

**В.А. Моисеев, Ю.В. Додонова**

**ВОЗДУШНО-ТЕПЛОВЫЕ ЗАВЕСЫ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ**

**Учебное пособие**

Нижний Новгород

2013

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

В.А. Моисеев, Ю.В. Додонова

## **ВОЗДУШНО-ТЕПЛОВЫЕ ЗАВЕСЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ**

Утверждено редакционно-издательским советом  
университета в качестве учебного пособия

Нижний Новгород

ННГАСУ

2013

УДК 628.83 (075)

ББК 38.762.2

М 74

Рецензенты:

*В.И. Бодров* – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой отопления и вентиляции ННГАСУ.

*А.Б. Елькин* – канд. техн. наук, доцент кафедры производственной безопасности и экологии НГТУ им. Р.Е. Алексева

Моисеев В.А. Воздушно-тепловые завесы промышленных зданий [Текст]: учебное пособие для вузов / В.А. Моисеев, Ю.В. Додонова; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т – Н.Новгород: ННГАСУ, 2013. – с.

ISBN

Рассматриваются вопросы расчета и проектирования воздушно-тепловых завес, как одного из мероприятий по созданию нормируемого микроклимата в условиях производственных помещений. Рассмотрены особенности конструктивных решений и изложена последовательность их расчета. Приводится пример расчета в конкретных условиях промышленности. Пособие составлено на основе соответствующих глав СНиПов, СанПиНов и работ ЦНИИ промзданий.

Учебное пособие предназначено для студентов специальностей направлений 280200 «Защита окружающей среды» и 270100 «Строительство», а также для инженерно-технических работников организаций при решении вопросов обеспечения нормируемого микроклимата на рабочих местах.

Рис. 5, табл. 11, библиогр.: 5 названий

ISBN

© Коллектив авторов, 2013

© ННГАСУ, 2013

## Содержание

1. Область применения.....	4
2. Конструктивные особенности.....	6
3. Характеристика тепловых завес.....	9
4. Расчеты воздушно-тепловых завес шибберного типа.....	11
4.1 Теоретические положения.....	11
4.2 Обоснование и расчет расхода воздуха.....	12
4.3 Пример расчета.....	19
5. Список рекомендуемой литературы.....	22

## 1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Воздушно-тепловые завесы применяют в холодный период года для защиты производственных помещений от поступления наружного воздуха через дверные проемы в конструкциях здания.

Основная цель воздушно-тепловых завес – обеспечить во время открывания ворот, дверей, технологических проемов соблюдение нормируемых метеорологических параметров в помещении.

Воздушные или воздушно-тепловые завесы (воздушные завесы с подогревом воздуха) могут быть шиберного или смешивающего типа.

Завесы шиберного типа в результате частичного перекрытия проема воздушной струей (шиберующего действия воздушной среды) сокращают прорыв наружного воздуха через открытый проем. В помещение поступает смесь подогретого и холодного наружного воздуха. При этом температура смеси должна быть равна нормативной.

Завесы смешивающего типа не создают дополнительного сопротивления на пути врывающегося наружного воздуха, а осуществляют эффективное смешение его с нагретым воздухом завесы в пределах тамбура. Применяются у наружных дверей вестибюлей общественных и административно-бытовых зданий в зависимости от расчетной температуры наружного воздуха и числа проходящих людей через двери.

Воздушные и воздушно-тепловые завесы согласно СНиП 41-01-2003 [1] следует предусматривать:

- у постоянно открытых проемов в наружных стенах помещений, а также у ворот и проемов в наружных стенах, не имеющих тамбуров, которые открываются более пяти раз или не менее чем на 40 минут в смену в районах с расчетной температурой наружного воздуха минус  $15^{\circ}\text{C}$  и ниже по параметру Б (табл.7), который характеризует наружные метеорологические условия в зависимости от местонахождения рассматриваемого предприятия;

- у наружных дверей вестибюлей общественных и административно-бытовых зданий в зависимости от расчетной температуры наружного воздуха

(параметры Б, табл.7) и числа людей, проходящих через двери в течение 1 часа:

от минус 15 до минус 25 – 400 человек и более;

от минус 26 до минус 40 – 250 человек и более;

ниже минус 40 – 100 человек и более;

- у наружных дверей зданий, если к вестибюлю примыкают помещения без тамбура, оборудованные системами кондиционирования;

- у проемов во внутренних стенах и перегородках производственных помещений для предотвращения перетекания воздуха из одного помещения в другое;

- у ворот, дверей и проемов помещений с кондиционированием или по зданию на проектирование, или по специальным технологическим требованиям.

Воздушные и воздушно-тепловые завесы у наружных проемов, ворот и дверей следует рассчитывать с учетом ветрового давления. Расход воздуха следует определять, принимая температуру наружного воздуха и скорость ветра при параметрах Б, но не более 5 м/с. Расчетные показатели наружного воздуха при параметрах А и Б характеризуют наружный климат, зависящий от географического расположения населенного пункта. Если скорость ветра при параметрах Б меньше, чем при параметрах А, то воздухонагреватели следует проверять на параметры А (табл.7).

Скорость, м/с, выпуска воздуха из щелей или отверстий воздушно-тепловых завес следует принимать не более:

8 – у наружных дверей;

25 – у ворот и технологических проемов.

## 2. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Воздушно-тепловая завеса конструктивно представляет собой установку, предназначенную для подачи вентилятором нагретого в калорифере воздуха (рис.1) в воздухоподаточные короба. Каждый короб имеет воздухоподделительную щель. Воздух, выходящий из этой щели, перекрывает сечение дверного проема, защищая от поступления внешнего холодного воздуха.

