

Дисциплина:
Проектирование систем
обеспечения техносферной
безопасности

Лекция 4

Расчет систем
воздухообмена

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: $\rho_{пр} = 1,178 \text{ кг/м}^3$;
- вытяжного: $\rho_{выт} = 1,152 \text{ кг/м}^3$;
- среднее значение плотности воздуха для цеха: $\rho_{ср} = 1,159 \text{ кг/м}^3$.

3. Расчетное давление аэрации:

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

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

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

4. Вычисляем

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

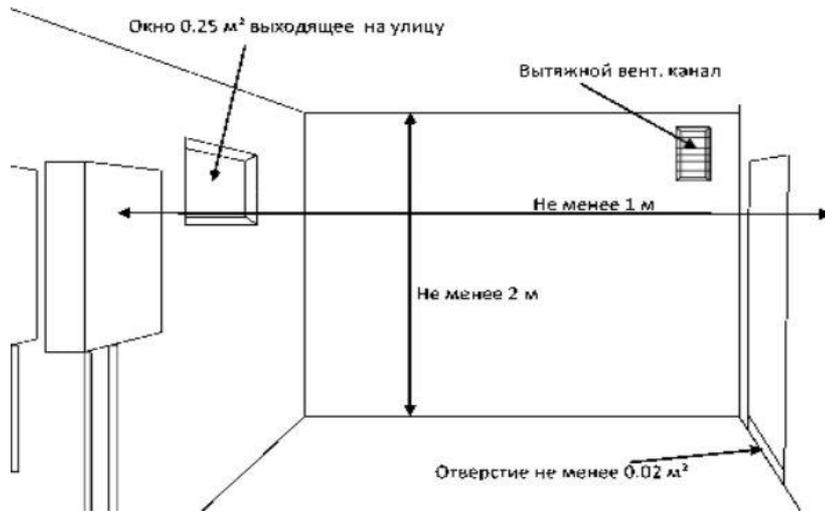
5. Вычисляем $\Delta p_{выт} = 18,977 - 11,225 = 7,752 \text{ Па}$.

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.

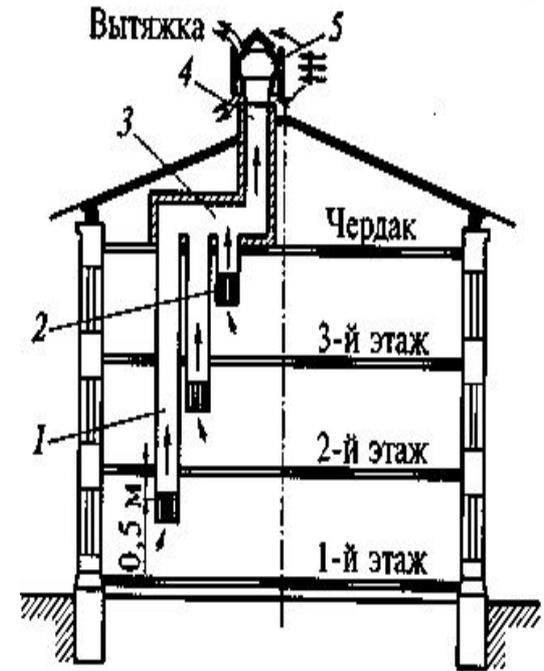
Удельные потери давления, Па/м, должны иметь минимальное значение

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

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).

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

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 .

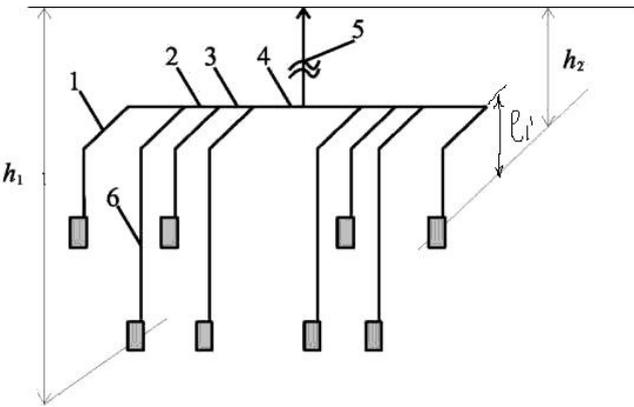
9. Определяют суммарные фактические гидравлические потери на всех участках, входящих в расчетную ветвь P_ϕ . При этом они не должны превышать располагаемого давления P_p .

