаях вместо проектирования традиционной воздушно-тепловой завесы может быть принято (в каждом конкретном случае) одно из нижеприведенных решений, предусматривающее установку:

- дополнительных водяных или электрических отопительных приборов, рассчитанных на компенсацию теплопотерь при отсутствии воздушно-тепловой завесы;

- воздушно-тепловых завес с электрокалориферами;

- электрических тепловентиляторов.

При этом достигается экономия значительного количества тепла:

- во-первых, тепловая нагрузка во всех случаях рассчитывается не на “отсечку” врывания холодного воздуха, а на компенсацию дополнительных потерь тепла и эта величина значительно меньше;

- во-вторых, при установке электрических воздухонагревательных приборов экономия тепла в процессе эксплуатации достигается за счет периодического или автоматического их включения при значительном понижении температуры наружного воздуха, при изменении направления и увеличения скорости ветра. Одновременно улучшается комфортность помещений, т.к. эти устройства могут быть также использованы в осенне-весенний период, когда на улице прохладно, а система отопления еще не включены.

Воздушные струи электрических завес (при отключенном электрокалорифере) могут защищать в летнее время помещения от поступления через входы теплого наружного воздуха. При этом в помещении увеличивается подвижность воздуха, что создает эффект охлаждения.

Технически применение таких завес затруднений не вызывает, т.к. имеется большое количество различных типов импортных электрических воздушно-тепловых завес с разнообразными конструктивными и схемными решениями, габаритами и оформлением воздуховыпускных устройств. Для электрических воздушно-тепловых завес предусматриваются различные схемы автоматического регулирования в зависимости от изменения состояния воздушной среды.

В производственных помещениях принято устанавливать воздушные завесы с подогревом воздуха.

На рис. 4 приведен общий вид боковой двухсторонней завесы.

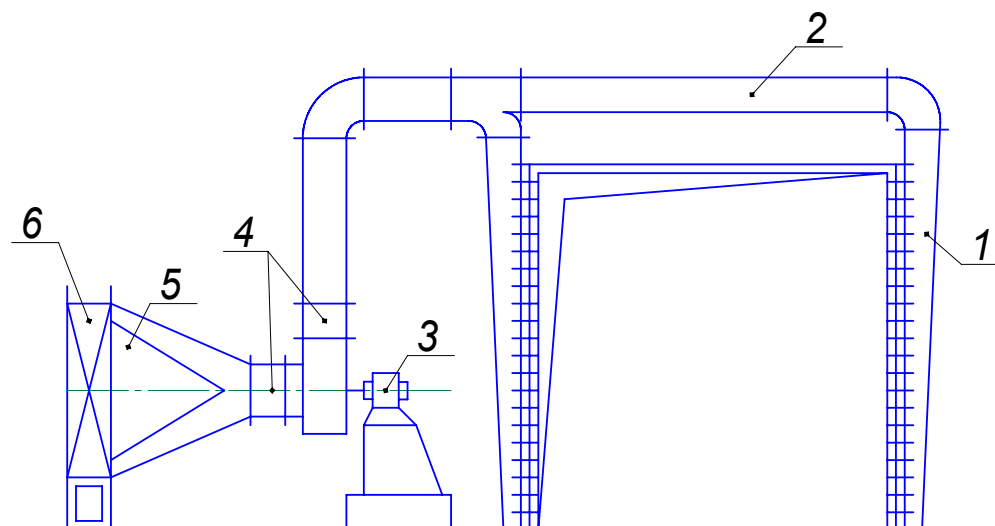


Рис. 4. Воздушно-тепловая завеса.

1,2 – воздуховоды; 3 – вентилятор с электроприводом;
4 – гибкие вставки; 5 – конфузор; 6 – калорифер.

Расчет воздушных завес заключается в определении температуры воздуха, подаваемого в завесу, и его расхода.

В практических расчетах температура воздуха t_3 , подаваемого воздушной завесой, определяется по формуле

$$t_3 = t_n + 1,8(t_{cm} - t_n),$$

где t_n – расчетная температура наружного воздуха для отопления, °С; t_{cm} – температура воздуха в рабочей зоне, °С.

Количество воздуха G_3 , подаваемого одним стояком воздушной завесы, определяется по табл 21.

Таблица 21.

Количество воздуха, подаваемого одним стояком воздушной завесы, кг/ч
(здание без фонарей, шахт и верхнего света; $t_{cm}=16^{\circ}\text{C}$; $t_{p,3}=16^{\circ}\text{C}$)

Температура наружного воздуха для расчета отопления, °С	Размер распашных ворот, м				
	2×2,4	3×3	3×4	4×3,6	4×4,2
-15	6800	13500	19000	25000	31000
-20	7100	14500	21000	27000	33000
-25	7500	15500	22000	28000	36000
-30	8800	17000	24000	33000	42000
-35	9400	18000	26000	35000	44000
-40	10000	19500	27000	38000	47000

Общий расход теплоты на воздушную завесу Q_3 , кВт, определяется по формуле

$$Q_3 = c_{pв} G_3 (t_3 - t_{нач}),$$

где G_3 – количество воздуха, подаваемого завесой, кг/с; t_3 – температура воздуха, подаваемого завесой, °С; $t_{нач}$ – температура воздуха, поступающего к калориферам воздушной завесы, °С; $c_{pв}$ – теплоемкость воздуха, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Система теплоснабжения цеха малого предприятия

Составители: Дружинина Юлия Владимировна
Тупоногов Владимир Геннадьевич

Редактор Н.П. Кубыщенко

Подписано в печать 31.05.2007г.

Бумага писчая Офсетная печать

Уч.- изд.л. 1,23 Тираж ____

Заказ ____

Формат 60x84 1/16

Усл.печ.л. 1,39

Цена “С”

Редакционно-издательский отдел ГОУ ВПО УГТУ-УПИ

620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Ризография НИЧ. ГОУ ВПО УГТУ-УПИ 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19