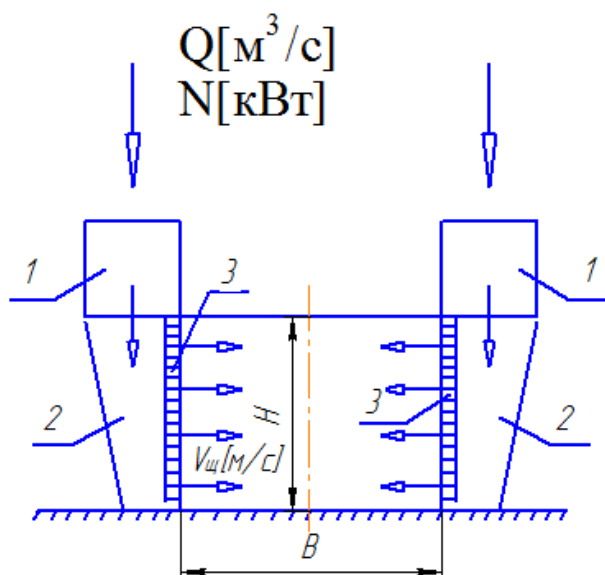


Рис.1: 1 – вентиляционный тепловой блок; 2 – воздухоподаточный короб;  
3 – воздухоподделительная щель

Соответственно, стандартная воздушно-тепловая завеса состоит из следующих блоков:

- вентиляционно-тепловой блок 1, который имеет вентилятор, калорифер (водяной, паровой, электрический);
- воздухоподаточный короб 2 с воздухоподделительной щелью 3, который может быть изготовлен в шумозащитном исполнении из обычной или оцинкованной листовой стали.

На рис. 2 показан вентиляционно-тепловой блок, состоящий из вентилятора с выходной сеткой и водяного калорифера, который соединен с воздухоподделительным коробом и гибкой вставкой.

Значения параметров завесы  $H$  и  $C$  (рис. 2) зависят от варианта воздушно-тепловой завесы. Размер щелевого проема в воздушно-раздаточном коробе определяется высотой дверного проема.

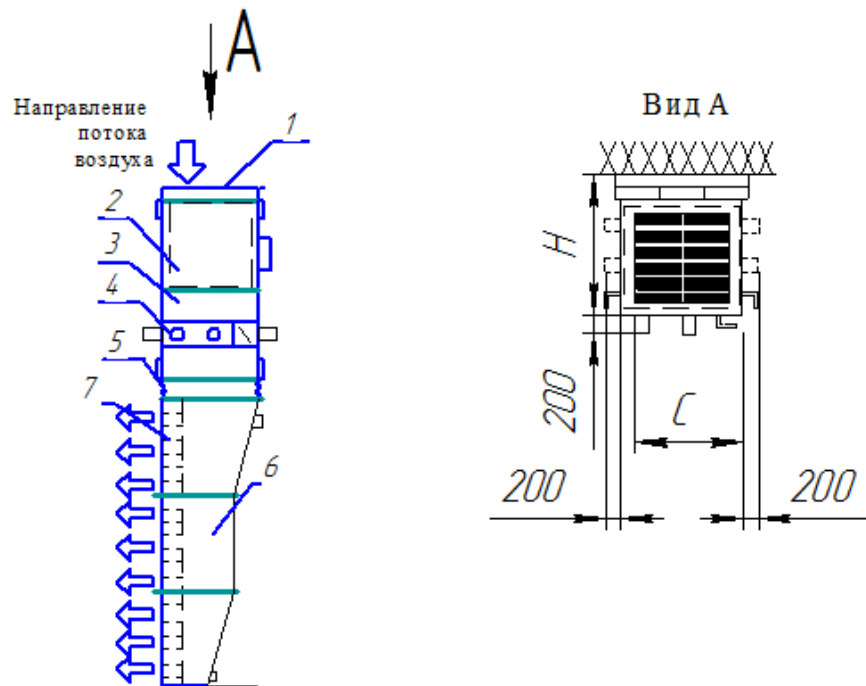


Рис.2: 1 – входная сетка; 2 – вентилятор; 3 – калориферный блок; 4 – водяной калорифер; 5 – гибкая вставка; 6 – воздухораспределительный (раздаточный) короб; 7 – воздуховыпускная щель

При компоновке воздушно-тепловых завес подача воздуха может осуществляться одновременно в несколько воздухораспределительных коробов или последовательно в каждый короб.

Воздушно-тепловые завесы с электро- и водяным (паровым) подогревом могут комплектоваться необходимой автоматикой для включения/выключения при открывании/закрывании ворот. Завеса может иметь термостат для отключения завесы при достижении заданной температуры в зоне ворот после их закрытия.

Вариант исполнения воздушно-тепловой завесы определяется наличием свободного места в зоне ворот и типом ворот. Практически, вентиляторно-тепловой блок с водяным или электрическим теплообменником может быть



установлен в любом положении и соединен с воздухораспределительным коробом соответствующим переходником.

Стандартные воздушно-тепловые завесы выпускаются с различным расположением воздухораспределительных коробов.

Завесы шибберного типа, как правило, проектируют с двусторонним выпуском (двусторонние завесы) и komponуют из двух самостоятельных агрегатов, состоящих из радиальных или осевых вентиляторов, калориферов.

Завесы с горизонтальным расположением короба над воротами необходимо устанавливать в исключительных случаях. При подаче воздуха сверху существенно больше вероятность врывания холодного воздуха в помещение и выноса подогретого в завесе воздуха из помещения, чем при боковой одно- или двухсторонней подаче.

Завесы с нижней подачей воздуха рекомендуется применять при ширине проема, значительно большей, чем высота. Они более надежно предохраняют нижнюю зону помещений от прорыва холодного воздуха.

Для уменьшения потерь тепла с частью струи завесы, уходящего наружу воздуха рекомендуется (особенно при односторонних завесах) устраивать тамбур. Длина тамбура должна быть не меньше ширины ворот, а ширина – на 1 м больше ширины больше ширины ворот. Забор воздуха на завесу, как правило, производится под потолком.