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

- Рассчитать естественную вытяжную систему вентиляции ваннных комнат и санузлов двухэтажного жилого дома (см. рис. 1 согласно варианту).



Принять l_1' равным 0.5-0.6м

Вариант	Длина участка								
	h_1	h_2	h_3	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6
1	6.8	3.8	3.0	0.8	0.15	0.15	0.5	3.2	3.8
2	7.0	3.9	3.1	0.85	0.15	0.2	0.6	3.3	3.9
3	7.2	4.0	3.2	0.9	0.15	0.25	0.7	3.4	4.0
4	7.4	4.1	3.3	0.8	0.2	0.15	0.8	3.5	4.1
5	7.6	4.2	3.4	0.85	0.2	0.2	0.9	3.6	4.2
6	7.8	4.3	3.5	0.9	0.2	0.25	1.0	3.7	4.3
7	6.2	3.5	2.7	0.8	0.25	0.15	0.5	2.9	3.5
8	6.4	3.6	2.8	0.85	0.25	0.2	0.6	3.0	3.6
9	6.6	3.7	2.9	0.9	0.25	0.25	0.7	3.1	3.7
10	6.8	3.8	3.0	0.8	0.15	0.15	0.8	3.2	3.8
11	7.0	3.9	3.1	0.85	0.15	0.2	0.9	3.3	3.9
12	7.2	4.0	3.2	0.9	0.15	0.25	1.0	3.4	4.0
13	7.4	4.1	3.3	0.8	0.2	0.15	0.5	3.5	4.1
14	7.6	4.2	3.4	0.85	0.2	0.2	0.6	3.6	4.2
15	7.8	4.3	3.5	0.9	0.2	0.25	0.7	3.7	4.3
16	6.2	3.5	2.7	0.8	0.25	0.15	0.8	2.9	3.5
17	6.6	3.7	2.9	0.85	0.25	0.2	0.9	3.1	3.7
18	7.0	3.9	3.1	0.9	0.25	0.25	1.0	3.3	3.9
19	7.4	4.1	3.3	0.85	0.2	0.2	0.8	3.5	4.1
20	6.8	3.8	3.0	0.8	0.15	0.15	0.5	3.2	3.8

Расчет систем воздухообмена : расчет канальной

ВЕНТИЛЯЦИИ

2. Воздуховодами служат каналы, располагаемые в толще кирпичной стены. Каналы на чердаке объединяются шлакоалебастровыми коробами.

3. По нормам воздухообмен (вытяжка) составляет: из ванной комнаты 25 м³/ч, из санузла - 25 м³/ч. Приток воздуха неорганизованный (за счет не плотностей в ограждениях здания). Вытяжка воздуха производится из верхней зоны помещений на высоте 0,5 м от потолка.

4. Расчетная внутренняя температура $t_{вн} = 18$ °С.

5. Расчетные длины участков 1-8 по рис. 1: $l_1 = 0,8$ м; $l_2 = 0,2$ м; $l_3 = 0,15$ м; $l_4 = 0,8$ м; $l_5 = 3,5$ м; $l_6 = 4,1$ м.

Порядок расчета

При определении располагаемого естественного давления вытяжной вентиляции жилых и общественных зданий в качестве расчетной наружной температуры принимается температура наружного воздуха $t_{н} = +5$ °С.

1. Определяем плотности воздуха по формуле

$$\rho = 353 / (273 + t) \quad (1)$$

$$\rho_{в (+18)} = 353 / (273 + 18)$$

$$\rho_{в (+18)} = 1,213 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{н (+5)} = 353 / (273 + 5)$$

$$\rho_{н (+5)} = 1,27 \text{ кг/м}^3$$

2. Определяем главную расчетную ветвь, это ветвь, у которой будет наименьшее.

Находим располагаемые и удельные давления в ветви через канал первого и второго этажей по формулам (2) и

(3):

$$R_{y, i} = \frac{P_{гр}}{\sum l}, \quad (2)$$

$$\Delta P = h (\rho_{н} - \rho_{в}) 9,81 \quad (3)$$

$$\Delta P_1 = 7,3 (1,27 - 1,213) 9,81 = 4,08 \text{ Па.}$$

$$\Delta P_{уд1} = 4,08 / 8,75 = 0,466 \text{ Па/м,}$$

$$\text{где } \sum_{1 \text{ эт}} l_{1 \text{ эт}} = l_6 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 = 4,1 + 0,2 + 0,15 + 0,8 + 3,5 = 8,75 \text{ м}$$

$$\Delta P_2 = 4,1 (1,27 - 1,213) 9,81 = 2,29 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{уд2} = 2,29 / 5,45 = 0,420 \text{ Па/м}$$

$$\text{где } \sum_{2 \text{ эт}} l_{2 \text{ эт}} = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 = 0,8 + 0,2 + 0,15 + 0,8 + 3,5 = 5,45 \text{ м}$$

