

Дисциплина:  
Проектирование систем  
обеспечения техносферной  
безопасности

Лекция 3

Вентиляция и  
кондиционирование воздуха

# Принципы устройства вентиляции в зданиях промышленного назначения

Способы вентиляции, число вентиляционных установок на предприятиях зависят от:

- характера технологического процесса,
- мощности предприятия,
- экономической значимости

*Расчетные температура, скорость и относительная влажность воздуха на постоянных и непостоянных рабочих местах производственных помещений*

Период года	Категория работ	Оптимальные нормы на постоянных и непостоянных рабочих местах			Допустимые нормы				Скорости движения воздуха, м/с, не более	Относительной влажности воздуха, %, не более
		Температура, °С	Скорость движения, м/с, не более	Относительная влажность, %	Температуры, °С					
					На всех рабочих местах	На постоянных рабочих местах	На непостоянных рабочих местах			
Теплый	Легкая: Ia Ib	23-25 22-22	0,1 0,2		На 4 °С выше расчетной температуры наружного воздуха (параметры А) и не более указанных в гр. 7 и 8	28/31 28/31	30/32 30/32	0,2 0,3	75 75	
	Средней тяжести: Pa IIб	21-23 20-22	0,3 0,3	40-60		27/30 27/30	29/31 29/31	0,4 0,5		
	Тяжелая — III	18-20	0,4			26/29	28/30	0,6		
Холодный и переходные условия	Легкая: Ia Ib	22-24 21-23	0,1 0,1			21-25 20-24	18-26 17-25	0,1 0,2	75	
	Средней тяжести: Pa IIб	18-20 17-19	0,2 0,2	40-60		17-23 15-21	15-24 13-23	0,3 0,4		
	Тяжелая - III	16-18	0,3	40-60		13-19	12-20	0,5		

# КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ.

Их можно классифицировать по следующим характерным признакам:

- По характеру выпуска загрязняющих веществ в атмосферу: сосредоточенная и рассредоточенная;
- По способу перемещения воздуха: естественная (гравитационная) или механическая (искусственная, принудительная) система вентиляции;
- По назначению: приточная, вытяжная, аварийная, противодымная, аспирационная системы вентиляции и пневмотранспорт;
- По зоне обслуживания: местная или общеобменная система вентиляции;
- По конструкции: наборная или моноблочная система вентиляции;
- По устройству: канальная или бесканальная;
- По степени свободы: стационарная и переносная;
- По типу зданий и объектов: промышленная вентиляция, вентиляция жилых, общественных, офисных, сельскохозяйственных и др. зданий, рудничная, карьерная и т.д.;
- По механизму воздухообмена: вентиляция смешением, вытеснением или локальная подача (отсос) воздуха.

## Категории производств в зависимости от их пожаро-и взрывоопасности

Характеристика производства	Категория производств	Характеристика обращающихся в производствах веществ
Взрыво-пожаро-опасные	<b>А</b>	Горючие газы, нижний предел взрываемости которых 10% и менее к объему воздуха; жидкости с температурой вспышки паров до 28 °С включительно при условии, что указанные газы и жидкости могут образовать взрывоопасные смеси в объеме, превышающем 5% объема помещения; вещества, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом
Взрыво-пожаро-опасные	<b>Б</b>	Горючие газы, нижний предел взрываемости которых более 10% к объему воздуха; жидкости с температурой вспышки паров выше 28 °С до 61 °С включительно; жидкости, нагретые в условиях производства до температуры вспышки и выше; горючие пыли или волокна, нижний предел взрываемости которых 65 г/куб. м и менее к объему воздуха, при условии, что указанные газы, жидкости и пыли могут образовать взрывоопасные смеси в объеме, превышающем 5% объема помещения
Пожароопасные	<b>В</b>	Жидкости с температурой вспышки паров выше 61 °С; горючие пыли или волокна, нижний предел взрываемости которых более 65 г/куб. м к объему воздуха; вещества, способные только гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом; твердые сгораемые вещества и материалы
	<b>Г</b>	Несгораемые вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; твердые, жидкие и газообразные вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
	<b>Д</b>	Несгораемые вещества и материалы в холодном состоянии
Взрывоопасные	<b>Е</b>	Горючие газы без жидкой фазы и взрывоопасной пыли в таком количестве, что они могут образовывать взрывоопасные смеси в объеме, превышающем 5% объема помещения и в котором по условиям технологического процесса возможен только взрыв (без последующего горения); вещества, способные взрываться (без последующего горения) при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом

**Радиус действия **приточных** установок зависит от скорости движения воздуха в воздуховодах**

При скорости 6-10 м/с рекомендуемый радиус действия установки 30-40 м

При скорости менее 6м/с - 60-70 м

**Радиус действия **вытяжных** установок -30-40 м (в очень крупных цехах он может достигать 100-120м)**

При проектировании местной вентиляции следует к одной вытяжной системе присоединять не более 10-12 отсосов.