Для помещений со взрывоопасными производствами должны применяться вентиляторы в искрозащищенном исполнении, а температура теплоносителя для калориферов, через которые проходит рециркуляционный воздух, не должна превышать 80% значения температуры самовоспламенения газов, паров или пыли. При отсутствии соответствующего искрозащищенного оборудования на завесу в помещениях с категориями А, Б допускается забирать наружный воздух или воздух из соседних помещений категорий В, Г и Д, если в нем нет горючей пыли.

### 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛОВЫХ ЗАВЕС

В настоящее время имеется широкий выбор воздушно-тепловых завес. Среди отечественных завес для промышленных сооружений можно назвать серию завес ЗВТ, которые были разработаны в 70-х годах и с тех пор выпускаются. Их техническая характеристика для проемов ворот от 3,0х3,0 м до 4,8х5,4 м при температурах наружного воздуха от минус 30 до 46<sup>0</sup> С приведена в табл.1.

Таблица 1

Шифр завесы	Производительность		Ширина щели, мм	Размеры проема ворот, м		Относительная площадь $F=F_{пр}/F_{щ}$
	По воздуху $G$ , кг/ч	По теплу $Q$ , Вт		ширина	высота	
ЗТ.В2-25.01.УЗ	30000	180000	100	3	3	15
ЗТ.В2-28.01.УЗ	33600	200000	100	3,6	3,6	18
А5	11300	73700	70	2	2,4	17
				2,4		17
А5-01	18500	173300	70	3	3	21
				3,6		26
ЗВТ1.00.000 ЗВТ.2.00.000	28800	232600	90	3	3	17
				3,6		20
ЗВТ1.00.000-01 ЗВТ2.00.000-01	40800	511700	100	3,6	3	18
ЗВТ1.00.000-02 ЗВТ2.00.000-02	28800	232600	75	3,6	3,6	24
				4,2		28
ЗВТ1.00.000-03 ЗВТ2.00.000-03	40800	511700	90	3,6	3,6	20
				4,2		23
ЗВТ3-1 ЗВТ6-1	39000	368200	150	3,6	4,2	12
ЗВТ3-2 ЗВТ6-2	41400	423100	150	3,6	4,2	12
ЗВТ3-3 ЗВТ6-3	43700	481600	150	3,6	3,2	12
ЗВТ3-4 ЗВТ6-4	44100	383400	150	4,2	4,2	14
ЗВТ3-5 ЗВТ6-5	52400	522200	150	4,2	4,2	14
ЗВТ4-1 ЗВТ7-1	55200	619100	150	4,2	4,8	14
ЗВТ4-2 ЗВТ7-2	56400	498800	150	4,2	4,8	14
ЗВТ5-1 ЗВТ8-1	63000	628100	150	4,2	4,8	14
ЗВТ5-2 ЗВТ8-2	67800	746300	150	4,2	4,8	14
ЗВТ5-3 ЗВТ8-3	76900	686500	150	4,8	5,4	16
ЗВТ5-4 ЗВТ8-4	85800	959400	150	4,8	5,4	16

В этих завесах используются радиальные вентиляторы со спиральным корпусом типа Ц14-76, Ц4-76.

На российском рынке представлены и импортные завесы фирм Termoscreen, Pyrox, Remark (табл.2). Техническая характеристика завес этих фирм не всегда соответствует нашим климатическим условиям по скорости истечения струи и по температуре.

Таблица 2

Тип	Производ. $Q(\text{м}^3/\text{с})$	Щель $\delta$ , мм	Длина $L$ , м	Эфф. длина струи, м	Тепл. мощн, кВт	Скорость струи $V_{\text{ш}}$ , м/с	Парам- метр $K$
B-4W-1500 Remak	4000	70	1,5	3,5	37	12,5	0,3
Ps1200 W 6 The2moskreen	7350	64	2	6	48	16макс	0,303
A S 312 FRICO	2700	50	1,67	3,5	12	9	0,128
Viento B3 YBA	4600	86	2	3	32,7	7,5	0,18
YPU 2500 YELU	6300	77	2,5	2,8	33	9	0,247

Из отечественных завес во вновь строящихся промышленных зданиях в некоторых случаях применяются завесы типа ТЭК-Инновент. Их ориентировочные технические характеристики приведены в табл. 3.

Таблица 3

Тип завесы	Производит.по воздуху, $\text{м}^3/\text{час}$	Тепловая мощность, кВт	Теплоноситель	Длина воздуховода завесы, м	Макс.скорость струи, м/с	Высота дверного проема
ТЭК-2,5	2500	10-15	Эл/вод	1,5-2	11,5-9	1,0-1,5
ТЭК-3,15	4400	10-25	Эл/вод	2-2,5	12-10	1,5-2,5
ТЭК-4	6700	25-50	Эл/вод/пар	2-3	15-10	2,0-3,0
ТЭК-5	9500	40-60	Эл/вод/пар	2,5-3,6	15-10,5	2,5-4,2
ТЭК-6,3	22000	60-140	Эл/вод/пар	4,2-5,4	16-12,5	3,6-4,5

Воздушно-тепловые завесы такого типа разработаны на базе канальных радиальных вентиляторов с корпусом квадратного сечения. В них характеристика радиальных вентиляторов с прямооточным течением воздуха соответствует осевым вентиляторам.

## 4. РАСЧЕТЫ ВОЗДУШНО-ТЕПЛОВЫХ ЗАВЕС ШИБЕРНОГО ТИПА

### 4.1 Теоретические положения

Расчет воздушно-тепловых завес состоит из трех разделов:

- определение общего расхода воздуха с обоснованием конструктивных особенностей параметров воздухораспределительного короба;
- расчет производительности калориферов, включая обоснование типа, марки калориферов и их количества.

- аэродинамический расчет воздушной сети завесы, который выполняется по методике, применяемой при аэродинамическом расчете систем вентиляции. Это позволяет учесть особенности применяемых воздуховодов, их расположение выбрать тип и марку вентилятора. Для выполнения аэродинамического расчета сети завесы составляется ее расчетная схема. Возможный вид расчетной схемы приведен на рис.4, на которой участки воздуховодов обозначены соответствующей нумерацией. На этих участках определяются потери давления при перемещении воздуха. Методика расчета изложена в разделе «Аэродинамический расчет вентиляционной сети» [4].