Так как $P_{уд2} < P_{уд1}$ ($0,420 < 0,466$), то расчетной будет ветвь, идущая через канал второго этажа (при наименьшем удельном располагаемом давлении)

Расчет систем воздухообмена : расчет канальной

ВЕНТИЛЯЦИИ

3. Определим потери давления на участках. Для участка 1 определим предварительно сечение канала по рекомендуемой скорости воздуха для горизонтальных и вертикальных каналов от 0,5 до 1,0 м/с по формуле (4):

$$F_1' = L / (3600 v_p) \quad (4)$$
$$F_1' = 25 / (3600 \cdot 1) = 0,007 \text{ м}^2$$

По таблице 1 по найденному значению F_1' находим стандартное сечение кирпичного канала $F = 0,14 \cdot 0,14 = 0,0196 \text{ м}^2$.

4. Действительная скорость воздуха в канале по формуле (5):

$$v_{\phi 1} = L / (3600 F) \quad (5)$$
$$v_{\phi 1} = 25 / (3600 \cdot 0,0196) = 0,354 \text{ м/с}$$

5. Определим эквивалентный диаметр по формуле (6):

$$d_3 = 2ab / (a + b) \quad (6)$$
$$d_{31} = 2 \cdot 0,14 \cdot 0,14 / (0,14 + 0,14) = 0,14 \text{ м.}$$

6. Проведем расчет потерь давления на трение по длине канала с учетом его шероховатости. Для этого формулы (7) - (10) преобразуем к виду, Па, (формула 12)

Потери давления на трение, Па,

$$\Delta P_{\text{тр}} = R l n, \quad (7)$$

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

Удельные потери давления на трение, Па/м

$$R = (\lambda_r / d) \cdot P_d \quad (8)$$

где λ_r – коэффициент гидравлического сопротивления трению для гидравлически гладкого канала; d_3 – эквивалентный (гидравлический) диаметр воздуховода, м; P_d – динамическое давление, Па.

Коэффициент гидравлического сопротивления трению для гидравлически гладкого канала, при турбулентном режиме течения, рассчитывается по закону Блазиуса:

$$\lambda_r = 0,3164 / \text{Re}^{0,25} \quad (9)$$

где Re – критерий Рейнольдса.

Расчет систем воздухообмена : расчет канальной

ВЕНТИЛЯЦИИ

Критерий Рейнольдса:

$$Re = v^2 d / \nu \quad (10)$$

где v – скорость движения воздуха в воздуховоде, м/с; ν – кинематическая вязкость воздуха, м²/с.

Динамическое давление, Па,

$$P_d = (\rho \cdot v^2) / 2 \quad (11)$$

$$\Delta P = R \ln = (\lambda_r / d) \rho_v (v_1^2 / 2) l_1 n_1 \quad (12)$$

Сначала определим число Рейнольдса при кинематической вязкости воздуха $\nu(+18)^\circ\text{C} = 1,5 \cdot 10^{-5}$ м²/с по формуле (11):

$$Re = (0,354 \cdot 0,14) / 1,5 \cdot 10^{-5} = 3304 > 2300$$

т. е., имеем турбулентный режим течения воздуха в канале.

Коэффициент гидравлического трения по формуле (9) для гидравлически гладкого канала при турбулентном режиме течения

$$\lambda_r = 0,3164 / (3304)^{0,25} = 0,0417$$

Коэффициент гидравлического трения по формуле (13) с учетом шероховатости канала

$$\lambda_{ш} = 0,11 (k_s / d + 68 / Re) \quad (13)$$

$$\lambda_{ш} = 0,11 (4 / 140 + 68 / 3304) = 0,0518$$

где $k_s = 4$ мм - коэффициент, учитывающий шероховатость кирпичного канала (таблица 2).