**При удалении местными вытяжными установками влажного воздуха или воздуха, содержащего вредные газы, радиус действия принимается, равным 25-30 м.**

# Схемы организации воздухообмена в помещениях промышленных зданий

а) «**снизу - вверх**» - при одновременном выделении тепла и пыли;

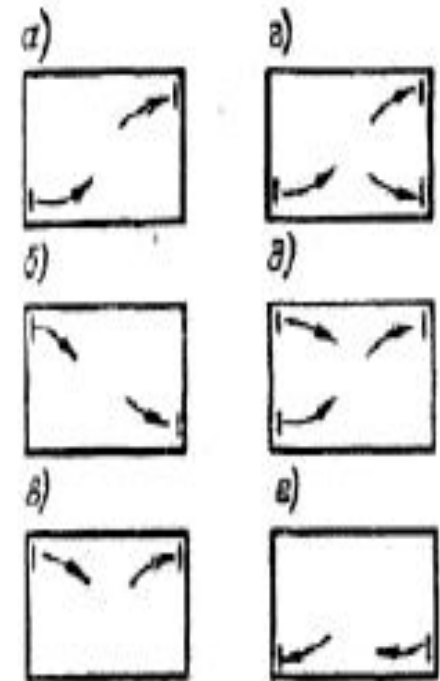
б) «**сверху - вниз**» - при выделении газов, паров летучих жидкостей (спиртов, ацетона, толуола и т. п.) или пыли, а также при одновременном выделении пыли и газов;

в) «**сверху - вверх**» - в производственных помещениях при одновременном выделении тепла, влаги и сварочного аэрозоля, а также во вспомогательных производственных зданиях при борьбе с теплоизбытками;

г) «**снизу - вверх и вниз**» - в производственных помещениях при выделении паров и газов с различными плотностями и недопустимости их скопления в верхней зоне из-за опасности взрыва или отравления людей (малярные цехи, аккумуляторные и т. д.);

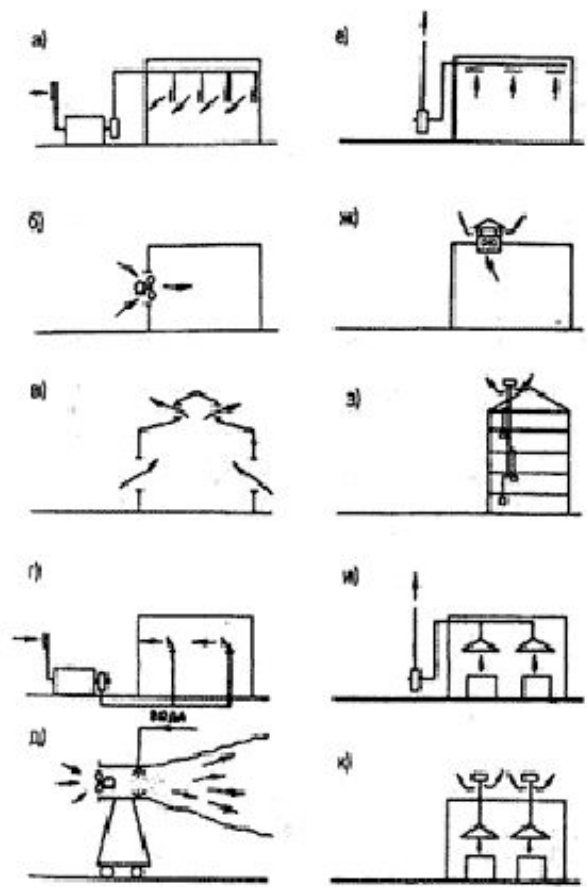
д) «**сверху и снизу - вверх**» - в помещениях с одновременным выделением тепла и влаги или с выделением только влаги при поступлении пара в воздух помещения через неплотности производственной аппаратуры и коммуникаций, с открытых поверхностей жидкостей в ваннах и со смоченных поверхностей пола;

е) «**снизу - вниз**» применяется при местной вентиляции.



# Схемы вентиляционных систем

## СИСТЕМ



- а). Приточная общеобменная с механическим побуждением канальная.
- б). Приточная общеобменная с механическим побуждением бесканальная.
- в). Приточная общеобменная с естественным побуждением бесканальная. Применяется в промышленных зданиях со значительными избытками тепла.
- г). Приточная местная с механическим побуждением канальная. Представляет собой систему воздушного душирования рабочих мест, находящихся в неблагоприятных условиях (воздействие лучистой теплоты, газов).
- д). Приточная местная с механическим побуждением бесканальная.
- е). Вытяжная общеобменная с механическим побуждением канальная .
- ж). Вытяжная общеобменная с механическим побуждением бесканальная.
- з). Вытяжная общеобменная с естественным побуждением канальная.
- и). Вытяжная местная с механическим побуждением канальная.
- к). Вытяжная местная с естественным побуждением канальная.
- л). Вытяжная местная с естественным побуждением бесканальная.