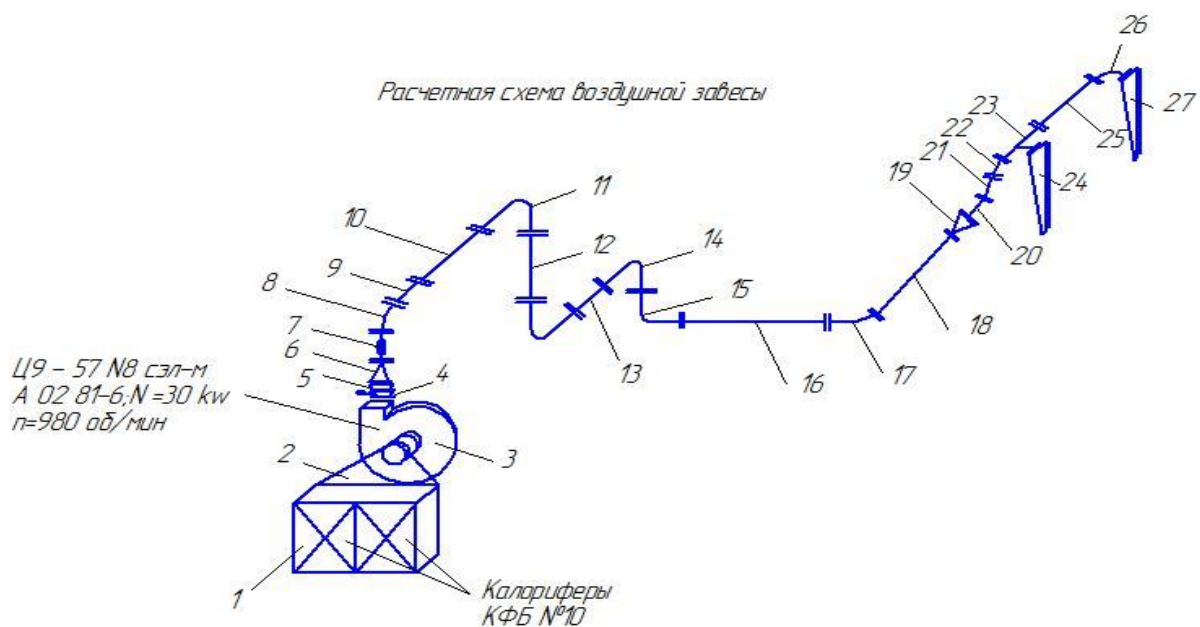


Рис.4. Расчетная схема воздушной завесы

## 4.2 Обоснование и расчет расхода воздуха

### 1. Завесы шиберного типа

А. Общий расход воздуха зависит от двух основных показателей: относительного расхода воздуха  $q$  и относительной плотности завесы  $F$ .

Показатель  $q$  представляет собой отношение расхода воздуха завесы  $J_з$ , кг/ч к расходу воздуха, прошедшего через проем  $J_{пр}$ , кг/ч, т.е.

$$\bar{q} = \frac{J_з}{J_{пр}}. \quad (1)$$

Относительная площадь завесы  $F$ , м<sup>2</sup> определяется как отношение площади проема  $F_{п} = \epsilon \cdot H$  (где  $\epsilon$ -ширина проема, м;  $H$ - высота проема, м) к суммарной площади щелей воздухораспределителей  $F_{щ}$ :

$$\bar{F} = \frac{F_{пр}}{F_{щ}} = \frac{\epsilon \cdot H}{F_{щ}}. \quad (2)$$

В первом приближении рекомендуется принимать  $\bar{q} = 0,6 - 0,7$ ;  $\bar{F} = 20 - 30$  [4].

Общий расход воздуха, подаваемого завесой шиберного типа, кг/ч определяют по формуле [4]:

$$Y_з = 5100 \bar{q} \mu_{пр} \bar{F}_{пр} (\Delta P \cdot \rho_{см})^{1/2}, \quad (3)$$

где  $\mu_{пр}$  – коэффициент расхода проема при работе завесы, определяется в зависимости от значений  $\bar{F}$  и  $\bar{q}$  (табл. 4);  $F_{пр}$  – площадь открываемого проема, оборудованного завесой, м<sup>2</sup>;  $\rho_{см}$  – плотность воздуха при температуре смеси воздуха  $t_{см}$ ; величина  $\rho_{см}$  определяется по табл.5 или по формуле:

$$\rho = \frac{353}{273 + t}. \quad (4)$$

В формуле (4) при определении величины  $\rho_{см}$  значение температуры  $t$  должно соответствовать температуре смеси воздуха ( $t_{см}$ ), поступающего в помещение через наружные двери, ворота. Её следует согласно [1] принимать не менее:

12 – для производственных помещений при легкой работе и работе средней тяжести (I, II категории) и для вестибюлей общественных и административно-бытовых зданий;

5 – для производственных помещений при тяжелой работе (III категории) и отсутствии постоянных рабочих мест на расстоянии 6 м и менее от дверей, ворот и проемов.

Таблица 4

Тип завесы	Относительная площадь, $\bar{F}$	Значения $\mu_{пр}$ при относительном расходе воздуха, подаваемого завесой, $\bar{q}$					
		0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Боковая	10	0,42	0,38	0,35	0,33	0,31	0,29
		0,36	0,32	0,31	0,28	0,26	0,25
	20	0,35	0,32	0,3	0,29	0,29	0,29
		0,3	0,27	0,26	0,25	0,25	0,25
	30	0,31	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
		0,27	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	40	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
		0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Нижняя	10	0,5	0,45	0,4	0,37	0,34	0,31
		0,42	0,38	0,36	0,32	0,3	0,27
	20	0,4	0,35	0,3	0,28	0,25	0,23
		0,34	0,3	0,28	0,25	0,23	0,21
	30	0,35	0,3	0,27	0,24	0,22	0,2
		0,31	0,26	0,24	0,21	0,2	0,18
	40	0,31	0,27	0,24	0,21	0,2	0,18
		0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,15

*Примечание. Первыми приведены значения  $\mu_{пр}$  для раздвижного проема, а вторыми – для распашного.*

$\Delta P$  – разность давлений воздуха с двух сторон наружного ограждения на уровне проема, кг/м<sup>2</sup>, где величину  $\Delta P$  определяют расчетом в результате решения уравнения воздушных балансов помещений с учетом ветрового давления для холодного периода года.