Коэффициент шероховатости по формуле (14)

$$n = \lambda_{ш} / \lambda_r \quad n = 0,0518 / 0,0417 = 1,24 \quad (14)$$

$$\Delta P = (0,0417 / 0,14) \cdot 1,213 (0,354^2 / 2) \cdot 0,8 \cdot 1,24 = 0,0225 \text{ Па.}$$

7. Определим коэффициенты местных сопротивлений на участке 1 по приложению:

-жалюзийная решетка (первое боковое отверстие) $\xi = 3,5$,

-два колена под углом 90° $\xi = 1,2 \cdot 2 = 2,4$,

-тройник на проход $\xi = 1$ ($F_0 / F_n = F_6 / F_i = 0,02 / 0,02 = 1$, $Q_0 / Q_c = Q_6 / Q_2 = 25 / 50 = 0,5$).

Таким образом, $\sum \xi_1 = 3,5 + 2,4 + 1 = 6,9$.

Расчет систем воздухообмена : расчет канальной вентиляции

8. Определим потери давления на местных сопротивлениях по формуле (14):

$$Z = \sum \xi \left(\rho_{\text{в}} \cdot v_1^2 / 2 \right) = \sum \xi P_{\text{д}} \quad (14)$$

$$Z = 6,9 \left(1,213(0,354^2) / 2 \right) = 0,525 \text{ Па}$$

9. Определим суммарные потери давления на участке

$$P = 0,023 + 0,525 = 0,548 \text{ Па.}$$

Потери давления на остальных участках находятся аналогично. Результаты расчета заносятся в табл. 2.2.

Коэффициенты местных сопротивлений на участках приведены в табл. 5

Участок	Местное сопротивление на участке	ξ
2	Тройник на проход ($F_0/F_n = F_0/F_2 = 0,14^2/0,15^2 = 0,87$, $L_0/L_c = L_0/L_3 = 25/75 = 0,33$)	0,55
3	Тройник на проход $F_0/F_{,,} = F_0/F_3 = 0,14^2/0,15^2 * 0,2 = 0,65$, $L_0/L_c = L_0/L_4 = 25/100 = 0,25$)	0,5
4	Тройник на проход $F_0/F_{,,} = F_0/F_4 = 0,2^2/0,2^2 = 1$, $L_0/L_c = L_0/L_5 = 100/200 = 0,5$)	1,0
5	Вытяжная шахта с зонтом квадратного сечения	1,3
6	Жалюзийная решетка (первое боковое отверстие) $E = 3,5$ Колено под углом 90° $E = 1,2$ Тройник на ответвление $E = 1,1$ ($F_0/F_n = F_6/F_1 = (0,14 \times 0,14) / (0,14 \times 0,14) = 1$, $L_0/L_c = L_6/L_2 = 25/50 = 0,5$)	$\sum \xi = 3,5 + 1,2 + 1,1 = 5,8$