## Расчет систем

### воздухообмена

При выделении в воздух производственными процессами вредных газов, паров или пыли необходимое количество воздуха, м<sup>3</sup>/ч, подаваемого в помещения, следует определять по формуле:

$$L = L_{pz} + \frac{M - L_{pz}(C_{pz} - C_n)}{C_{yx} - C_n},$$

где  $L_{pz}$  - количество воздуха, удаляемого из помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией, м<sup>3</sup>/ч;

$M$  - количество вредных веществ, поступающих в воздух помещения, мг/ч;

$C_{pz}$  - концентрация вредных веществ в воздухе, удаляемом из помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией или на технологические нужды, мг/м<sup>3</sup>;

$C_n$ ,  $C_{yx}$  - концентрация вредностей соответственно в воздухе, подаваемом в помещение и удаляемом из него, мг/м<sup>3</sup>.

При избытках в помещении явного тепла, которое воздействует на изменение температуры воздуха в помещении, потребное количество вентиляционного воздуха, м<sup>3</sup>/ч, рассчитывают по формуле;

$$L = L_{pz} + \frac{3.6Q_{я} - 1.2L_{pz}(t_{pz} - t_n)}{1.2(t_{yx} - t_n)},$$

где  $Q_{я}$  - избыточный тепловой поток явного тепла в помещении, Дж/с или Вт.

$L_{pz}$  - количество воздуха, удаляемого из помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией, м<sup>3</sup>/ч;

$t_{pz}$  - температура воздуха, удаляемого на рабочей зоны помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией и расходуемого на технологические нужды, °С;

$t_n$ ,  $t_{yx}$  - температура воздуха, соответственно подаваемого в помещение и удаляемого из него, °С.



## Расчет систем воздухообмена

При избытках влаги количество воздуха, м<sup>3</sup>/ч, подаваемого в помещения, определяют по формуле:

$$L = L_{pz} + \frac{W - 1,2L_{pz}(d_{pz} - d_n)}{1,2(d_{yx} - d_n)},$$

где  $W$  - избытки влаги в помещении, г/ч ;

$L_{pz}$  - количество воздуха, удаляемого из помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией, м<sup>3</sup>/ч;

$d_{pz}$  - влагосодержание воздуха, удаляемого из рабочей зоны помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией и на технологические нужды, г/кг;

$d_n, d_{yx}$  - влагосодержание воздуха, соответственно подаваемого в помещение и удаляемого из него, г/кг.

Кратность воздухообмена в цехе  $K_p = L/V$

где  $V$  – объем помещения

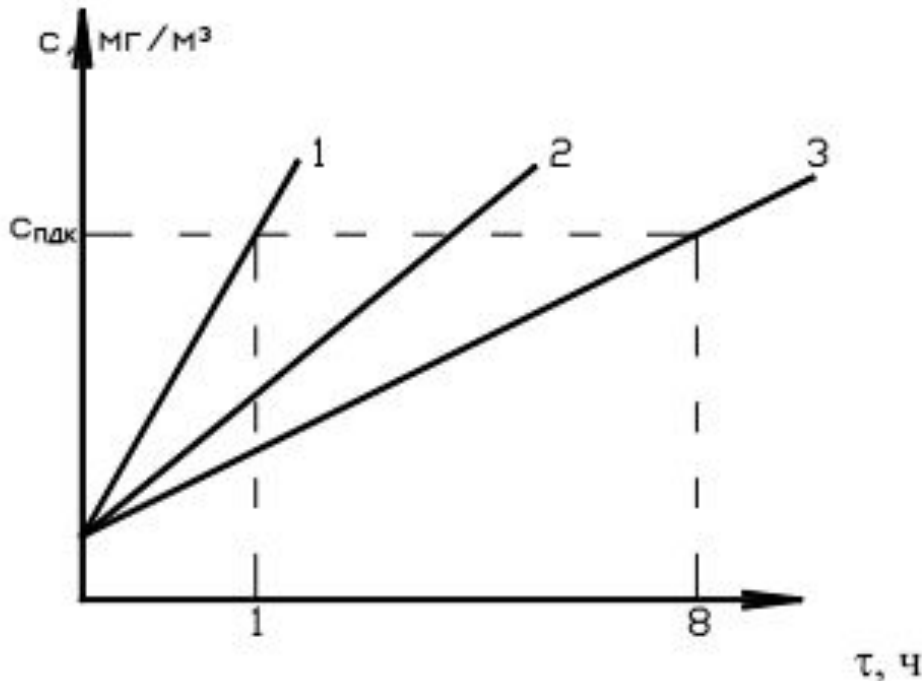


# АВАРИЙНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

**Аварийная вентиляция** – совокупность элементов и устройств, представляющих мощную механическую вытяжную вентиляцию, которая работает только в аварийных ситуациях для обеспечения эвакуации людей.

**Аварийную вентиляцию рассчитывают для двух вариантов**

**Вариант 1.** Нестационарные изменения концентрации вредных веществ в помещении при выключенных общеобменных системах вентиляции (климатические системы).



Изменение концентраций вредных веществ в помещении по времени.

## Вариант 2. Нестационарные изменения концентрации вредных веществ в помещении при работающих общеобменных системах вентиляции.