Для ориентировочных расчетов, если нет полных исходных данных, значение  $\Delta P$  можно определять по формуле:

$$\Delta P = \Delta P_T + k_1 \cdot \Delta P_B, \quad (5)$$

где  $k_1$  – поправочный коэффициент на ветровое давление, учитывающий степень герметичности зданий (табл.6).

Таблица 5

Температура воздуха, °С	Плотность воздуха, кг/м <sup>3</sup>	Температура воздуха, °С	Плотность воздуха, кг/м <sup>3</sup>	Температура воздуха, °С	Плотность воздуха, кг/м <sup>3</sup>
-40	1,515	-11	1,347	18	1,213
-39	1,509	-10	1,342	19	1,209
-38	1,502	-9	1,337	20	1,205
-37	1,496	-8	1,332	21	1,201
-36	1,489	-7	1,327	22	1,197
-35	1,483	-6	1,322	23	1,193
-34	1,477	-5	1,317	24	1,189
-33	1,471	-4	1,312	25	1,185
-32	1,465	-3	1,307	26	1,181
-31	1,459	-2	1,303	27	1,177
-30	1,453	-1	1,298	28	1,173
-29	1,447	0	1,293	29	1,169
-28	1,441	1	1,288	30	1,165
-27	1,435	2	1,284	31	1,161
-26	1,429	3	1,279	32	1,157
-25	1,423	4	1,274	33	1,154
-24	1,418	5	1,270	34	1,150
-23	1,412	6	1,265	35	1,146
-22	1,406	7	1,261	36	1,142
-21	1,401	8	1,256	37	1,139
-20	1,395	9	1,252	38	1,135
-19	1,390	10	1,247	39	1,131
-18	1,384	11	1,243	40	1,128
-17	1,379	12	1,239	41	1,124
-16	1,374	13	1,234	42	1,121
-15	1,368	14	1,230	43	1,117
-14	1,363	15	1,226	44	1,114

Таблица 6

Здание	$k_1$
Без аэрационных проемов	0,2
С аэрационными проемами, закрытыми в холодный период года	0,5
То же, с открытыми в холодный период года	0,8

$\Delta P_T$  – тепловой напор, обусловленный разницей плотности воздуха снаружи и внутри помещения;

$\Delta P_B$  – величина ветрового давления.

Значения  $\Delta P_T$  и  $\Delta P_B$  рассчитываются по формулам:

$$\Delta P_B = c_e \cdot v_n^2 \cdot \rho_n / 2; \quad (6)$$

$$\Delta P_T = 9,8 \cdot h_{\text{расч.}} \cdot (\rho_n - \rho_v), \quad (7)$$

где  $c_e$  – расчетный аэродинамический коэффициент, значение которого следует определять по табл.9 [2];  $v_n$  – расчетная скорость ветра, значение которой принимается для холодного периода года по параметру Б для соответствующего населенного пункта (табл.7);  $\rho_n$  – плотность наружного воздуха,  $\text{кг/м}^3$ , находится при температуре наружного воздуха  $t_n$ . Значение  $t_n$  определяется для холодного периода года по параметру Б (табл.7);  $\rho_v$  – плотность воздуха в помещении при температуре воздушной среды промышленного помещения  $t_v$ . Величина  $t_v$  должна соответствовать нормируемому значению температуры при выполнении работ определенной категории тяжести в соответствии с [3] для холодного периода года (табл.10). Значения  $\rho_n$  и  $\rho_v$  вычисляются по формуле (4) или определяются по табл.6, которая соответствует сухому воздуху при давлении 101,3 кПа (760 мм.рт.ст.);  $h_{\text{расч.}}$  – расчетная высота, т.е. расстояние по вертикали от центра проема, оборудованного завесой, до уровня нулевых давлений, где давления снаружи и внутри здания равны (высота нейтральной зоны), м.

Расчетную высоту  $h_{\text{расч.}}$  ориентировочно можно принимать:

а) для зданий без аэрационных проемов и фонарей:



$$h_{\text{расч.}} = 0,5 \cdot h_{\text{пр}}, \quad (8)$$

где  $h_{\text{пр}}$  – высота открываемого проема, оборудованного завесой, м;

б) для одноэтажных зданий с аэрационными и зенитными фонарями, которые в холодный период года закрыты, усредненные значения  $h_{\text{расч.}}$  приведены в табл. 8.

Таблица 7

Расчетные параметры наружного воздуха по СНиП 2.04.05-91\* [5]  
(извлечение)

