

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	А	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	Б	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	В	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
	Г	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
	Д	Несгораемые вещества и материалы в холодном состоянии
Взрывоопасные	Е	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;

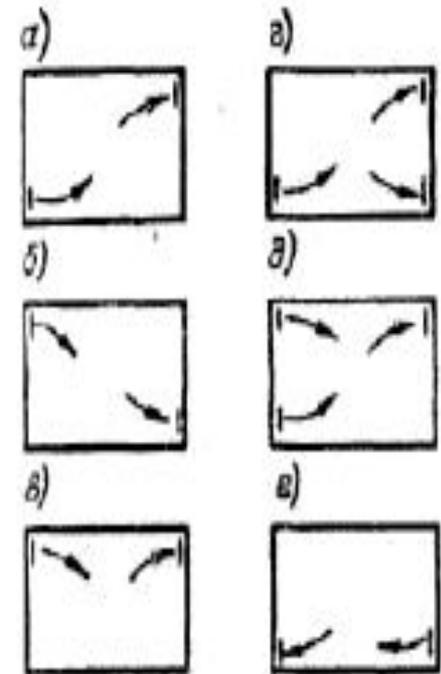
б) «**сверху - вниз**» - при выделении газов, паров летучих жидкостей (спиртов, ацетона, толуола и т. п.) или пыли, а также при одновременном выделении пыли и газов;

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.);

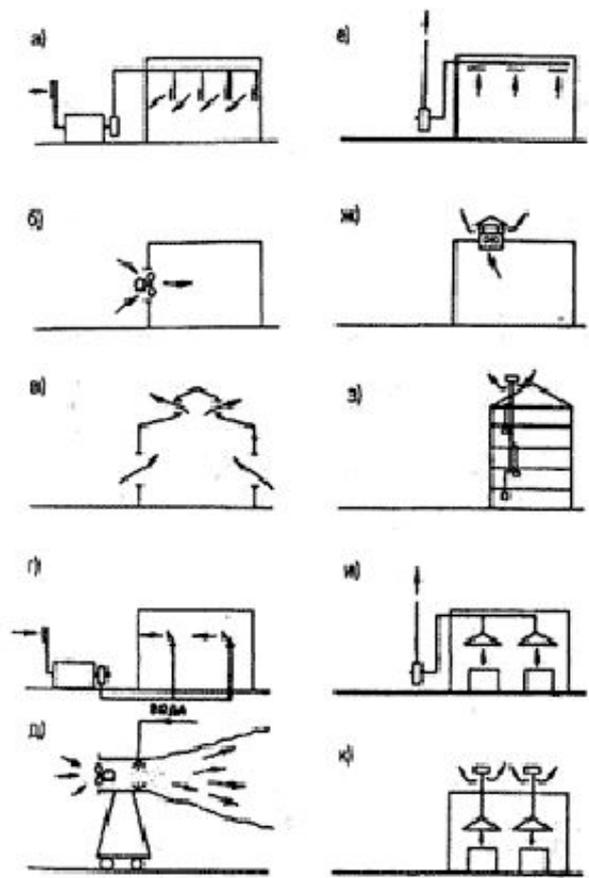
д) «**сверху и снизу - вверх**» - в помещениях с одновременным выделением тепла и влаги или с выделением только влаги при поступлении пара в воздух помещения через неплотности производственной аппаратуры и коммуникаций, с открытых поверхностей жидкостей в ваннах и со смоченных поверхностей пола;

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.

Расчет систем

воздухообмена

Для описания объекта необходимо предоставить следующую информацию:

- назначение, высоту и площадь каждого помещения;

Кратность воздухообмена k для следующих технологических процессов и производств:

Участки: окраски и сушки машин — 17; сварки — 26; ремонта электрооборудования — 15.

Кузнечное отделение — 20; Помещение очистных сооружений - 8.

*Для бытовых зданий: курительные – 10; туалет – (25 -50)*n, м.куб./час (n – количество унитазов), помещения для отдыха – 3.*

- среднее количество человек, которые будут одновременно пребывать в помещении;

- характер работы, который выполняют работники;

Объем потребляемого воздуха 1 человеком составляет: при минимальной физической нагрузке 20 м³/ч, при средней активности - 40 м³/ч, а при высокой -60 м³/ч.

- климатические характеристики в данном регионе.

РАСЧЕТНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, СКОРОСТЬ И ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА НА ПОСТОЯННЫХ И НЕПОСТОЯННЫХ РАБОЧИХ МЕСТАХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Период года	Категории работ	Оптимальные нормы на постоянных и непостоянных рабочих местах			Допустимые нормы				
		температура, °С	скорость движения, м/с, не более	относительная влажность, %	температуры, °С			скорости движения воздуха, м/с, не более	относительной влажности воздуха, %, не более
					на всех рабочих местах	на постоянных рабочих местах	на непостоянных рабочих местах		
Теплый	Легкая: Ia	23–25	0,1	40–60	На4 °С выше расчетной температуры наружного воздуха (параметрыА) и не более указанных в гр. 7 и 8	28/31	30/32	0,2	75
	Iб	22–24	0,2			28/31	30/32		
	Средней тяжести: IIa	21–23	0,3			27/30	29/31		
	IIб	20–22	0,3			27/30	29/31		
	Тяжелая: III	18–20	0,4			26/29	28/30		
Холодный и переходные условия	Легкая: Ia	22–24	0,1	40–60	—	21–25	18–26	0,1	75
	Iб	21–23	0,1			20–24	17–25		
	Средней тяжести: IIa	18–20	0,2			17–23	15–24		
	IIб	17–19	0,2			15–21	13–23		
	Тяжелая: III	16–18	0,3			13–19	12–20		

СНИП 2.04.05-91

РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

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	
163. Ростов-на-Дону	48	990	Теплый Холодный	27,3 - 8	57,4 - 4,2	3,6 12	31,9 -22	60,7 -20,9	3,6 8	12,5 —

Расчет систем воздухообмена

Расчет систем вентиляции бытовых и производственных включает в себя следующие этапы:

1. Определение исходных данных (описание объекта и климатические характеристики);
2. Оценка воздухообмена в обслуживаемых помещениях.
3. Расчет (оценка) естественной вентиляции.
 - 3.1. Расчет бесканальной системы вентиляции (аэрация);
 - 3.2. Расчет канальной системы вентиляции;
4. Расчет принудительной системы вентиляции.
 - 4.1. Описание систем вентиляции (количество, обслуживаемые помещения, производительность, материал, форма сечения и место прокладки воздуховодов, способ объединения ветвей на разных этажах и противопожарные мероприятия, приточные и вытяжные устройства и их размещение и т.д.).
 - 4.2. Расчет воздухораспределения для расчетного помещения.
 - 4.3. Аэродинамический расчет одной приточной и одной вытяжной систем.
 - 4.4. Подбор вентиляционного оборудования для расчетных систем: приемного блока, фильтра, воздухонагревателя, вентилятора;
 - 4.5. Акустический расчет приточной системы, при необходимости подбор шумоглушителя.