Массовый баланс вредных веществ имеет вид:

$$G_{вр} d\tau + L_{пр} c_{пр} d\tau - L_{ух} c_{ух} d\tau - V_n dc = 0$$

где  $G_{вр} d\tau$  – количество вредных веществ, поступивших в помещение за время  $\tau$ ;

$L_{пр} c_{пр} d\tau$  – количество вредных веществ, поступивших в помещение за время  $\tau$  с приточным воздухом;

$L_{ух} c_{ух} d\tau$  – количество вредных веществ, удаляемых из помещения за время  $\tau$  вытяжными общеобменными системами.

Время, в течение которого концентрация достигает значения ПДК

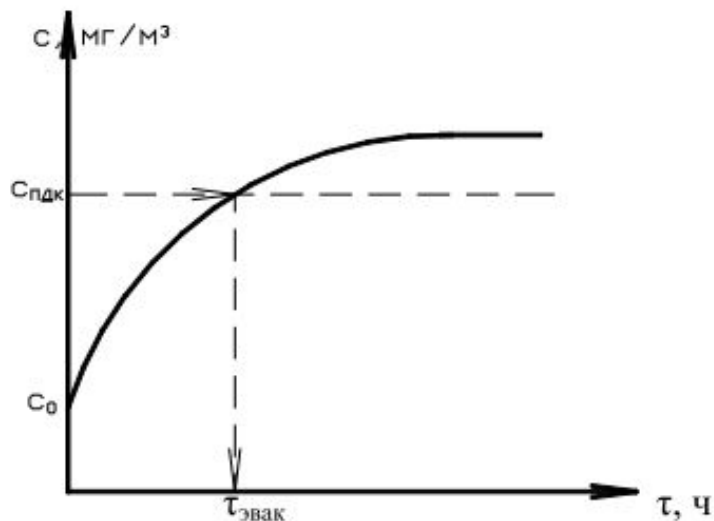
$$\tau = \frac{V_n}{L_{yx}} \cdot \ln \frac{\left( \frac{G_{вр}}{L_{yx}} + c_{пр} - c_0 \right)}{\left( \frac{G_{вр}}{L_{yx}} + c_{пр} - c \right)}$$

Кратность аварийного воздухообмена определяется по зависим

$$n_{ав} = \frac{L_{yx}}{V_n}$$

Концентрация вредных веществ за определенный интервал

в



Изменение концентраций вредных веществ в объёме помещения

## **ВОЗДУШНЫЕ И ВОЗДУШНО-ТЕПЛОВЫЕ ЗАВЕСЫ**

**Воздушные завесы** – вентиляционные устройства, предназначенные для предотвращения перетекания воздуха через внутренние перегородки смежных помещений производственного здания с различными классами вредных веществ

**Воздушно-тепловые завесы** – вентиляционные устройства, предназначенные для предотвращения перетекания наружного воздуха через двери, ворота и проемы зданий и сооружений различного назначения. Они исключают проникновение в помещение холодного наружного воздуха.

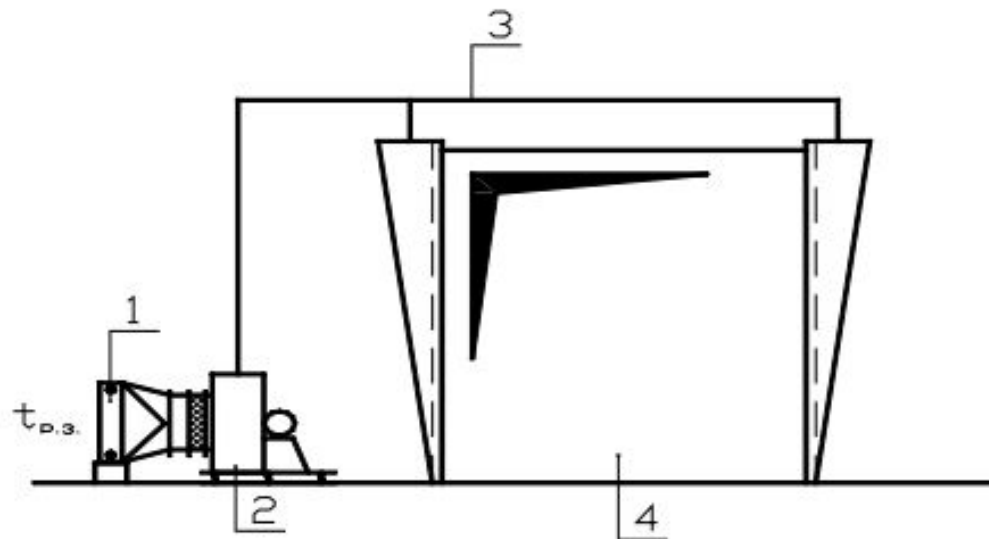
## Воздушные завесы имеют следующие основные элементы:

- 1) калорифер;
- 2) вентиляционный агрегат;
- 3) система воздуховодов и каналов;
- 4) воздуховоды равномерной раздачи или вентиляционная колонка с щелевым выпуском воздуха через направляющие лопатки.