Наименование пункта	Расчетная географическая широта, °с.ш.	Барометрическое давление, ГПа	Период года	Параметры А			Параметры Б			Средняя суточная амплитуда температуры воздуха, °С
				Температура воздуха, °С	Удельная энтальпия, кДж/кг	Скорость ветра, м/с	Температура воздуха, °С	Удельная энтальпия, кДж/кг	Скорость ветра, м/с	
122. Москва	56	990	Теплый Холодный	22,3 -15	49,4 -11,7	1 4,7	28,5 -26	54 -25,3	1 4	10,4 -
123. Мурманск	68	1010	Теплый Холодный	16,6 -18	41,4 -16,3	3,8 8,7	22 -27	42,7 -26,6	3,8 8,4	8,9 -
124. Наманган	40	950	Теплый Холодный	34,2 -7	62,4 -3,8	1 2,2	37 -14	65,7 -12	1 1	14,9 -
125. Нарьян-Мар	68	1010	Теплый Холодный	17,7 -25	44,8 -24,3	5,2 7	23 -37	46,5 -36,8	5,2 7	9 -
126. Нарым	60	990	Теплый Холодный	22,8 -28	38,5 -27,6	3,3 4,7	27,5 -42	41,4 -42,3	3,3 4,6	- -
127. Нерчинск	52	950	Теплый Холодный	23,5 -31	51,5 -30,6	1 2	27,2 -41	55,3 -41	1 2	13,2 -
128. Нижнеудинск	56	950	Теплый Холодный	23 -24	49,4 -23	1 2	27,7 -40	53,2 -38,9	1 2	13,7 -
129. Нижний Новгород	56	990	Теплый Холодный	21,2 -16	51,1 -14,2	1 4,1	26,8 -30	54,9 -29,7	1 4	9,5 -
130. Нижний Тагил	56	970	Теплый Холодный	21,5 -21	46,5 -19,7	1 3,7	26,3 -36	50,2 -31,9	1 3	12,6 -
131. Николаев	48	1010	Теплый Холодный	27,9 -7	58,2 -2,9	3,2 11	31 -20	62 -18,6	3,2 10	12,5 -
132. Николаевск-на-Амуре	52	1010	Теплый Холодный	19,6 -25	46,1 -24,3	3,4 8	23,9 -35	52,3 -35,2	3,4 6	9,5 -
133. Новгород	60	1010	Теплый Холодный	20,8 -12	48,6 -9,2	4 5	24,5 -27	52,8 -26,8	4 5	11,2 -
134. Новокузнецк	52	990	Теплый Холодный	24,1 -23	51,5 -22,2	1 2,5	27,5 -39	54,4 -38,1	1 2	11,6 -
135. Новороссийск	44	1010	Теплый Холодный	26,7 -2	60,3 3,8	1 15,4	30,1 -13	65,7 -10,5	1 17,5	8,6 -
136. Новосибирск	56	990	Теплый Холодный	22,7 -24	50,2 -23	1 3,7	28,4 -39	54,8 -38,9	1 2,7	11,4 -

Таблица 8

Высота здания, м	Значения $h_{\text{расч.}}$ при размерах проема ворот, м				
	3x3	3,6x3	3,6x3,6	4,2x4,2	4,8x5,4
7,2	5,6	5,4	4,8	4,1	2,7

	2,9	2,5	2	2,1	2,7
8,4	6,4	6,1	5,6	4,8	2
	3,4	2,9	2,4	2,1	2,7
10,8	7,8	7,6	7	6,1	4
	4,4	3,8	3,2	2,8	2,7
15,6	10,9	10,5	9,8	8,7	6,2
	6,2	5,5	4,8	3,8	2,7

Примечание: над чертой приведены значения  $h_{расч.}$  для зданий со светоаэрационными фонарями, под чертой – для зданий с зенитными фонарями

Таблица 9 [2] (извлечение)

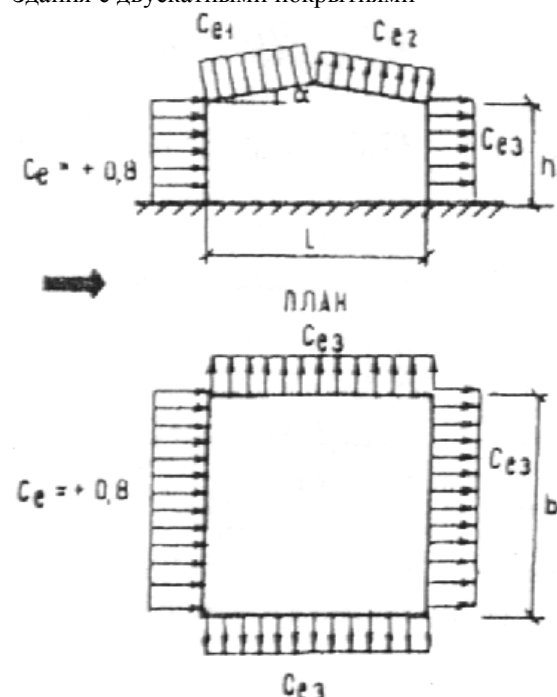
Номер схемы	Схемы зданий, сооружений, элементов конструкций и ветровых нагрузок	Определение аэродинамических коэффициентов $c$				
1	Отдельно стоящие плоские сплошные конструкции. Вертикальные и отклоняющиеся от вертикальных не более чем на $15^\circ$ поверхности: наветренные подветренные	$c_e = +0,8$ $c_e = -0,6$				
2	Здания с двускатными покрытиями 	Коэффициент		Значения $c_{e1}, c_{e2}$ при $\frac{h_1}{l}$ ,		
		$\alpha$ , град	равном			
			0	0,5	1	$\geq 2$
		$c_{e1}$	0	-0,6	-0,7	-0,8
			20	+0,2	-0,4	-0,7
			40	+0,4	+0,3	-0,2
			60	+0,8	+0,8	+0,8
		$c_{e2}$	$\leq 60$	-0,4	-0,4	-0,5
						-0,8

Таблица 10 [3] (извлечение)

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, $^\circ\text{C}$		Температура поверхностей, $^\circ\text{C}$	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более**
Холодный	Ia (до 139)	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75*	0,1	0,1
	Iб (140-174)	19,0-20,9	23,1-24,0	18,0-25,0	15-75	0,1	0,2
	IIa (175-232)	17,0-18,9	21,1-23,0	16,0-24,0	15-75	0,1	0,3

	Пб (233-290)	15,0-16,9	19,1-22,0	14,0-23,0	15-75	0,2	0,4
	П (более 290)	13,0-15,9	18,1-21,0	12,0-22,0	15-75	0,2	0,4
Теплый	Ia (до 139)	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75*	0,1	0,2
	Iб (140-174)	20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-29,0	15-75*	0,1	0,3
	IIa (175-232)	18,0-19,9	22,1-27,0	17,0-28,0	15-75*	0,1	0,4
	Пб (233-290)	16,0-18,9	21,1-27,0	15,0-28,0	15-75*	0,2	0,5
	П (более 290)	15,0-17,9	20,1-26,0	14,0-27,0	15-75*	0,2	0,5

\*При температурах воздуха 25°C и выше максимальные величины относительной влажности воздуха должны приниматься в соответствии с требованиями п. 6.5.[3].