Обтекание здания воздушным потоком

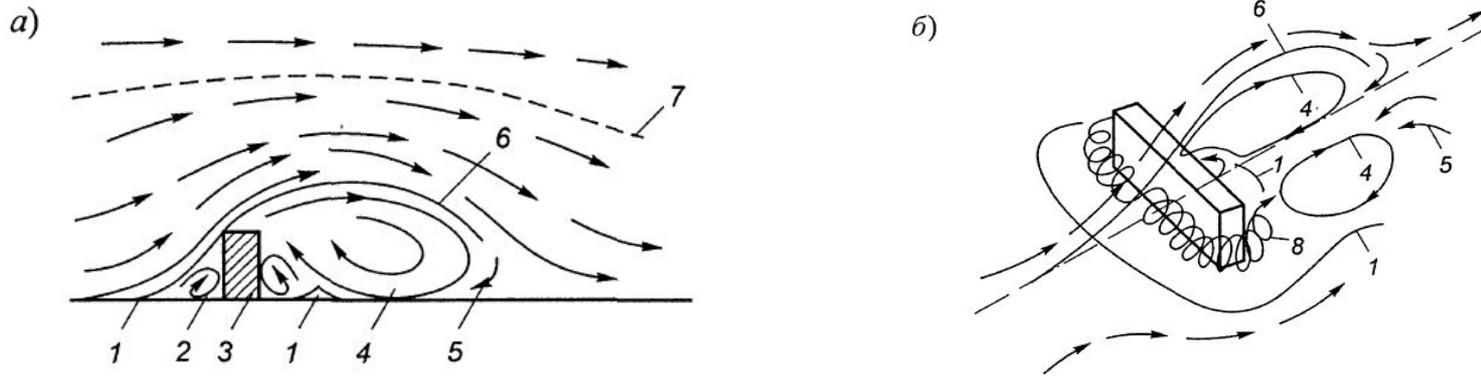
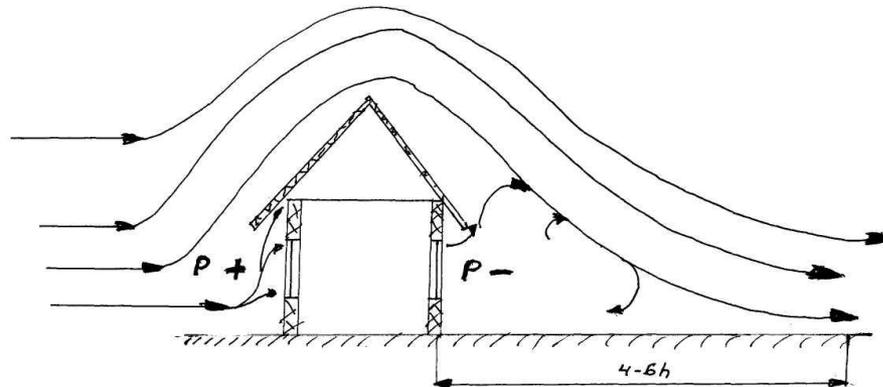
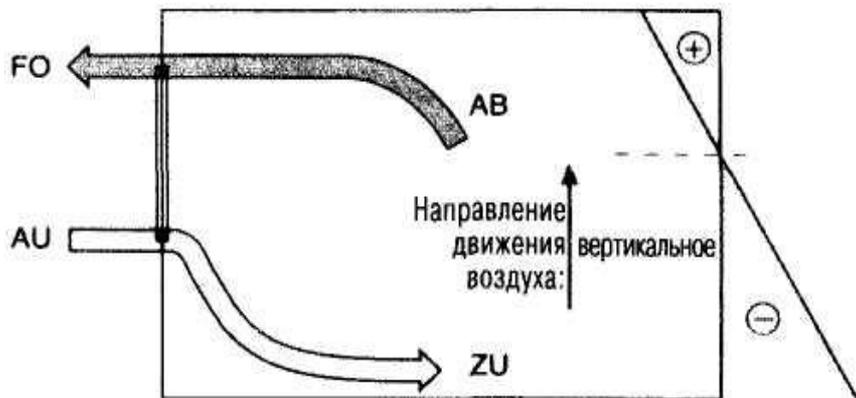


Рис. 14.1. Схема обтекания здания потоком воздуха
а – вертикальный разрез, *б* – схема движения воздуха в зоне аэродинамического следа

1 – граница между вихрями в зоне аэродинамического следа, участок с нулевой скоростью движения воздуха; 2 – зона избыточного давления, 3 – здание; 4 – зона разрежения и вихревого движения воздуха; 5 – обратные потоки воздуха, входящие в зону аэродинамического следа; 6 – граница зоны аэродинамического следа; 7 – граница влияния здания на поток воздуха; 8 – вихреобразные потоки воздуха из зоны избыточного давления в зону разрежения



Естественная вентиляция



Движение воздуха в помещениях и зданиях при плотности отходящего воздуха больше плотности наружного воздуха $\rho_{AB} > \rho_{AU}$: AU — наружный воздух, AB — вытяжной (уходящий) воздух, ZU — приточный воздух, FO — удаляемый (сбросной) воздух.

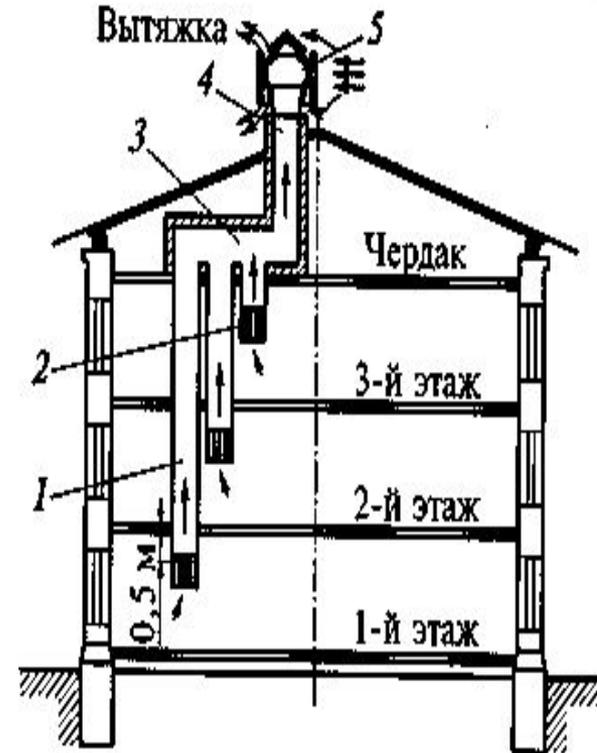
Соотношения давлений с учетом плана расположения здания и проходящего внутри него воздушного потока

⊕ сторона избыточного давления: жилые комнаты;

⊖ сторона разрежения: санузлы, кухни

Достоинства естественной вентиляции:

- дешевизна;
- простота монтажа;
- долговечность;
- надежность.



Расчет систем

воздухообмена

При выделении в воздух производственными процессами вредных газов, паров или пыли необходимое количество воздуха, м³/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, м³/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/м³;

C_n , C_{yx} - концентрация вредностей соответственно в воздухе, подаваемом в помещение и удаляемом из него, мг/м³.

При избытках в помещении явного тепла, которое воздействует на изменение температуры воздуха в помещении, потребное количество вентиляционного воздуха, м³/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, м³/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, м³/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, м³/ч;

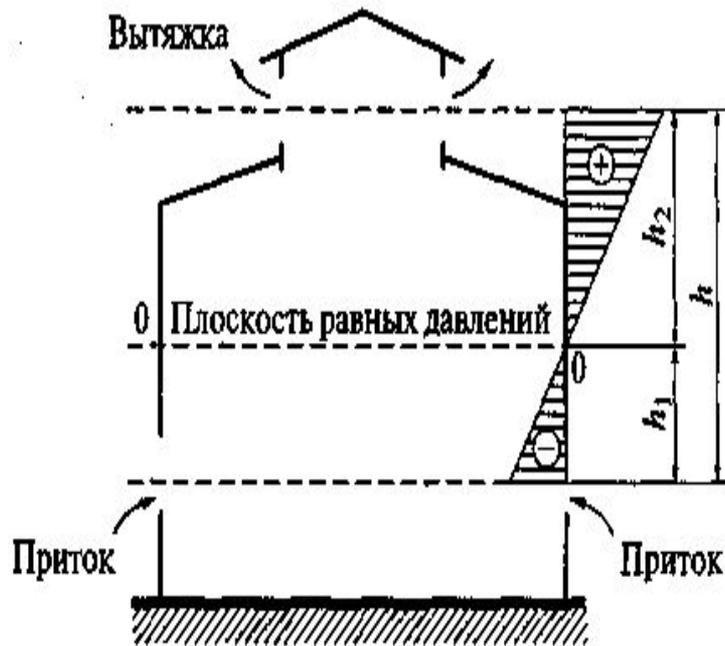
d_{pz} - влагосодержание воздуха, удаляемого из рабочей зоны помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией и на технологические нужды, г/кг;

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

Аэрация



$$P_e = (\rho_n - \rho_{вн})/h g$$

где ρ_n — плотность наружного воздуха, кг/м³;
 $\rho_{вн}$ — плотность воздуха помещения, кг/м³;
 h — расстояние по вертикали от центра приточного проема до центра вытяжного, м;
 g — ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с².