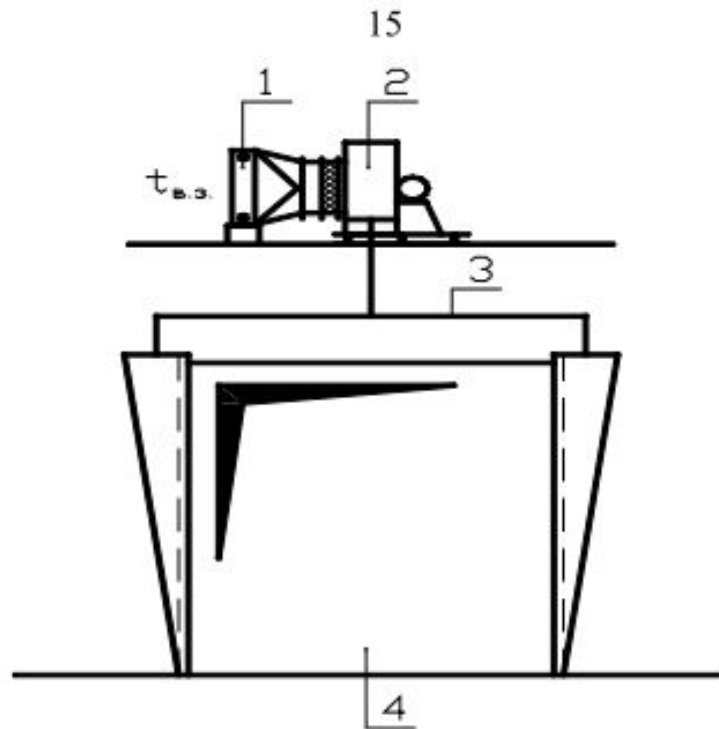




Двухсторонняя завеса с подводом сверху с боковой раздачей от одного вентиляционного центра и забором воздуха из рабочей зоны или района завесы



Двухсторонняя завеса с подводом сверху с боковой раздачей от одного вентиляционного центра и забором воздуха из верхней зоны



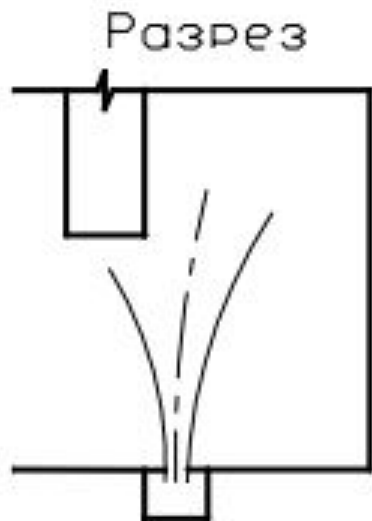
## Классификация воздушно-тепловых завес

1. По режиму работы:
  - постоянного действия;
  - периодического действия.

Режим работы завесы определяется следующими факторами:

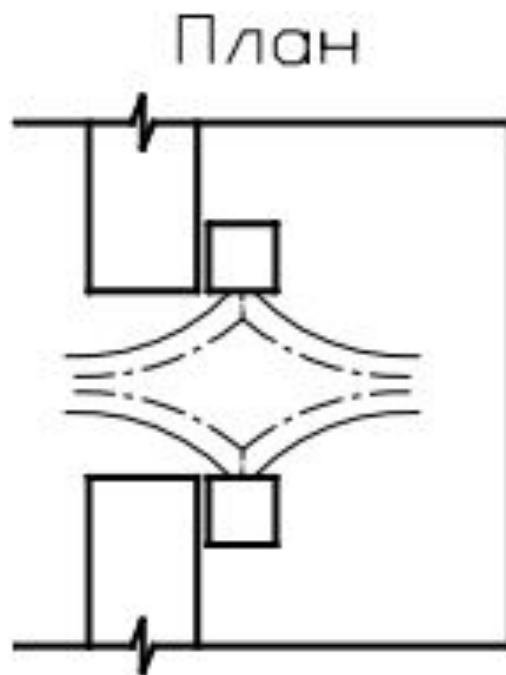
- а) требованиями к параметрам микроклимата в помещении;
- б) наличием постоянных рабочих мест в районе завесы;
- в) режимом работы общеобменных приточных систем вентиляции.

По направлению действия  
струи:

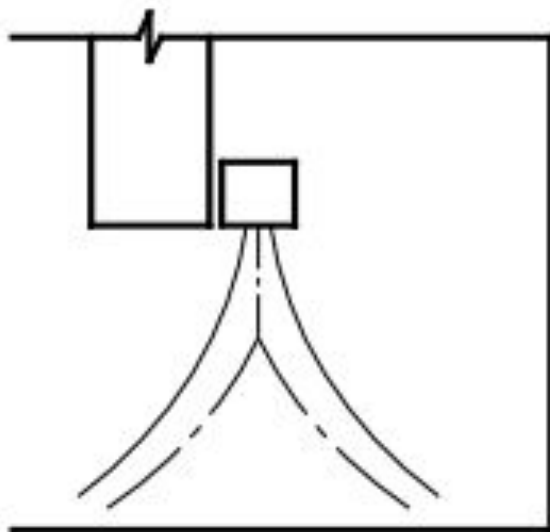


струи, выпущенная снизу  
вверх

струя, выпущенная  
-боку



Разрез



струя выпущенная сверху  
вниз

По температуре подаваемого воздуха и месту воздухозабора на завесу:

воздушно-тепловые завесы с подогревом воздуха и воздухозабором из помещения:

$$t_3 > t_{\text{в}},$$
$$t_{\text{в}} = t_{\text{р.з.}}, \quad t_{\text{в}} = t_{\text{в.з.}};$$

воздушная завеса без подогрева и воздухозабором из помещения

$$t_3 = t_{\text{в}},$$
$$t_{\text{в}} = t_{\text{р.з.}}, \quad t_{\text{в}} = t_{\text{в.з.}};$$

# Расчёт воздушно-тепловых

## завес

Определяется массовый расход воздуха промышленной воздушно-тепловой завесы

$$G_3 = 5100 \cdot \bar{q}_3 \cdot \mu_{\text{пр}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot \sqrt{\Delta P \cdot \rho_{\text{см}}}$$

где  $\bar{q}_3$  – относительный расход воздушной завесы или характеристика воздушно-тепловой завесы,

$$\bar{q}_3 = \frac{G_3}{G_{\text{пр}}} = 0,5 \div 1,0$$

Где:  $G_{\text{пр}}$  – количество приточного воздуха, поступившего в помещение со струей завесы после контакта с окружающим воздухом;

$\mu_{\text{пр}}$  – коэффициент расхода проема принимается из справочной литературы в зависимости от конструкции притворов проема: для распашных  $\mu_{\text{пр}} = 0,25 \div 0,36$ ; для раздвижных  $\mu_{\text{пр}} = 0,29 \div 0,42$ ;

$F_{\text{пр}}$  – площадь проема, закрываемого воздушно-тепловой завесой,  $\text{м}^2$ ,

$$F_{\text{пр}} = H_{\text{пр}} \cdot B_{\text{пр}},$$

$\Delta P$  – расчетный перепад давлений воздуха на уровне проема снаружи и внутри здания, Па;



$$\Delta P = \Delta P_p + k_v \cdot \Delta P_v ,$$

$\Delta P_p$  – располагаемое давление в проеме, Па;

$$\Delta P_p = h \cdot (\gamma_n - \gamma_v) ,$$

$h$  – расчетная высота;

$\gamma_n, \gamma_v$  – удельный вес воздуха при температуре наружного и внутреннего воздуха соответственно

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t}$$

$k_v$  – коэффициент, характеризующий поправку на ветровое давление и учитывающий степень герметичности зданий;

$\Delta P_v$  – избыточное давление на уровне проема, Па

$$\Delta P_v = c_v \frac{v_v^2}{2} \rho_H$$

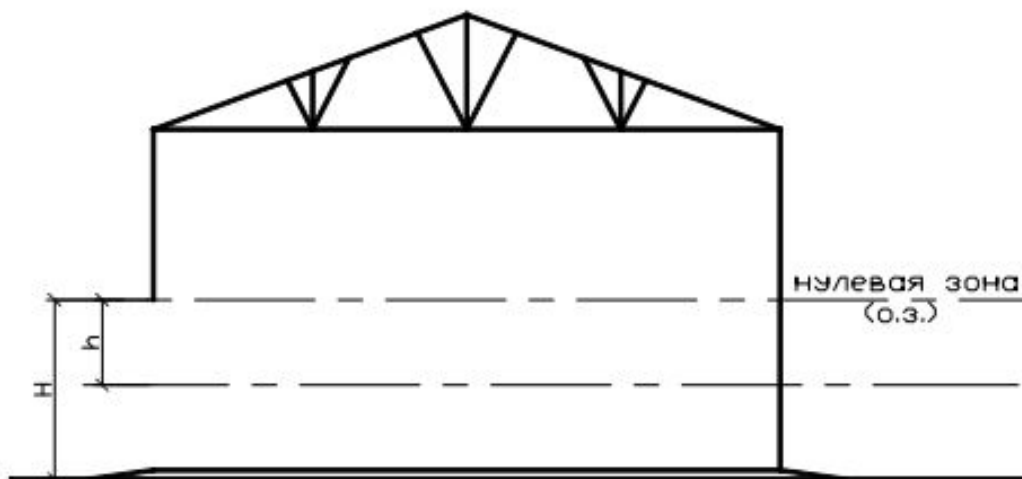
$c_v$  – расчетный аэродинамический коэффициент, для зданий  $c_v = +0,8$ ;  
 $v_v$  – расчетная скорость ветра, м/с, значение которой принимаем по параметрам Б для холодного периода года.