\*\*При температурах воздуха 26-28 °C скорость движения воздуха в теплый период года должна приниматься в соответствии с требованиями п. 6.6.[3].

Б. Требуемая температура воздуха завесы  $t_3$ , определяется на основании уравнения теплового баланса по формуле:

$$t_3 = t_n + (t_{cm} - t_n)/(q \cdot (1-Q)), \quad (9)$$

где  $Q$  – отношение теплоты, теряемой с воздухом, уходящим через открытый проем наружу, к тепловой мощности завесы (рис. 4).

Тепловая мощность калориферов воздушно-тепловой завесы:

$$Q_3 = A \cdot Y_3 \cdot (t_3 - t_{нач}), \quad (10)$$

где  $A = 0,28$  – коэффициент;  $t_{нач}$  – температура воздуха, забираемого для завесы, °C (на уровне всасывающего отверстия вентилятора  $t_{нач}$  принимается равной температуре смеси воздуха ( $t_{cm}[1]$ ), поступающего в помещение; из верхней зоны – равной температуре воздуха в верхней зоне ( $t_v$  в соответствии с [3]); снаружи – равной температуре наружного воздуха для холодного периода года, соответствующей параметрам Б (табл.7)).

Если в результате расчета  $t_3$  окажется меньше  $t_{нач}$ , то следует использовать завесы без калориферных секций. Схема к определению потерь теплоты с частью струи завесы шибберного типа, уходящей наружу приведена на рис.5.

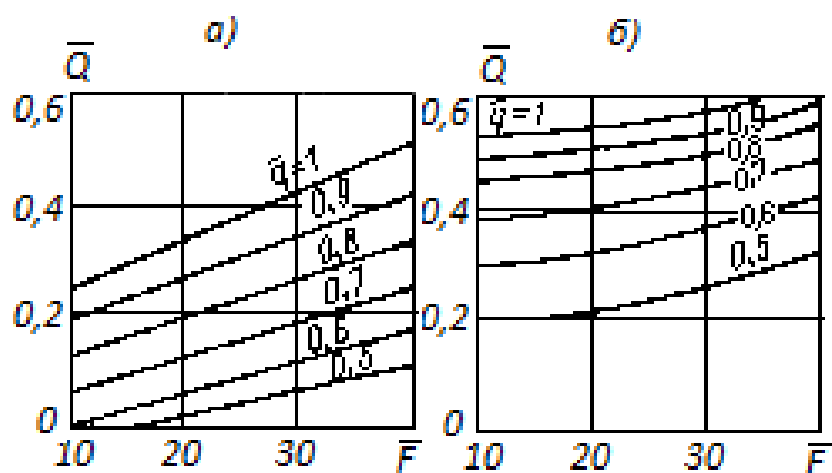


Рис. 5: а – для боковой завесы; б – для нижней завесы

### 4.3 Пример расчета

Рассчитать боковую двустороннюю завесу и подобрать типовое решение, если завеса должна быть устроена у распашных ворот, размером  $F_{пр} = 3,6 \times 3,6 = 12,96 \text{ м}^2$  в одноэтажном производственном здании высотой 8,4 м, имеющим зенитные фонари, закрытые в холодный период года. Работы выполняют средней тяжести Па. Населенный пункт – Нижний Новгород. Ворота установлены с подветренной стороны.

Решение:

1. Определение исходных параметров:

– допустимая температура воздуха в помещении для категории работ по тяжести Па в холодный период года в соответствии с СанПин 2.2.4.548-96  $t_b = 19^\circ\text{C}$  (табл.10);

– расчетная температура смеси воздуха, поступающего в помещение по пункту 7.7.3 СНиП 41-01-2003 [1]  $t_{см} = 12^\circ\text{C}$ ;

– расчетная температура наружного воздуха – параметр Б, холодный период, населенный пункт Н.Новгород  $t_n = -30^\circ\text{C}$  (табл.7);

– расчетная скорость ветра – параметр Б, холодный период, населенный пункт Н.Новгород  $v_n = 4 \text{ м/с}$  (табл.7);

– расчетный аэродинамический коэффициент  $C = -0,6$  (см. [2]);

– плотность воздуха соответственно по табл. 6 или по формуле (4):

наружного при  $t_n = -30^\circ\text{C}$  –  $\rho_n = 1,45 \text{ кг/м}^3$ ;

внутреннего при  $t_b = 19^\circ\text{C}$  –  $\rho_b = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ;

смеси при  $t_{см} = 12^\circ\text{C}$  –  $\rho_{см} = 1,24 \text{ кг/м}^3$ .

2. Количество воздуха, подаваемого завесой, определяется по формуле (3):

$$Y = 5100 \bar{q} \mu_{пр} \bar{F}_{пр} (\Delta P \cdot S_{см})^{1/2}, \text{ кг/ч.}$$

Принимаем, согласно указаниям справочника [4], значение  $\bar{q} = 0,6$ ,  $\bar{F} = 20$ .

В рассматриваемом случае при наличии боковой завесы с распашными

воротами и принятыми значениями  $\bar{q}$  и  $\bar{F}$  по данным табл. 4 принимается величина  $\mu_{пр}=0,27$ .

По табл.11 при высоте здания с зенитными фонарями 8,4 м и размерах ворот 3,6х3,6 м  $h_{расч.} = 2,4$  м.