- Ниже плоскости равных давлений существует разрежение, что обуславливает приток наружного воздуха, а выше — некоторое избыточное давление, за счет которого нагретый воздух удаляется наружу.

Аэрация

Один из видов организованного естественного воздухообмена помещений

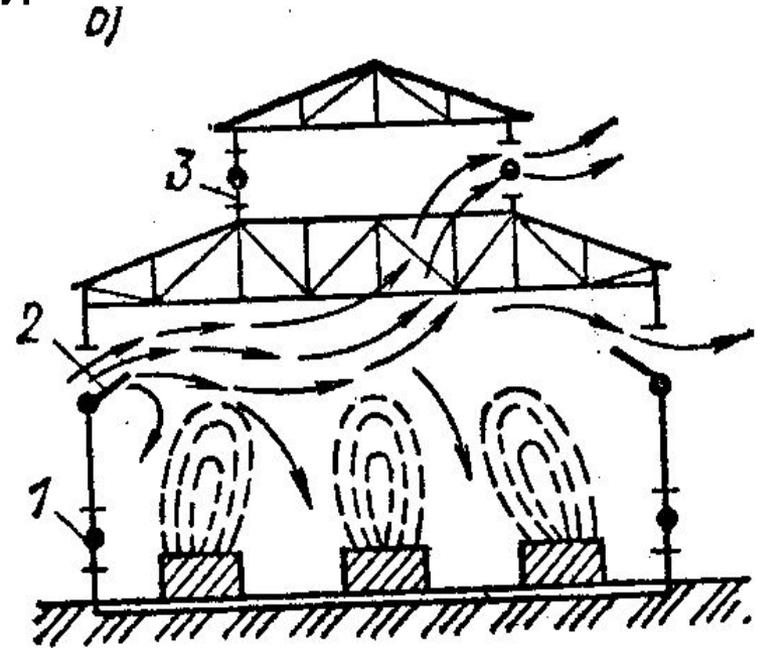
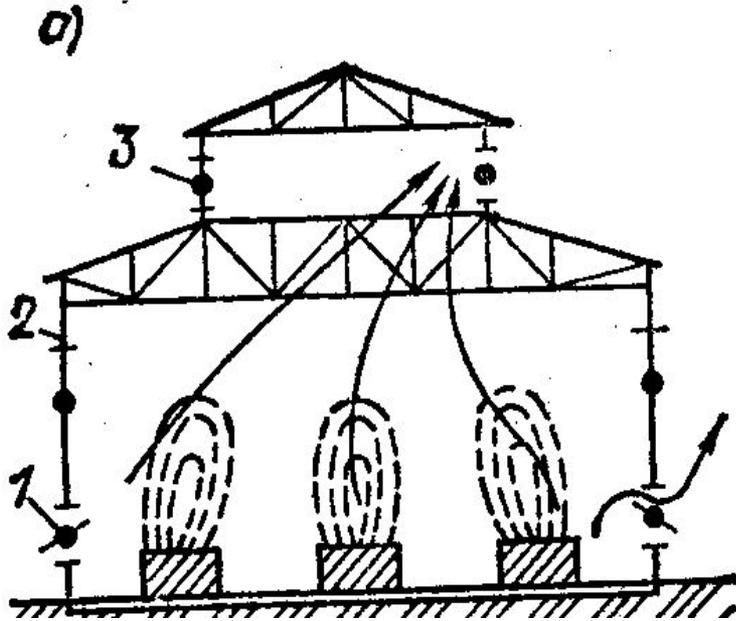
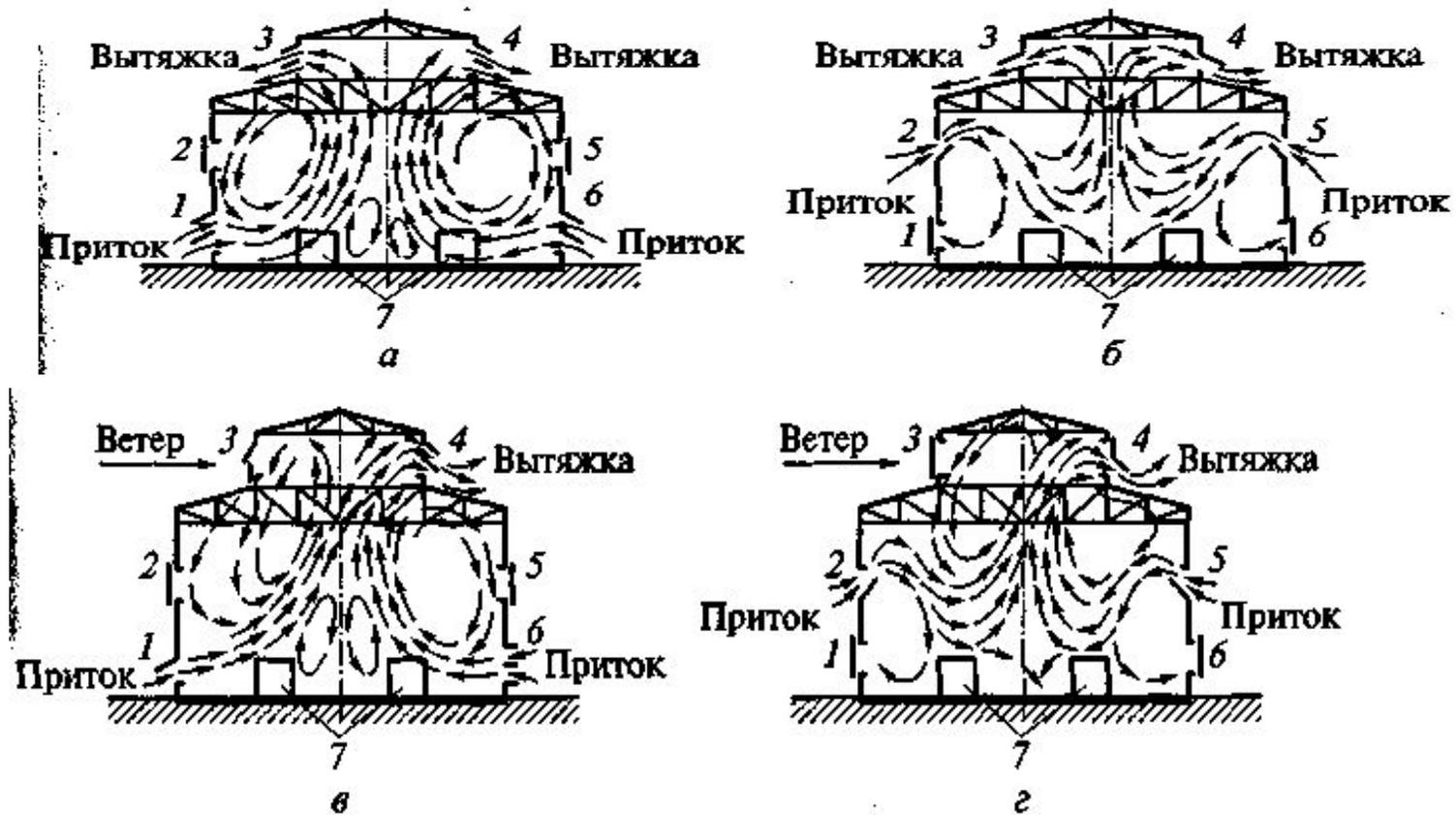


Схема аэрации цеха 1— проем первого яруса; 2— проем второго яруса; 3— вытяжной проем

Аэрация применяется для вентиляции помещений с большим выделением теплоты.

Аэрация осуществляется через специально предусмотренные проектом регулируемые отверстия в наружных ограждениях с использованием гравитационных сил и ветра.