Расчет систем воздухообмена : расчет канальной вентиляции

Таблица 5

Аэродинамический расчет воздуховодов естественной системы вентиляции

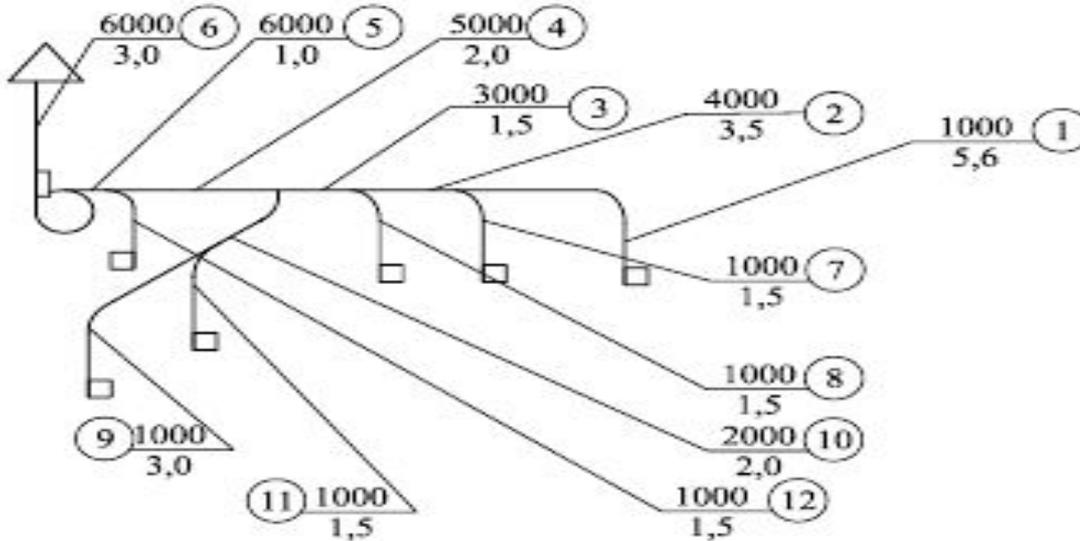
№ Уч.	Расход воздуха L , м ³ /ч	Длина участка, м	Скорость воздуха u , м/с	Площадь поперечного сечения F , м ²	Размеры сечений $a \times b$, мм	Эквивалентный диаметр, $d \text{ э}$	Число Рейнольдса	Коэффициент гидравлического трения λ_r	Удельные потери давления на трение R Па	Коэффициент шероховатости n	Потери давления на трение с учетом шероховатости RIn , Па	Сумма коэффициентов сопротивления $\Sigma \xi$	Потери давления в местных сопротивлениях Z , Па	Суммарная потеря давления на участке $RIn+Z$, Па
Главная расчетная ветвь (ветвь через канал второго этажа)														
1	25	0,8	0,354	0,02	140x140	140	3307	0,0417	0,0227	1,24	0,0225	6,9	0,5253	0,5478
2	50	0,2	0,617	0,0225	150x150	150	6170	0,0357	0,0549	1,11	0,0121	0,55	0,1257	0,1378
3	75	0,15	0,694	0,030	200x150	171	7937	0,0335	0,0572	1,124	0,0096	0,5	0,1447	0,1543
4	100	0,8	0,694	0,040	200x200	200	9259	0,0323	0,0472	1,124	0,0424	1	0,2889	0,3113
5	200	3,5	0,71	0,0784	250x250	237	15605	0,0283	0,0322	1,13	0,2177	1,3	0,3959	0,834
5	200	3,5	1,11	0,0625	200x250	222	14815	0,0283	0,0552	1,16	0,179	1,3	0,6163	1,055
Итого: $P_{\phi} = 0,5478 + 0,1378 + 0,1543 + 0,3113 + 0,834 = 2,0052$ Па														
$P_p = 2,29$ Па														
Невязка: $(P_p - P_{\phi}) / P_p = (2,29 - 2,0052) / 2,29 = 12,44\%$ 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 200x250.														
Итого: $P_{\phi} = 2,2064$ Па $P_p = 2,29$ Па Невязка: 3,6 %														
Ответвление														
6	25	4.1	0,3543	0,02	140x140	140	3306,88	0,0417	0,0226	1,124	0,085	5,8	0,4416	0,5269
Невязка в точке пересечения участков 1 и 6: $(\Delta P_{\text{маг}} - \Delta P_{\text{отв}}) / \Delta P_{\text{маг}} = (0,5478 - 0,5269) / 0,5478 = 3,81\% < 10\%$														

Аэродинамический расчет систем вентиляции с принудительным побуждением движения воздуха

В системах принудительной вентиляции общее сопротивление значительно превышает гравитационное давление и характеризует то давление, которое должен развивать вентилятор.

Расчет выполняют в два этапа:

1. Вначале производят расчет участков основного направления по методу удельных потерь давления, как и расчет естественной вентиляции. Последовательно от конца сети к вентилятору или вытяжной шахте нумеруют участки основного расчетного направления, затем все основные с дальнего ответвления, на схемах указывают номера участков, их длины и расходы воздуха
2. Производится расчет и увязка всех остальных участков системы.



Металлические воздуховоды – фасонные. Наиболее предпочтительные – круглые. На основании расчета общего сопротивления и соответствующих потерь давления в основной расчетной цепи, а также расходу воздуха подбирается вентилятор по каталогам или справочной литературе.

Аэродинамический расчет систем вентиляции с принудительным побуждением движения воздуха

1. Определение нагрузки отдельных расчетных участков. Систему разбивают на отдельные участки и определяют расход воздуха на каждом из них. Расходы определяют суммированием расходов на отдельных ответвлениях начиная с периферийных участков. Значения расходов, длину каждого из участков наносят на аксонометрическую схему.

2. Выбор основного направления. Выявляют наиболее протяженную цепочку последовательно расположенных расчетных участков. Фиксируют оборудование и устройства, в которых происходят потери давления: жалюзийные решетки, калориферы, фильтры и пр.

3. Нумерация участков основного расчетного пути. Участки основного направления нумеруют начиная с участка с меньшим расходом. Расход и длину каждого участка основного направления заносят в таблицу аэродинамического расчета.

4. Определение размеров сечения расчетных участков магистрали. Площадь поперечного сечения расчетного участка f_p , m^2 , определяют по формуле

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

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

Исходя из расчетной площади канала с учетом конструктивных соображений, принимаем стандартные размеры сечения каналов (воздуховодов) по прил. 6–9.

