

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный
университет» (ННГАСУ)

Кафедра теплогазоснабжения
Кафедра отопления и вентиляции

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ И ГРАВИТАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
к курсовому и дипломному проектированию по дисциплине
«Вентиляция» для студентов направления подготовки 270800.62
«Строительство», профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Нижегород
ННГАСУ
2015

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный
университет» (ННГАСУ)

Кафедра теплогазоснабжения
Кафедра отопления и вентиляции

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ И ГРАВИТАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
к курсовому и дипломному проектированию по дисциплине
«Вентиляция» для студентов направления подготовки 270800.62
«Строительство», профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Нижегород
ННГАСУ
2015

УДК 697.922.2: 697.921.4: 697.921.2

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ И ГРАВИТАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

Учебно-методическое пособие к курсовому и дипломному проектированию по дисциплине «Вентиляция» для студентов направления подготовки 270800.62 «Строительство», профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Нижний Новгород, издание типографии «Деловая Полиграфия», 2015, С. 25.

В учебно-методическом пособии приведены теоретические сведения и практические рекомендации, необходимые для проведения аэродинамического расчета механических и гравитационных систем вентиляции в процессе курсового и дипломного проектирования.

Рис. 2, табл. 4, библиогр. назв. 5.

Составители: Кочев А.Г.,
 Сергиенко А.С.

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ)

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение.....	4
1. Основные теоретические сведения.....	4
2. Цели и задачи аэродинамического расчета.....	14
3. Последовательность аэродинамического расчета систем вентиляции с механическим побуждением движения воздуха.....	16
4. Аэродинамический расчет вытяжных систем вентиляции с естественным побуждением движения воздуха.....	23
Библиографический список.....	25

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ И ГРАВИТАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

ВВЕДЕНИЕ

Аэродинамика – раздел гидроаэромеханики, в котором изучаются законы движения воздуха и силы, возникающие при взаимодействии потока воздуха с поверхностью тел. Вопросы, связанные с вентиляцией, объединяются термином **промышленная аэродинамика**. Из-за большой сложности аэродинамических явлений, в частности турбулентного движения, в решении практических задач преобладает эмпирический подход. Инженерные методы, применяемые для аэродинамических расчетов, достаточно просты и надежны.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Аэродинамический расчет воздуховодов обычно производится к определению размеров их поперечного сечения, а также потерь давления на отдельных участках и в системе в целом. Это – прямая задача. Возможна и обратная задача – определить расходы воздуха при заданных размерах воздуховодов и известном перепаде давления в системе.

При аэродинамическом расчете воздуховодов систем вентиляции можно пренебречь сжимаемостью перемещаемого воздуха, так как максимально возможное изменение давления в системе меньше 5 % атмосферного. По этой же причине принято пользоваться значениями **избыточных давлений**, принимая за условный нуль атмосферное давление на уровне системы. Одна из особенностей вентиляционных систем – наличие участков, где избыточное давление меньше нуля.

При движении воздуха по воздуховоду в любом поперечном сечении потока различают три вида давления: статическое, динамическое и полное.

Статическое давление определяет потенциальную энергию 1 м^3 воздуха в рассматриваемом сечении. Статическому давлению $P_{\text{ст}}$, Па, равно давлению на стенки воздуховода.

Динамическое давление – это кинетическая энергия потока, отнесенная к 1 м^3 воздуха. При скорости движения воздуха в сечении v , м/с, динамическое давление $P_{\text{д}}$, Па, равно

$$P_{\text{д}} = \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \quad (1)$$

где ρ – плотность воздуха в воздуховоде, кг/м^3 .

Полное давление $P_{\text{п}}$, Па, равно сумме статического $P_{\text{ст}}$, Па, и динамического $P_{\text{д}}$, Па, давлений

$$P_{\text{п}} = P_{\text{ст}} + P_{\text{д}}. \quad (2)$$

Традиционно при расчете систем трубопроводов применяется термин **потери давления**; необходимо помнить, что в действительности речь идет о потере энергии потока. Единица потерь энергии, выраженных в удельных величинах (отнесенных к объему), совпадает с единицей давления. Например, в системе СИ единица давления паскаль (Па) соответствует Н/м^2 и, следовательно, $\text{Н} \cdot \text{м/м}^3$, то есть Дж/м^3 .

Рассмотрим движение воздуха на отрезке воздуховода между сечениями 1-1 и 2-2 (рис. 1).

Заданы длина отрезка l , площадь поперечного сечения f , периметр сечения Π и расход воздуха, проходящего по воздуховоду L , $\text{м}^3/\text{ч}$. Статическое давление в сечении 1-1 равно P_1 , в сечении 2-2 – $P_2 < P_1$.

На объем воздуха, заключенного в воздуховоде между рассматриваемыми сечениями, действует сила $(P_1 - P_2) \cdot f$, уравновешиваемая силой сопротивления трения воздуховода о стенки воздуховода.