Аэрация



Аэрация

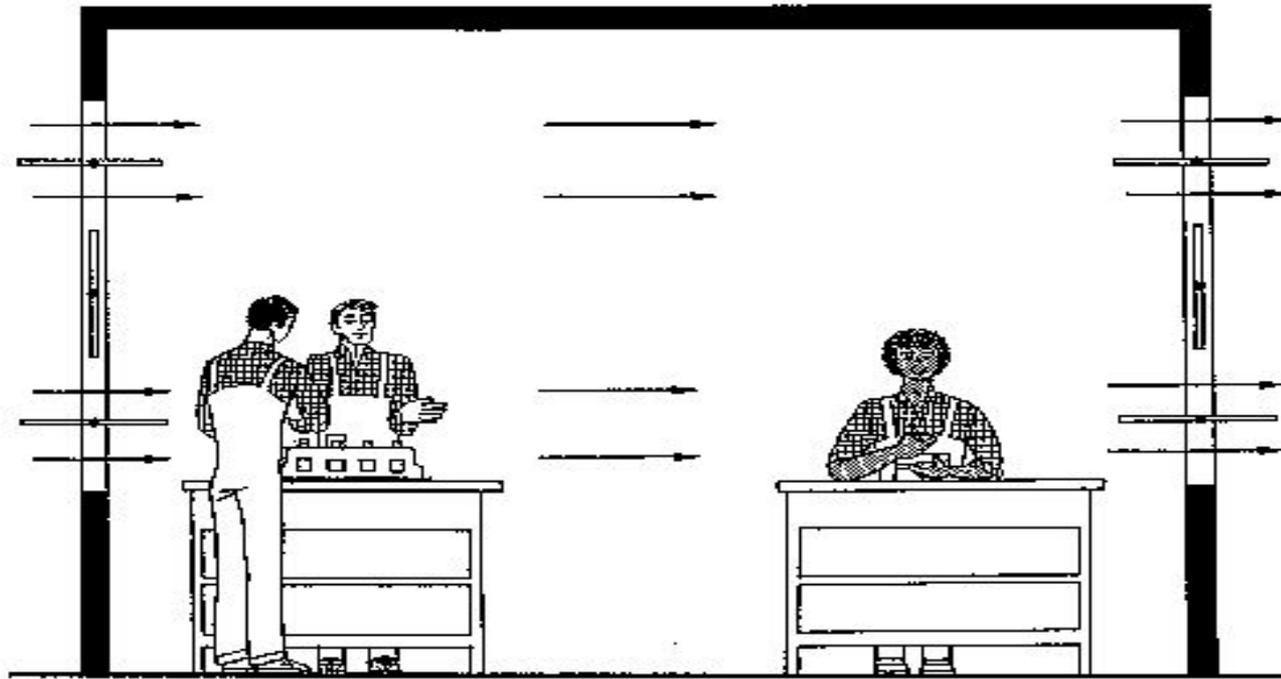
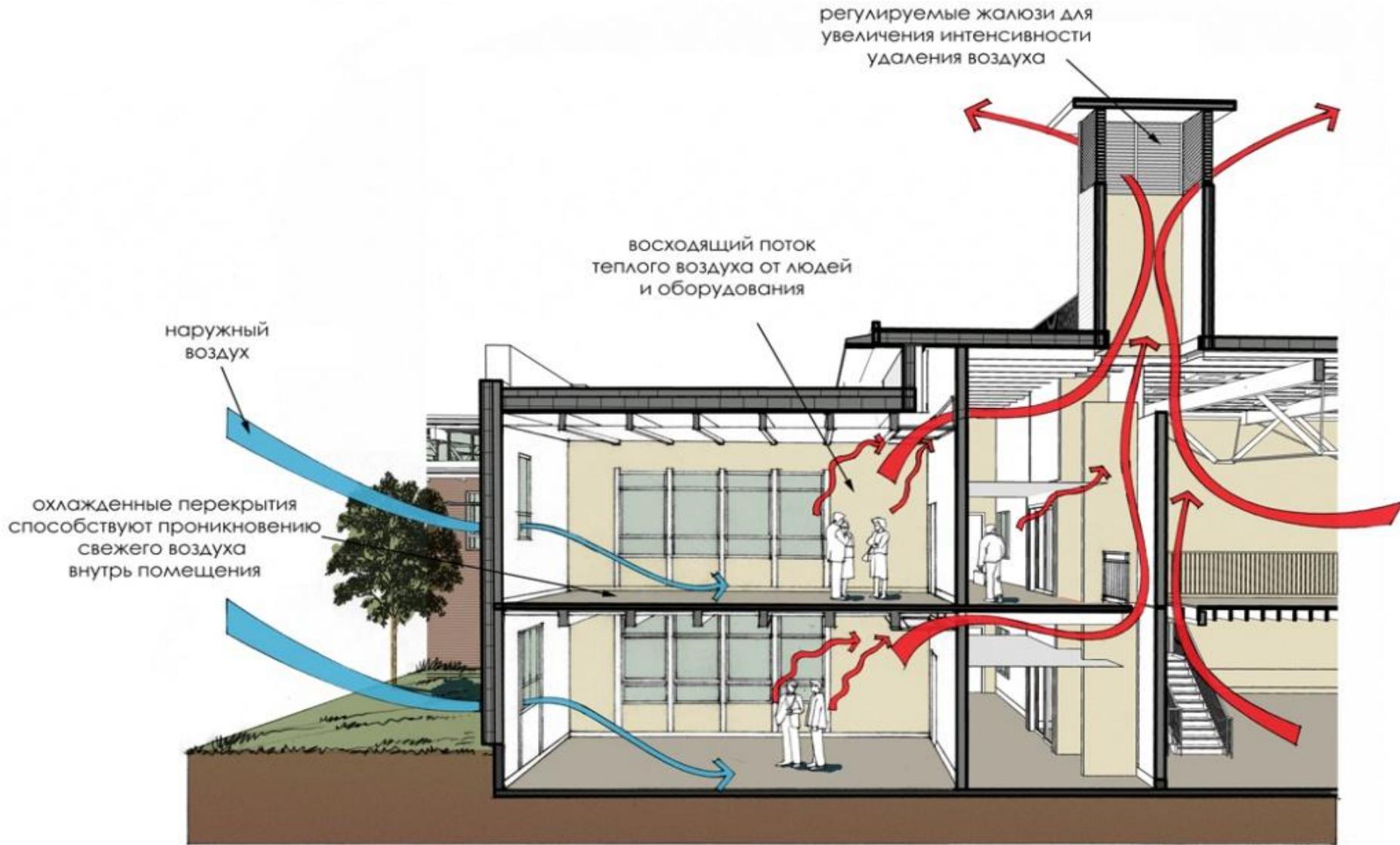


Рис. 1.1.1

Естественная вентиляция с помощью регулируемых отверстий (проемов) в противоположных сторонах помещения.

Аэрация



Расчет систем воздухообмена: расчет аэрации

Различают две задачи аэрации: прямую и обратную.

Прямая задача заключается в определении площади открытых проемов, необходимой для обеспечения расчетного общеобменного воздухообмена в помещении. Прямую задачу приходится решать при проектировании новых объектов. Обычно проектировщики-строители запрашивают у проектировщиков-сантехников необходимую площадь аэрационных проемов с тем, чтобы учесть эти требования в проекте строительной части здания.

Обратная задача – определение фактического воздухообмена при известных площадях и размещении аэрационных отверстий в уже существующих зданиях. Обратную задачу решают при реконструкции здания, если в нем предполагается разместить оборудование с тепловыделениями большими, нежели у заменяемого.

Варианты расчетных давлений, на которые производится расчет аэрации. В зависимости от удельной теплonaпряженности, высоты помещения (здания), температуры наружного воздуха и скорости ветра возможны три варианта выбора расчетного давления:

- гравитационное давление;
- давление ветра;
- совместное действие гравитационного и ветрового давлений.

Критерием, определяющим выбор варианта, является соотношение между давлением ветра и гравитационного давлений

Расчет систем воздухообмена : расчет аэрации

Аэрацию рассчитывают на действие только гравитационных сил, если

$$p_v \leq 0,5H\Delta\rho g, \quad (15.4)$$

где p_v – максимальное значение ветрового давления для выбранной схемы размещения (открывания) приточных и вытяжных отверстий, подсчитываемое по формуле (14.7), значения аэродинамических коэффициентов принимаются на отметке осей приточных и вытяжных проемов; H – расстояние по вертикали между центрами приточных и вытяжных аэрационных отверстий, м; $\Delta\rho$ – разность плотностей воздуха снаружи и внутри помещения.