3.Расчетная разность давлений определяется по формулам (5), (6), (7). Поправочный коэффициент  $K_1 = 0,5$  (табл.5).

$$\Delta P = \Delta P_T + K_1 \cdot \Delta P_B = 9,8 \cdot h_{расч.} (\rho_n - \rho_v) + K_1 = 9,8 \cdot 2,4 (1,45 - 1,2) + 0,5 \frac{0,6 \cdot 4^2 \cdot 1,45}{2} = 9,36 \text{ кг/м}^2.$$

#### 4. Общий расход воздуха завесы

$$Y_3 = 5100 \bar{q} \mu_{пр} \bar{F}_{пр} (\Delta P \cdot S_{см})^{1/2} = 5100 \cdot 0,6 \cdot 0,27 \cdot 12,96 (9,36 \cdot 1,24)^{1/2} = 36479 \text{ кг/ч.}$$

5.Принимаем к установке типовую двустороннюю тепловую завесу (табл.1) типа ЗВТ 1.00.000-02, производительностью по воздуху 40800 кг/ч, предназначенную для ворот размером 3,6х3,6 м. Данная завеса имеет относительную площадь, равную  $\bar{F}=20$ . С учетом этого значения вычисляем  $\bar{q}$  по формуле (3):

$$\bar{q} = \frac{Y_3}{5100 \mu_{пр} F_{пр} \sqrt{\Delta P \cdot S_{см}}} = \frac{40800}{5100 \cdot 0,27 \cdot 12,96 \sqrt{9,36 \cdot 1,24}} = 0,67.$$

Значения  $\bar{q}$  и  $\bar{F}$  совпадают с предварительно принятыми величинами.

6. Определяется требуемая температура воздуха, подаваемого завесой по формуле (9).

7. Требуемая суммарная тепловая мощность калориферов завесы определяется по формуле (10):

$$Q_3 = A \cdot Y_3 \cdot (t_3 - t_{нач}) = 0,28 \cdot 40800 (43,6 + 30) = 840806 \text{ Вт.}$$

В данном примере воздух для завесы поступает снаружи, поэтому  $t_{нач} = t_n = -30^\circ\text{C}$  (табл.9) тепловая мощность завесы позволяет подобрать тип калорифера. На рис.6 показана возможная схема подключения калорифера к воздушной завесе.

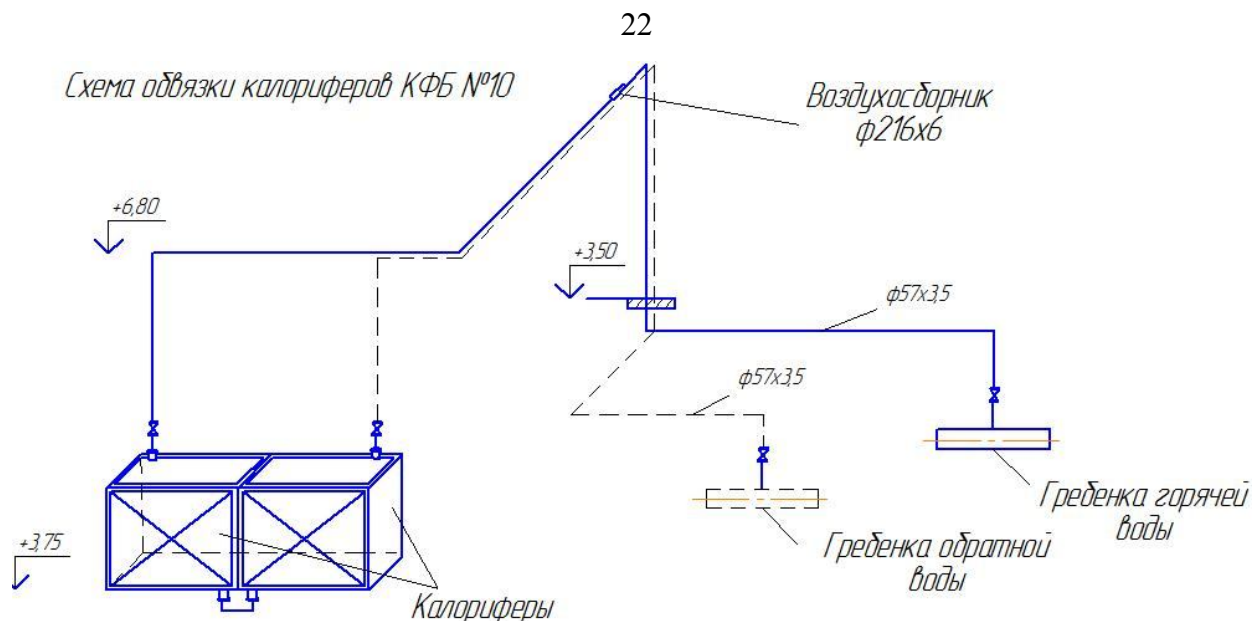


Рис.6

Суммарная тепловая мощность принятой тепловой завесы составляет 511700 Вт (табл.1), что меньше расчетной величины 840806 Вт. Поэтому следует принять несколько калориферов с суммарной мощностью, равной производительности по теплу принятой завесе.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. СНиП-41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. - М.: Госстрой РФ, 2004.
2. СНиП 2.01.07-85\*. Нагрузки и воздействия. – М.: Госстрой РФ, 1992.
3. СанПин 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав РФ, 2000.
4. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно - технические устройства. Часть 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Книга 1. – М.: Стройиздат, 1992.
5. СНиП 2.04.05-91\*. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М.: Госстрой РФ, 1992.



Моисеев Валентин Александрович  
Додонова Юлия Валерьевна

## ВОЗДУШНО-ТЕПЛОВЫЕ ЗАВЕСЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

Учебное пособие

Редактор  
Елизарова С.А.

Подписано в печать \_\_\_\_\_ Формат 60x90 1/8. Бумага офсетная. Печать трафаретная.  
Уч. изд. л. . Усл. печ. л. . Тираж 150 экз. Заказ № \_\_\_\_\_  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
603950, Н.Новгород, Ильинская, 65  
Полиграфцентр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65