Значение  $k_v$  принимается из справочной литературы в зависимости от конструкции зданий:

1)  $k_v = 0,2$  – для зданий без фонарей и закрытыми аэрационными фрамугами в холодный период года;

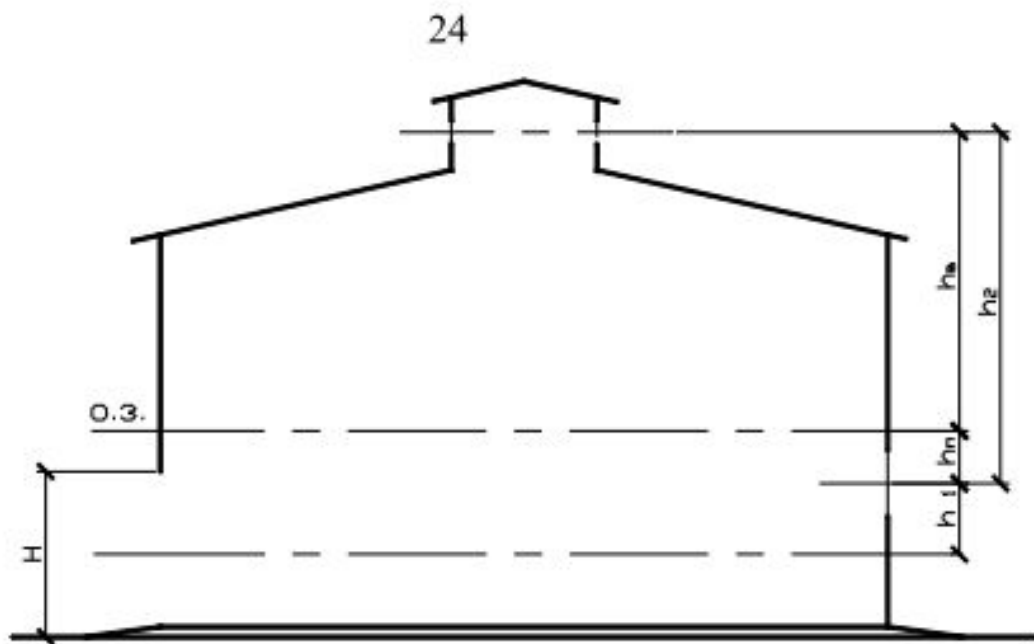
$$h = 0,5H.$$

Высота  $h$  принимается по вертикали от центра проема до нулевой зоны, которая совпадает с верхним краем проема.



Здание без фонарей и закрытыми аэрационными фрамугами

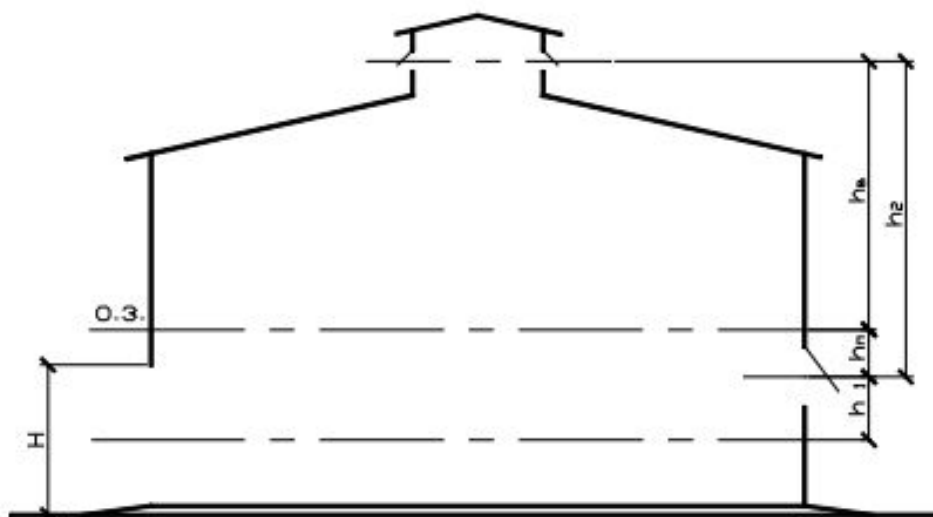
2)  $k_v = 0,5$  – для зданий с фонарями и закрытыми аэрационными фрамугами в холодный период года.



Здание с фонарями и закрытыми аэрационными фрамугами

$$h = h_1 + \frac{h_2}{\left(\frac{l_n}{2l_B}\right)^2 + 1}$$

3)  $k_v = 0,8$  – для зданий с фонарями и открытыми аэрационными фрамугами в холодный период года.



Здание с фонарями и открытыми аэрационными фрамугами

$$h = h_1 + \frac{h_2}{\left( \frac{\mu_n \cdot F_n}{\mu_e \cdot F_e} \right)^2 + 1},$$

где  $h_1, h_2$  – вертикальные расстояния соответственно от центра проема до центра приточных фрамуг и от центра проема до центра вытяжных фрамуг, м;

$h_{\text{п}}, h_{\text{в}}$  – соответственно вертикальные расстояния от центра приточных фрамуг до нулевой зоны и от центра вытяжных фрамуг до нулевой зоны, м;

$h$  – расчетная высота, м;

$H$  – высота проема, м;

$l_{\text{п}}$  – горизонтальная длина приточной фрамуги (в плане), м;

$l_{\text{в}}$  – горизонтальная длина вытяжной фрамуги (в плане), м;

$\mu_{\text{п}}, \mu_{\text{в}}$  – соответственно коэффициенты расхода приточных и вытяжных аэрационных фрамуг;

$F_{\text{п}}, F_{\text{в}}$  – площади соответственно приточных и вытяжных фрамуг, м<sup>2</sup>.