Аэрация рассчитывается на действие только ветра, при условии:

$$p_v \geq 10H\Delta\rho g. \quad (15.5)$$

Этот вариант выбора расчетного давления характерен для помещений без тепловыделений или с незначительными теплоизбытками (склады химикатов, промышленных изделий, оборудования, некоторые производственные помещения с влаговыведениями и др.).

Аэрация рассчитывается на совместное действие гравитационных сил и ветра в случае следующего соотношения между гравитационным и давлением ветра:

$$0,5 \cdot H\Delta\rho g < p_v < 10 \cdot H\Delta\rho g. \quad (15.6)$$

Как и вся общеобменная вентиляция, аэрация рассчитывается летом на параметры «А» и зимой на параметры «Б».

Расчеты аэрации проводят при следующих допущениях:

- 1) тепловой и воздушный режимы помещения считаются установившимися во времени;
- 2) определение гравитационного давления проводят на среднюю по объему помещения температуру воздуха;
- 3) изменение температуры по вертикали принимается по линейному или линейно-ступенчатому закону;
- 4) влияние на аэрацию тепловых конвективных струй, возникающих над нагретым оборудованием, не учитываются;
- 5) в расчетах аэрации не учитывается энергия приточных аэрационных струй, поступающих через окна; считается, что она полностью рассеивается в объеме помещения; кинетическая энергия вытяжных струй рассеивается в наружном воздухе;
- 6) в качестве расчетных принимают давления на оси аэрационных проемов;
- 7) аэродинамические коэффициенты, определенные испытаниями в аэродинамической трубе монолитных моделей принимаются равным аэродинамическим коэффициентам реального здания с открытыми аэрационными проемами, работающими на приток или вытяжку;
- 8) допускается, что все избыточное давление расходуется на создание кинетической энергии приточных и вытяжных струй и преодоление аэродинамических сопротивлений аэрационных проемов, учитываемое через коэффициент расхода.

Различают две задачи аэрации: прямую и обратную.

Прямая задача заключается в определении площади открытых проемов, необходимой для обеспечения расчетного общеобменного воздухообмена в помещении. Прямую задачу приходится решать при проектировании новых объектов. Обычно проектировщики-строители запрашивают у проектировщиков-сантехников необходимую площадь аэрационных проемов с тем, чтобы учесть эти требования в проекте строительной части здания.

Обратная задача – определение фактического воздухообмена при известных площадях и размещении аэрационных отверстий в уже существующих зданиях. Обратную задачу решают при реконструкции здания, если в нем предполагается разместить оборудование с тепловыделениями большими, нежели у заменяемого.

Расчет систем воздухообмена : расчет аэрации

В случае решения прямой задачи известны: требуемый воздухообмен по притоку $G_{пр}$ и по вытяжке $G_{выт}$, коэффициенты расхода аэрационных проемов по притоку $\mu_{пр}$ и по вытяжке $\mu_{выт}$, а также плотность удаляемого $\rho_{выт}$ и приточного воздуха, равная плотности наружного воздуха при температуре по параметрам «А», ρ_n .

Объемный $L_{пр}$ и массовый расходы $G_{пр}$ через приточные отверстия равны:

$$L_{пр} = 3600 \mu_{пр} A_{пр} v_{пр} = 3600 \mu_{пр} A_{пр} \sqrt{\frac{2 \Delta p_{пр}}{\rho_n}}$$

$$G_{пр} = 3600 \mu_{пр} A_{пр} \sqrt{2 \Delta p_{пр} \rho_n}, \quad (15.7)$$

где $L_{пр}$ – объемный аэрационный приток, $\text{м}^3/\text{ч}$; $v_{пр}$ – скорость воздуха в приточных проемах, $\text{м}/\text{с}$; $A_{пр}$ – площадь аэрационных проемов, м^2 ; $\Delta p_{пр}$ – часть расчетного давления аэрации, расходуемая на приток, Па; ρ_n – плотность наружного воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Аналогично массовый расход через вытяжные отверстия составит:

$$G_{выт} = 3600 \mu_{выт} A_{выт} \sqrt{2 \Delta p_{выт} \rho_{выт}}, \quad (15.8)$$

$$\frac{\Delta p_{пр}}{\Delta p_{расч} - \Delta p_{пр}} = A, \quad (15.11)$$

$$\Delta p_{пр} = \frac{A}{1 + A} \Delta p_{расч}, \quad (15.12)$$

$$\Delta p_{выт} = \Delta p_{расч} - \Delta p_{пр}. \quad (15.13)$$

Требуемые площади приточных и вытяжных отверстий определяются как

$$A_{пр} = \frac{G_{пр}}{3600 \mu_{пр} \sqrt{2 \Delta p_{пр} \rho_n}}, \quad (15.14)$$

$$A_{выт} = \frac{G_{выт}}{3600 \mu_{выт} \sqrt{2 \Delta p_{выт} \rho_{выт}}}. \quad (15.15)$$

Приведенные выше соотношения применяются для 2-х случаев расчета аэрации: *на действие ветра, совместное действие гравитационных сил и ветра.*

ря

Определить требуемую площадь аэрационных проемов для вентилирования производственного помещения с незначительными теплоизбытками, расположенного в г. Камышин. Необходимо обеспечить воздухообмен в количестве 100000 $\text{кг}/\text{ч}$ по притоку и вытяжке. Расчетная скорость ветра равна 4,6 $\text{м}/\text{с}$. Аэродинамические коэффициенты в плоскости аэрационных отверстий: на наветренной стороне +0,8, на заветренной – (-0,6). Согласно действующим нормам температура наружного воздуха по параметрам А равна +26,6°C. Заполнение световых проемов – одинарное остекление, окна имеют фрамуги с верхнеподвесными створками с углом раскрытия 90°. Согласно табл. 15.1 $\mu_{приток} = 0,62$, а $\mu_{вытяжка} = 0,67$.

Расчет.

1. Расчетная схема воздухообмена в теплый период года: приток через нижние фрамуги на наветренной стороне здания, вытяжка – через аэрационные проемы на заветренной стороне.

2. Плотность наружного воздуха

$$\rho_n = 353 / (273 + 26,6) = 1,178 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

3. Величина расчетного ветрового давления

$$\Delta p_v = (K_{зпр} - K_{зпр}) \frac{v^2}{2} \rho_n = (0,8 + 0,6) \frac{4,6^2}{2} \cdot 1,178 = 17,449 \text{ Па}.$$

4. Величина А

$$\frac{\Delta p_{пр}}{\Delta p_{выт}} = \left(\frac{G_{пр}}{G_{выт}} \right)^2 \cdot \frac{\rho_{выт}}{\rho_n} = \left(\frac{100000}{100000} \right)^2 \cdot \frac{1,178}{1,178} = 1.$$

5. Вычисляем

$$\Delta p_{выт} = \left(\frac{A}{1 + A} \right) \Delta p_{расч} = \frac{1}{1 + 1} \cdot 17,449 = 8,724 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{пр} = 8,724 \text{ Па}.$$

6. Площади приточных и вытяжных отверстий:

$$A_{пр} = \frac{G_{пр}}{3600 \mu_{пр} \sqrt{2 \Delta p_{пр} \rho_n}} = \frac{100000}{3600 \cdot 0,62 \sqrt{2 \cdot 8,724 \cdot 1,178}} = 9,88 \text{ м}^2,$$

$$A_{выт} = \frac{G_{выт}}{3600 \mu_{выт} \sqrt{2 \Delta p_{выт} \rho_{выт}}} = \frac{100000}{3600 \cdot 0,67 \sqrt{2 \cdot 8,724 \cdot 1,178}} = 9,14 \text{ м}^2.$$

Расчет систем воздухообмена : расчет аэрации

Прямая задача

Пример №2. Расчет аэрации на совместное действие гравитационного давления ветра. Прямая задача.