5. Определение фактической скорости. Фактическую скорость определяют по формуле

$$v_f = \frac{L}{3600F_{ct}},$$

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

6. Определение потерь давления на трение.

Зная d и v на участке, находим величину удельных потерь давления на трение R и динамическое давление P_d по прил. 12:

$$\Delta P_{тр} = Rln,$$

7. Определение потерь давления в местных сопротивлениях.

$$z = \sum \zeta_j \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}.$$

8. Определение потерь давления на расчетном (i -м) участке производится по формуле (8.9)

9. Определение потерь давления в системе.

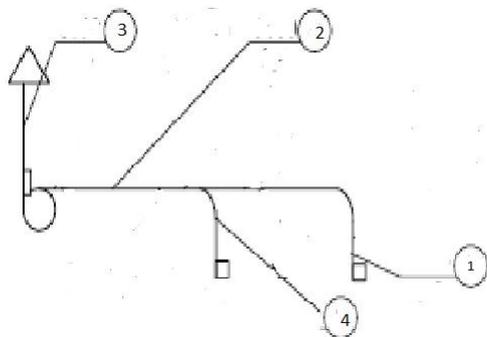
При невозможности увязки потерь давления по ответвлениям воздухопроводов в пределах 10–15 % следует устанавливать диафрагмы. Диафрагма (металлическая пластина с отверстием) – местное сопротивление, на котором гасится избыточное давление. Коэффициент местного сопротивления диафрагмы определяется по формуле

$$\xi_{\text{диафр}} = \Delta P_{\text{узел}} / P_d = (\Delta P_{\text{расч}} - \Delta P_{\text{отв}}) / P_d,$$

где P_d – динамическое давление на участке, на котором устанавливается диафрагма, Па; $P_{\text{расч}}$ – располагаемые потери давления на ответвлении, Па; $P_{\text{отв}}$ – потери давления на увязываемом ответвлении, Па.

Аэродинамический расчет систем вентиляции с принудительным побуждением движения воздуха

Вариант	L_1	L_2	L_3	L_4	l_1	l_2	l_3	l_4
	1	2000	6000	6000	4000	5,0	2,0	4,0
2	1500	5700	5700	4200	5,2	2,5	3,5	1,8
3	1000	5500	5500	4500	5,4	3,0	3,0	1,7
4	1200	5000	5000	4800	6,8	2,5	2,5	1,6
5	1400	5400	5400	4000	6,6	2,0	2,0	1,5
6	1600	5800	5800	4200	6,4	3,0	4,0	1,4
7	1800	6300	6300	4500	6,2	2,5	3,5	1,3
8	2000	6800	6800	4800	6,0	2,0	3,0	1,2
9	1000	5000	5000	4000	5,8	3,0	2,5	1,3
10	1200	5400	5400	4200	5,6	2,5	2,0	1,4
11	1400	5900	5900	4500	5,0	2,0	4,0	1,5
12	1600	6400	6400	4800	5,2	3,0	3,5	1,6
13	1800	5800	5800	4000	5,4	2,5	3,0	1,9
14	2000	6200	6200	4200	6,8	2,0	2,5	1,8
15	1000	5500	5500	4500	6,6	3,0	2,0	1,7
16	1200	6000	6000	4800	6,4	2,5	4,0	1,6
17	1400	5400	5400	4000	6,2	2,0	3,5	1,5
18	1600	5800	5800	4200	6,0	3,0	3,0	1,4
19	1800	6300	6300	4500	5,8	2,5	2,5	1,3
20	2000	6800	6800	4800	5,6	2,0	2,0	1,2



Скорость движения воздуха, м/с:

В системах механической (принудительной) вентиляции

- для участка с жалюзийной решеткой – 2–5 м/с;
- для участка с вентилятором – 6–9 м/с;
- для магистральных воздуховодов производственных зданий – до 9 м/с;
- для ответвлений воздуховодов производственных зданий – до 6 м/с.

Аэродинамический расчет систем вентиляции с принудительным побуждением движения

Вентиляторы ^{1а}

Вентиляторы по праву считаются сердцем любой системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Именно они заботятся о том, чтобы кондиционируемые помещения получали запроектированный для них расход свежего воздуха.

Вентиляторы при этом выполняют две важнейшие задачи.