2. Определяется температура воздуха воздушно-тепловой завесы:

$$t_3 = \frac{t_{cm} - t_n}{\bar{q} \cdot (1 - \bar{Q})} + t_n,$$

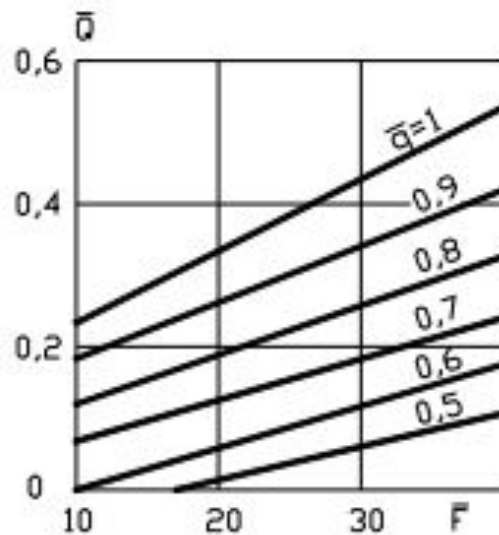
где  $t_n$  – расчетная температура наружного воздуха в холодный период по параметрам Б, °С;

$\bar{Q}$  – относительные потери теплоты завесы, характеризует долю теплоты, теряемую с воздухом, уходящим через открытый проём наружу, относительно общей тепловой мощности ВТЗ,

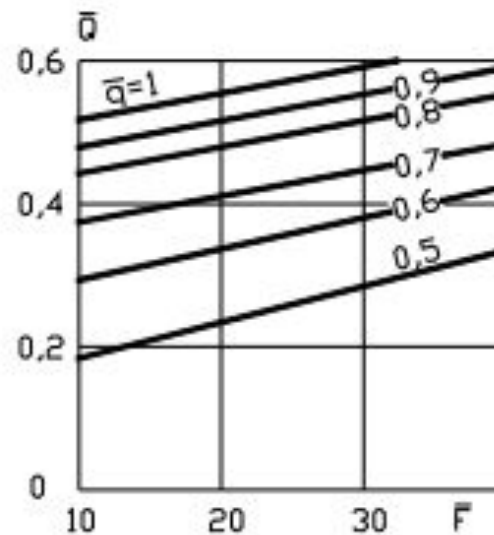
$$\bar{Q} = \frac{Q_{m/nom}}{Q_3},$$

$$\bar{Q} = f(\bar{q}_3; \bar{F}).$$

а



б



Значения  $\bar{Q}$  для ВТЗ шиберного типа.

а- для боковой завесы; б- для нижней завесы.

$Q_3$  – тепловая мощность завесы;

$\bar{F}$  – относительная площадь проема.

$$\bar{F} = \frac{F_{np}}{F_{щ}} = 10 \div 40,$$

$F_{щ}$  – площадь щелевого выпуска.



3. Рассчитывается тепловая мощность воздушно-тепловой завесы:

$$Q_3 = 0,278 \cdot G_3 \cdot c_v \cdot (t_3 - t_0)$$

$t_0$  определяется в зависимости от классификации воздушно-тепловых завес:

$$t_0 = t_{p.z.}; t_0 = t_{в.з.}; t_0 = t_{см}; t_0 = t_n$$

4. Определяется ширина щелевого выпуска завесы:

$$b_{щ} = \frac{F_{пр}}{2 \cdot \bar{F} \cdot H_{щ}},$$

где  $H_{щ} = H_{проема}$  высоте проёма ворот;

цифра 2 в знаменателе – при двухсторонних воздушно-тепловых завесах.

5. Вычисляется скорость воздуха, м/с, на выходе из щели завесы по зависимости

$$v_3 = \frac{G_3}{2 \cdot 3600 \cdot F_{\text{щ}} \cdot \rho_3},$$

$$F_{\text{щ}} = b_{\text{щ}} \cdot H_{\text{щ}},$$

$$v_3 \leq v_{\text{доп}}$$

Если неравенство не выполняется, то

$$b_{\text{щ}} = \frac{G_3}{2 \cdot 3600 \cdot H_{\text{щ}} \cdot v_{\text{доп}} \cdot \rho_3}.$$

*1. Воздухообмен для компенсации местных отсосов и вытяжки из верхней зоны (по «местным отсосам»).*

Расчёт ведётся для тёплого и холодного периодов года.  
Составляют уравнение массового баланса

$$V_{\text{отс}} \cdot \rho_{\text{отс}} + V_{\text{вн}} \cdot \rho_{\text{вн}} = V_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}} + V_{\text{от}} \cdot \rho_{\text{от}}$$