Исходные данные.

Определить требуемую площадь аэрационных проемов для производственного помещения. Разница отметок проемов нижних фрамуг и створок фонаря – 8,2 м, температура наружного воздуха по параметрам «А» равна +26,6°, аэродинамические коэффициенты здания на уровне отметок центров проемов $K_{пр}^{вп} = 0,8$ и $K_{выт}^{вп} = -0,6$. Цех оборудован местными системами вытяжной вентиляции. Требуемые аэрационные приток составляет 292000 кг/ч, вытяжка – 240000 кг/ч, коэффициенты расхода аэрационных проемов составляют: $\mu_{приток} = 0,62$ и $\mu_{вытяжка} = 0,67$. Температуры воздуха: снаружи +26,6°С; рабочей зоны +30°С; удаляемого воздуха +33,4°С.

Расчет.

1. Расчетная схема воздухообмена в теплый период года – приток через нижние фрамуги в рабочую зону, вытяжка через фонарь.

2. Плотность воздуха:

- приточного: $\rho_{пр} = 1,178$ кг/м³;
- вытяжного: $\rho_{выт} = 1,152$ кг/м³;
- среднее значение плотности воздуха для цеха: $\rho_{ср} = 1,159$ кг/м³.

3. Расчетное давление аэрации:

$$\Delta p_{расч} = (K_{прит} - K_{выт}) \frac{V_n^2}{2} \rho_n + gH(\rho_n - \rho_{ср}),$$

$$\Delta p_{расч} = (0,8 + 0,6) \cdot \frac{4,6^2}{2} \cdot 1,178 + 9,81 \cdot 8,2 \cdot (1,178 - 1,159) = 18,977 \text{ Па},$$

$$A = \left(\frac{G_{пр}}{G_{выт}} \right)^2 \cdot \frac{\rho_{выт}}{\rho_n} = \left(\frac{292000}{240000} \right)^2 \cdot \frac{1,152}{1,178} = 1,448.$$

4. Вычисляем

$$\Delta p_{пр} = \frac{A}{1+A} \Delta p_{расч} = \frac{1,448}{1+1,448} \cdot 18,977 = 11,225 \text{ Па};$$

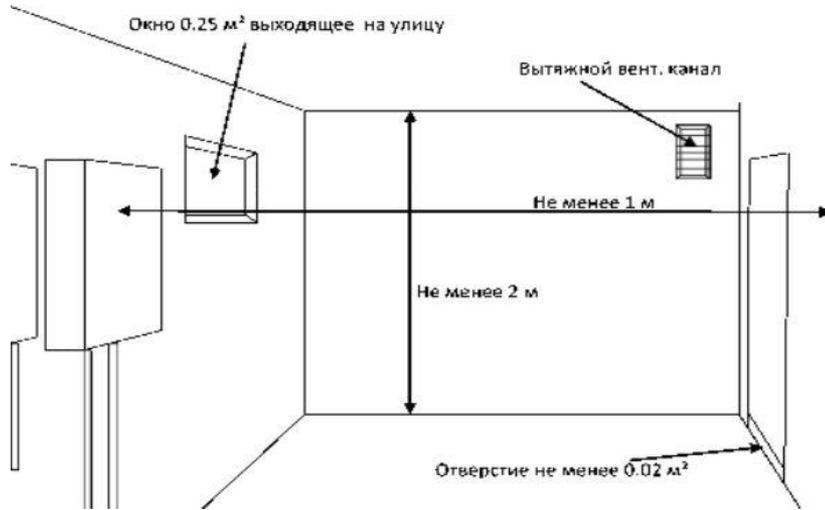
5. Вычисляем $\Delta p_{выт} = 18,977 - 11,225 = 7,752 \text{ Па}$.

6. Площади приточных и вытяжных отверстий:

$$A_{пр} = \frac{292000}{3600 \cdot 0,62 \sqrt{2 \cdot 11,225 \cdot 1,178}} = 25,44 \text{ м}^2;$$

$$A_{выт} = \frac{240000}{3600 \cdot 0,67 \sqrt{2 \cdot 7,752 \cdot 1,152}} = 23,54 \text{ м}^2.$$

Расчет систем воздухообмена : расчет канальной вентиляции



Цель расчета – подбор геометрических размеров вентиляционных каналов, обеспечивающих действительное гидравлическое сопротивление вентиляционной сети, не большее, чем располагаемое естественное давление.

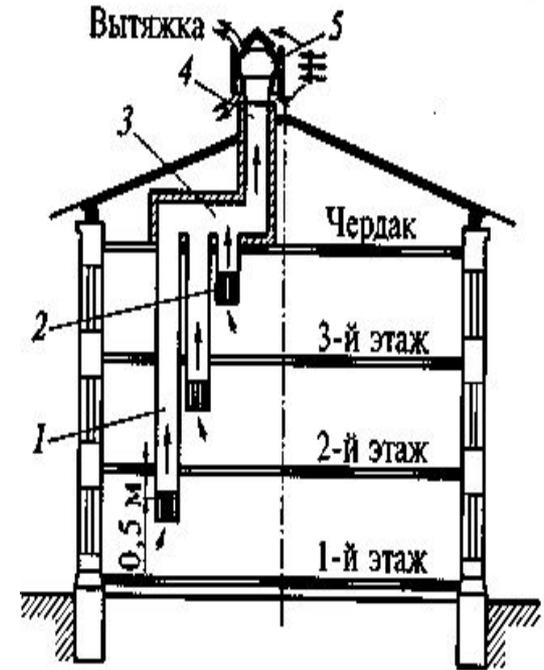
Удельные потери давления, Па/м, должны иметь минимальное значение

$$R_{\text{уд}} = \frac{P_{\text{гр}}}{\Sigma l},$$

где $P_{\text{гр}}$ – гравитационное давление, действующее в вытяжных каналах соответствующих этажей, Па; l – длина участка, м.

$$P_{\text{гр}} \geq \Sigma(Rln + Z),$$

где $\Sigma(Rln + Z)$ – потери давления на трение и местные сопротивления на участках в расчетном направлении.



Гравитационное давление, Па,

$$P_{\text{гр}} = h(\rho_n - \rho_k)9,81,$$

где h – высота воздушного столба, м, принимается:

а) при наличии в здании только вытяжки – от середины решетки до устья вытяжной шахты;

б) при наличии в здании механического притока – от середины высоты помещения до устья вытяжной шахты;

ρ_n – плотность наружного воздуха, кг/м³, для общественных зданий при $t_n = 5^\circ\text{C}$; ρ_k – плотность воздуха в помещении.

Расчет систем воздухообмена : расчет канальной

вентиляции

1. На планах размещают жалюзийные решетки, вертикальные каналы, горизонтальные короба и вытяжные шахты; вычерчивают аксонометрические схемы систем вентиляции. Аксонометрическая схема воздухопроводов естественной вентиляции должна быть построена так, чтобы со всех сторон вытяжной шахты было равное число вертикальных каналов и равные расходы воздуха. Количество вентиляционных систем определяется числом вытяжных шахт.

2. Расчет начинают от более неблагоприятно расположенной жалюзийной решетки. Обычно наиболее неблагоприятной является решетка, наиболее удаленная от вытяжной шахты. Путь движения воздуха от этой жалюзийной решетки по каналам до вытяжной шахты и сама вытяжная шахта будут являться одной расчетной веткой.

3. Для естественной вытяжной вентиляции определяется располагаемое гравитационное давление для расчетной ветви $P_{гр}$

4. По известному расходу вентиляционного воздуха L определяют ориентировочное сечение канала (коробов, шахт) F по

$$F' = \frac{L}{3600v_p},$$

где L – расчетный расход воздуха в воздуховоде, $m^3/ч$; v_p – предварительная скорость движения воздуха, m/c :

а) в системах естественной вентиляции:

- для горизонтальных каналов – 0,5–1,0 m/c ;
- для вертикальных каналов – 0,5–1,0 m/c ;
- для вытяжных шахт – 1,0–1,5 m/c .