Задачи вентиляторов

- компенсация потерь давлений (Δp), возникающих при распространении воздуха в системе, и
- подача необходимых объемных расходов воздуха (V)

Связь между разностью давлений и расходом определяется для каждого вентилятора на испытательном стенде и графически отображается в диаграмме (диаграмме вентилятора). Эта рабочая документация используется затем при выборе подходящего устройства.

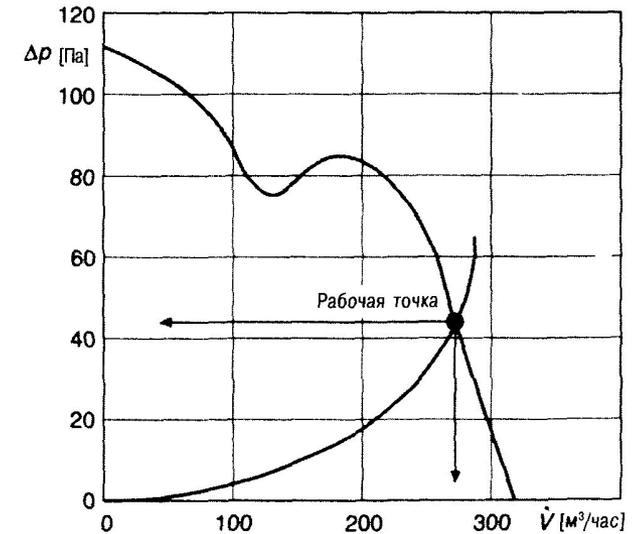
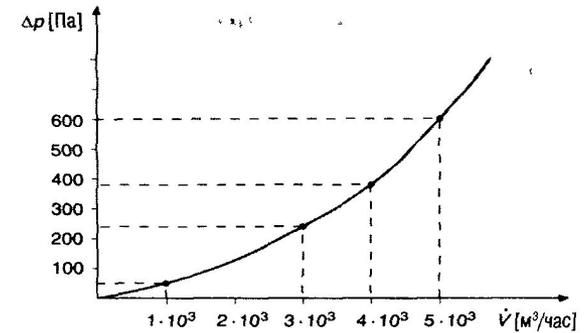
В техническом отношении различают два основных типа исполнения вентиляторов:

- осевые вентиляторы и
- радиальные вентиляторы.

Оба исполнения рассчитаны на разные направления подачи воздуха, так что выбор той или иной конструкции определяется в основном конкретно поставленной задачей.

Для правильного выбора вентилятора необходимо найти на диаграмме вентилятора в координатах (Δp , V) так называемую «рабочую точку», выражающую точное место определения его параметров функционирования совместно со всей сетью распределения воздуха, обеспечивающих наиболее благоприятное взаимодействие вентилятора со всей системой.

Характеристика установки.



Рабочая точка вентилятора

Аэродинамический расчет систем вентиляции с принудительным побуждением движения

Режим работы вентилятора при определенной подаче L , м³/ч, характеризуется величинами полного P_v , Па, и статистического P_{sv} , Па, давлений, потребляемой мощности N , кВт, полного η_s и статического $\eta_{ст}$ КПД.

Потребляемая мощность N определяется крутящим моментом на валу вентилятора без учета механических потерь в передаче и подшипниках.

Полный КПД вентилятора представляет собой отношение полезной мощности N_n , кВт, к мощности на валу вентилятора N , кВт, и определяет его КПД (эффективность работы) при разных режимах:

$$\eta = \frac{N_n}{N} = \frac{P_v \cdot L}{1000 \cdot N}.$$

Подбор типоразмера вентилятора осуществляется по производительности L и оптимальному значению полного давления P . Вначале производится предварительный подбор по сводным графикам аэродинамических характеристик, затем окончательный — по графикам индивидуальных характеристик.

В

Аэродинамические характеристики вентиляторов составлены для стандартных условий и соответствуют работе вентиляторов на чистом воздухе с климатическими параметрами: температура $t = 20$ °С, влажность $\varphi = 50\%$, плотность $\rho = 1,2$ г/м³, барометрическое давление $P_6 = 0,101$ МПа.

Требуемую мощность на валу электродвигателя N , кВт, при перемещении чистого воздуха в стандартных условиях определяют по формуле

$$N = \frac{L \cdot P_{вр\ рас.}}{3600 \cdot 1020 \cdot \eta_v \cdot \eta_n},$$

где $P_{вр\ рас}$ — расчетное сопротивление сети;

η_v — КПД вентилятора в рабочей точке характеристики;

η_n — КПД передачи;

Установочная мощность электродвигателя, кВт:

$$N_y = K \cdot N,$$

где K — коэффициент запаса мощности

Аэродинамический расчет систем вентиляции с принудительным побуждением движения

Осевые вентиляторы

Отличительным признаком осевых вентиляторов является забор и выпуск воздуха в осевом направлении (рис. 8.29). Они способны подавать большие объемы воздуха, но не в состоянии создавать столь высокие давления, как радиальные вентиляторы.