б) в системах механической вентиляции:

- для участка с жалюзийной решеткой – 2–5 m/c ;
- для участка с вентилятором – 6–12 m/c ;
- для магистральных воздухопроводов производственных зданий – до 12 m/c ;
- для ответвлений воздухопроводов производственных зданий – до 6 m/c .

5. Исходя из расчетной площади канала с учетом конструктивных соображений, принимают стандартные размеры сечения каналов по прил. 6–9.

6. После этого уточняют фактическую скорость движения воздуха по каналам v_ϕ по формуле (2.13).

$$v_\phi = \frac{L}{3600F_{ст}},$$

где $F_{ст}$ – стандартная площадь канала, m^2 (прил. 6–9).

7. Определяют гидравлические потери на преодоление сил трения соответственно по принятому сечению (диаметру) и заданному расходу воздуха по формуле (2.2).

$$\Delta P_{тр} = Rln,$$

где R – удельные потери давления на трение в гидравлически гладком канале, Pa/m ; l – длина участка воздуховода, m ; n – поправочный коэффициент, который зависит от абсолютной эквивалентной шероховатости воздухопроводов.

8. Определяют гидравлические потери на местные сопротивления по участкам вентиляционной сети по формуле (2.7).

$$Z = \sum \xi \frac{\rho v^2}{2} = \sum \xi P_{л}, \quad P_{л} = \frac{\rho v^2}{2}.$$

где $\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на расчетном участке воздуховода, коэффициенты местных сопротивлений на границе двух участков относят к участку с меньшим расходом и определяют по таблицам местных сопротивлений по прил. 14; ρ – плотность воздуха, kg/m^3 .

9. Определяют суммарные фактические гидравлические потери на всех участках, входящих в расчетную ветвь P_ϕ . При этом они не должны превышать располагаемого давления P_p .

Если $P_\phi > P_p$, то необходимо соответственно увеличить сечения отдельных участков вентиляционной сети. Если $P_\phi < P_p$, то необходимо уменьшить сечения отдельных участков вентиляционной сети. Невязка допускается 10 %:

$$\frac{P_\phi - P_p}{P_\phi} 100 \% \leq 10 \%$$

Расчет систем воздухообмена : расчет канальной вентиляции

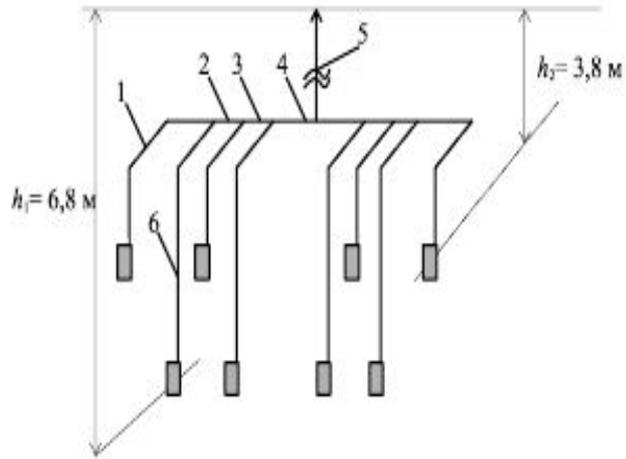


Рис. 2.1. Схема вытяжной естественной вентиляции

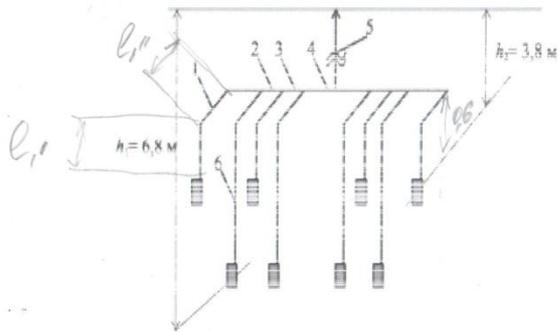


Рис. 2.1. Схема вытяжной естественной вентиляции

Вариант	Длина участка					
	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6
1	0.8	0.15	0.15	0.5	3.2	3.8
2	0.85	0.15	0.2	0.6	3.3	3.9
3	0.9	0.15	0.25	0.7	3.4	4.0
4	0.8	0.2	0.15	0.8	3.5	4.1
5	0.85	0.2	0.2	0.9	3.6	4.2
6	0.9	0.2	0.25	1.0	3.7	4.3
7	0.8	0.25	0.15	0.5	2.9	3.5
8	0.85	0.25	0.2	0.6	3.0	3.6
9	0.9	0.25	0.25	0.7	3.1	3.7
10	0.8	0.15	0.15	0.8	3.2	3.8
11	0.85	0.15	0.2	0.9	3.3	3.9
12	0.9	0.15	0.25	1.0	3.4	4.0
13	0.8	0.2	0.15	0.5	3.5	4.1
14	0.85	0.2	0.2	0.6	3.6	4.2
15	0.9	0.2	0.25	0.7	3.7	4.3
16	0.8	0.25	0.15	0.8	2.9	3.5
17	0.85	0.25	0.2	0.9	3.1	3.7
18	0.9	0.25	0.25	1.0	3.3	3.9
19	0.85	0.2	0.2	0.8	3.5	4.1
20	0.8	0.15	0.15	0.5	3.2	3.8

Расчет систем воздухообмена : расчет канальной

ВАРИАНТ 11111111

Задача №2 (вар 4)

(1)

1. Определим ρ

$$\rho_{6+18} = \frac{355}{273+18} = 1,213 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{6+5} = \frac{355}{273+5} = 1,27 \text{ кг/м}^3$$

2. Определим перепады высот (из вар 11111111)

Высота манжы : $h_7 = h_1 - h_2 = \text{вар 20} = 68 - 38 = 3 \text{ м}$

$l_1' = l_6' = \frac{\text{высота вертикальной части от потолка}}{\text{наклон}} = h_2 - l_5 = 38 - 32 = 0,6 \text{ м} = \text{const}$

$l_1'' = l_6'' = \frac{\text{высота вертикальной части от потолка}}{\text{наклон}} = l_1 - l_1' = l_6 - l_6' - h_7 = 0,8 - 0,6 - 0,2 = 0 \text{ м} = \text{const}$

2. Определим h_2, l_1', l_1'' из данных h_1, h_2 и l_1 вариант 11111111

$$h_2 = l_1' + l_5 = 0,6 + 3,5 = 4,1 \text{ м}$$

$$h_1 = l_6 - l_6'' + l_5 = 4,1 - 0,2 + 3,4 = 7,3 \text{ м}$$

$$h_7 = h_1 - h_2 = 7,3 - 4,1 = 3,2 \text{ м}$$

3. $\Delta P_1 = h_1 (\rho_{6+5} - \rho_{6+18}) \cdot 9,81 = 7,3 \cdot (1,27 - 1,213) \cdot 9,81 = 4,08 \text{ Па}$

$\Delta P_2 = h_2 (\rho_{6+5} - \rho_{6+18}) \cdot 9,81 = 4,1 \cdot (1,27 - 1,213) \cdot 9,81 = 2,29 \text{ Па}$

$\Sigma l_{127} = l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 = 8,75 \text{ м}$

$\Sigma l_{217} = l_1 + l_1' + l_3 + l_4 + l_5 = 5,45 \text{ м}$

$\Delta P_{127} = 4,08 / 8,75 = 0,466 \frac{\text{Па}}{\text{м}}$

$\Delta P_{217} = 2,29 / 5,45 = 0,420 \frac{\text{Па}}{\text{м}}$

$\Delta P_{127} < \Delta P_{217}$

Работает по каналу 217

(2)

3. Определим площадь сечения воздуховода

$$F_1 = \frac{25}{3600 \cdot 1} = 0,007 \text{ м}^2$$

Так же

4. $F = 0,14 \times 0,14 = 0,0196 \text{ м}^2$ - по Прил 6

4. Рейнольдс, скорость $v_{p1} = \frac{25}{3600 \cdot 0,0196} = 0,354 \text{ м/с}$

Так же

5. Определим эквивалентный диаметр:

$$d_2 = \frac{2ab}{a+b} = \frac{2 \cdot 0,14 \cdot 0,14}{(0,14+0,14)} = 0,14 \text{ м}$$

6. Проверим расчет потерь в трубе по длине канала с учетом его шероховатости

$$\Delta P_1 = R_{\text{л}} l_1 u_1 = \frac{\lambda l}{d_2} \rho v_1^2 l_1 u_1$$

$$\frac{v \cdot d}{\nu} - Re_1 = \frac{0,354 \cdot 0,14}{1,5 \cdot 10^{-5}} = 3309 > 2300$$

ν - кинематическая вязкость $\nu(18) = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$

Турбулентный режим течения

Коэфф. трения $\lambda = \frac{0,3164}{(3309)^{0,25}} = 0,0417$

Коэфф. трения $\lambda_{\text{ш1}} = 0,11 \left(\frac{K_2}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{4}{140} + \frac{68}{3309} \right)^{0,25} = 0,0518$

$K_2 = 4 \text{ мм}$ - коэффициент шероховатости канала

Коэфф. трения шероховатости

$$h = \frac{\lambda_{\text{ш}}}{\lambda_1} = \frac{0,0518}{0,0417} = 1,24$$

Прил 13

Работает по каналу 217

$$\Delta P_1 = \frac{\lambda_1}{d_2} \rho v_1^2 l_1 u_1 = \frac{0,0417}{0,14} \cdot 1,213 \cdot \frac{(0,354)^2}{2} \cdot 8,75 = 0,466 \frac{\text{Па}}{\text{м}}$$

Расчет систем воздухообмена : расчет канальной

7. Котел и Операция. КМС по п. 1 по Прил 14 (3)

- Всад. решетка $\xi = 3.5$
- для Калеки $\xi = 1.2 \times 2 = 2.4$
- Трубка и чухуд $\xi = 1$
- Таким образом $\sum \xi_i = 3.5 + 2.4 + 1 = 6.9$

8. Операция ибор релен в месет сопел.
 $Z_1 = 6.9 \frac{1.215 (0.354)^2}{2} = 0.525 \text{ Па}$

9 Операция суммарне ибор по гравке
 $P_1 = 0.023 + 0.525 = 0.548 \text{ Па}$

10 Иммени в Пад 1.2

11 Гравки 1, 2, 3, 4 ^{не} _{буфт} ^{факими} _{ме} ^{гале к} ₃

Гравке 2 $\Delta P_2 = \frac{\lambda L}{d^5} \xi_0 \frac{v_1^2}{2} \rho_2 \eta_2 = 0.1378$ (3)

$\Delta P_3 = \text{Гравки} \cdot \text{ме} = 0.1543$

$\Delta P_4 = 0 = 0.3313$

$\Delta P_5 = 0.834$

Кале $\sum P_p = 0.548 + 0.1378 + 0.1543 + 0.3313 + 0.834 = 2.0052$

Калежа $\frac{2.29 - 2.0052}{2.29} = 12.8\% > 10\%$

Тонг керсет канал 5

Гравке 5 не уграулет г.т.

$P_p = 2.0052 \text{ Па}$
 $P_p = 2.29$
 Калежа $\frac{2.29 - 2.0052}{2.29} = 12.8\%$
 10%

12 Витор гурого сегине Вурустажа

$225 \times 250 = F = 0.05625 \text{ м}^2$

$v_{p1} = \frac{200}{3600 \cdot 0.05625} = 0.9877$

$d_7 = \frac{2ab}{a+b} = \frac{2 \cdot 0.225 \cdot 0.25}{0.225 + 0.25} = 0.237$

$Re_s = \frac{0.9877 \cdot 0.237}{1.5 \cdot 10^{-5}} = 15605 > 2300$

$\lambda_{r5} = \frac{0.3164}{(15605)^{0.25}} = 0.0283$

$n_s = f(\text{При 15}) = 1.16$

$\Delta P_5 = \frac{0.0283}{0.237} \cdot 1.215 \cdot \frac{(0.9877)^2}{2} \cdot 3.5 \cdot 1.16 = 0.286$

$Z_5 = 1.3 \frac{1.215 \cdot (0.9877)^2}{2} = 0.769$

Потери
не кестир
сопел
Суммарне
Потери

$R_{\text{вк}} + 2 = 0.769 + 0.286 = 1.055$

$\sum P_p = 0.548 + 0.135 + 0.1543 + 0.3154 + 1.055 = 2.207$

Калежа $\frac{2.29 - 2.207}{2.29} = 0.036 \approx 3.6\%$

Расчет систем воздухообмена : расчет канальной

Таблица 2.2

Аэродинамический расчет воздуховодов естественной системы вентиляции

№ участка	Расход воздуха $L, \text{ м}^3/\text{ч}$	Длина участка $l, \text{ м}$	Скорость воздуха $v, \text{ м/с}$	Площадь поперечного сечения $F, \text{ м}^2$	Размеры сечений $a \times b, \text{ мм}$	Эквивалентный диаметр $d_э, \text{ мм}$	Число Рейнольдса	Коэффициент гидравлического трения λ_t	Удельные потери давления на трение $R, \text{ Па}$	Коэффициент шероховатости η	Потери давления на трение с учетом шероховатости $R/\eta, \text{ Па}$	Сумма коэффициентов сопротивления $\Sigma \xi$	Потери давления в местных сопротивлениях $Z, \text{ Па}$	Суммарная потеря давления на участке $R/\eta + Z, \text{ Па}$
Главная расчетная ветвь (ветвь через канал второго этажа)														
1	25	0,8	0,354	0,02	140×140	140	3307	0,0417	0,0227	1,24	0,0225	6,9	0,5253	0,5478
2	50	0,13	0,617	0,0225	150×150	150	6173	0,0357	0,0549	1,11	0,0091	0,55	0,1257	0,135
3	75	0,15	0,694	0,030	200×150	171	7937	0,0335	0,0572	1,124	0,0096	0,5	0,1447	0,1543
4	100	0,5	0,694	0,040	200×200	200	9259	0,0323	0,0472	1,124	0,0265	1	0,2889	0,3154
5	200	3,2	0,71	0,0784	280×280	280	13228	0,0295	0,0322	1,124	0,1159	1,3	0,3959	0,5118
5	200	3,2	0,89	0,0625	250×250	250	14815	0,0287	0,0552	1,13	0,199	1,3	0,6163	0,8153
<p>Итого: $P_\phi = 0,5478 + 0,135 + 0,1543 + 0,3154 + 0,5118 = 1,67 \text{ Па}$ $P_p = 2,124 \text{ Па}$ Невязка: $(P_p - P_\phi) / P_p = (2,124 - 1,67) / 2,124 = 21,4 \%$</p> <p>должна находится в пределах 10%; т. к. $P_\phi < P_p$, то необходимо уменьшить сечение на отдельных участках вент. сети, чтобы уменьшить невязку, например на участке 5 необходимо поменять сечение на 250×250.</p> <p style="text-align: right;">Итого: $P_\phi = 1,97 \text{ Па}$ $P_p = 2,124 \text{ Па}$ Невязка: 7,3 %</p>														
Ответвление														
6	25	3,8	0,3543	0,02	140×140	140	3306,88	0,0417	0,0226	1,124	0,097	5,8	0,4416	0,5386
<p>Невязка в точке пересечения участков 1 и 6: $(\Delta P_{\text{маг}} - \Delta P_{\text{отв}}) / \Delta P_{\text{маг}} = (0,5478 - 0,5386) / 0,5478 = 0,15 \% < 10 \%$</p>														

Handwritten notes and calculations on the right side of the table:

- 0,5478
- 0,135
- 0,1543
- 0,3154
- 0,5118
- 0,8153
- Итого: $P_\phi = 1,67 \text{ Па}$
- $P_p = 2,124 \text{ Па}$
- Невязка: $(P_p - P_\phi) / P_p = 21,4 \%$
- Итого: $P_\phi = 1,97 \text{ Па}$
- $P_p = 2,124 \text{ Па}$
- Невязка: 7,3 %

Расчет систем воздухообмена : расчет канальной вентиляции