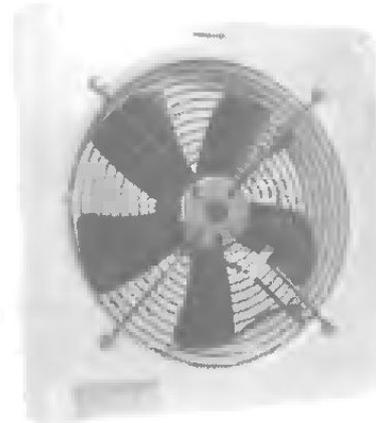
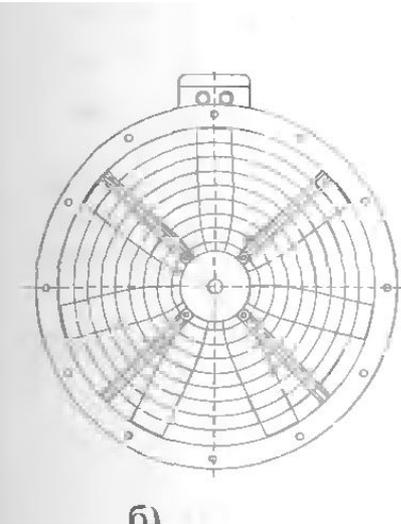
Осевые вентиляторы состоят преимущественно из корпуса, рабочего колеса, двигателя и могут классифицироваться по различным признакам.

Классификация по полному давлению

- вентиляторы низкого давления ($\Delta p \leq 300$ Па),
- вентиляторы среднего давления ($\Delta p \leq 1000$ Па),
- вентиляторы высокого давления ($\Delta p > 1000$ Па)

Классификация по способу применения

- настенные, потолочные вентиляторы,
- оконные вентиляторы,
- вентиляторы для монтажа в канале.



Аэродинамический расчет систем вентиляции с принудительным побуждением движения

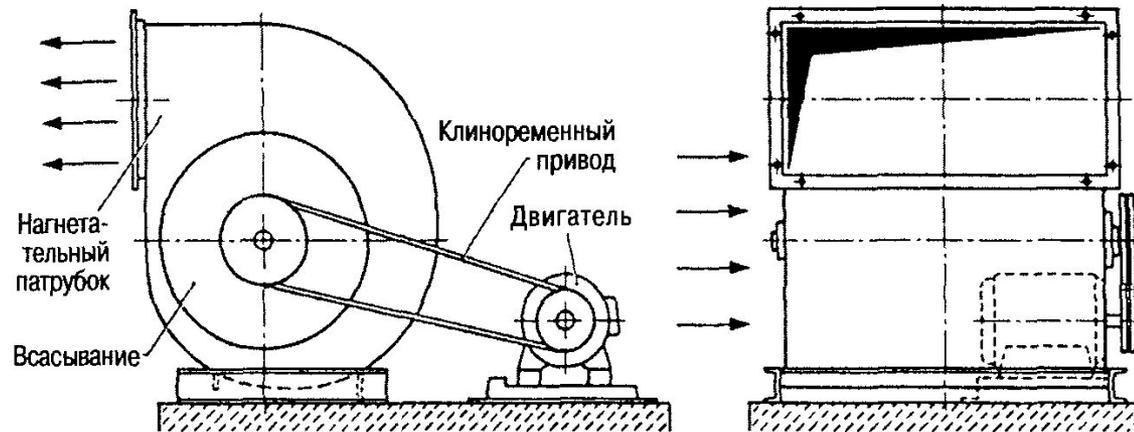
Радиальные вентиляторы

Классификация по возможной разности давлений

- вентилятор низкого давления ($\Delta p \leq 700$ Па),
- вентилятор среднего давления ($\Delta p \leq 3000$ Па),
- вентилятор высокого давления ($\Delta p \leq 7000$ Па)

Классификация по расположению лопаток

- барабанный вентилятор,
- вентилятор с лопатками, загнутыми назад,
- вентилятор с лопатками, загнутыми вперед.



Аэродинамический расчет систем вентиляции с принудительным побуждением движения воздуха