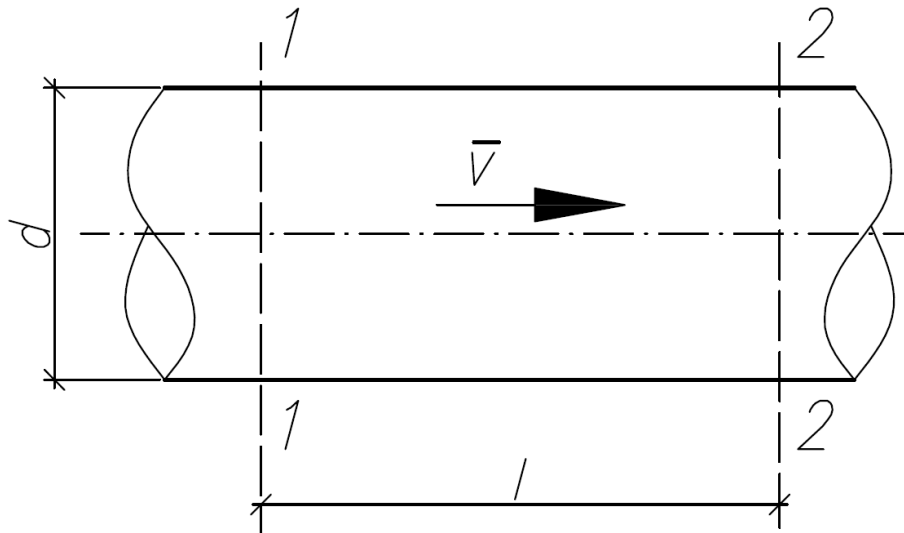


Рис. 1. Отрезок воздуховода длиной l и диаметром d (v – скорость движения воздуха)

Если обозначить касательное напряжение у поверхности стенки, возникающее при движении воздуха, τ_0 , то силу сопротивления можно определить так: $\tau_0 \cdot l \cdot \Pi$. Следовательно, для установившегося движения

$$(P_1 - P_2) \cdot f = \tau_0 \cdot l \cdot \Pi, \quad (3)$$

отсюда

$$\tau_0 = \frac{(P_1 - P_2) \cdot f}{l \cdot \Pi}. \quad (4)$$

Известно, что касательное напряжение пропорционально динамическому давлению перемещающейся среды

$$\tau_0 = \psi \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \quad (5)$$

где ψ – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом трения к формуле Вейсбаха.

Сопоставляя выражения (4) и (5), получим формулу Вейсбаха, широко применяемую в гидравлике

$$\Delta P_{\text{тр}} = P_1 - P_2 = \psi \cdot \frac{l \cdot \Pi}{f} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} . \quad (6)$$

Отношение f/Π для воздуховода круглого сечения равно $0,25 \cdot d$, тогда получаем формулу Дарси-Вейсбаха

$$\Delta P_{\text{тр}} = P_1 - P_2 = \psi \cdot 4 \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} . \quad (7)$$

Или

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} . \quad (8)$$

Последняя формула предложена Дарси, а коэффициент $\lambda_{\text{тр}}=4 \cdot \psi$ называют **коэффициентом сопротивления трения**. Формула Дарси для воздуховодов с произвольной формой поперечного сечения

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \cdot \frac{l \cdot \Pi}{4 \cdot f} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} . \quad (9)$$

Коэффициент сопротивления трения в общем случае является сложной величиной, зависящей от режима движения воздуха в воздуховоде и шероховатости стенок воздуховода

$$\lambda_{\text{тр}} = f \left(\text{Re}, \frac{K_{\text{э}}}{d} \right), \quad (10)$$

где Re – критерий Рейнольдса;

$K_{\text{э}}$ – абсолютная эквивалентная шероховатость материалов, применяемых для изготовления воздуховодов.

Абсолютная эквивалентная шероховатость материалов $K_{\text{э}}$, применяемых для изготовления воздуховодов, определяется по таблице 1.

Для определения коэффициента сопротивления трения предложен ряд зависимостей, учитывающих характер движения и шероховатость стенок. В настоящее время широкое распространение получила

формула, предложенная А.Д.Альтшулем, применяемая для области турбулентного движения потока

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,11 \cdot \left(\frac{68}{\text{Re}} + \frac{K_3}{d} \right)^{0,25} . \quad (11)$$

Для области ламинарного течения справедлива формула Блазиуса

$$\lambda_{\text{тр}} = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}} . \quad (12)$$

Таблица 1

Абсолютная эквивалентная шероховатость K_3 материалов, применяемых для изготовления воздухопроводов

Материал	K_3 , мм	Материал	K_3 , мм
Листовая сталь	0,1	Шлакоалебастровые плиты	1
Винипласт	0,1	Шлакобетонные плиты	1,5
Асбестоцементные плиты или трубы	0,11	Кирпич	4
Фанера	0,12	Штукатурка (по металлической сетке)	10

Формула (11) универсальна и дает достоверные результаты для всех областей турбулентного режима движения. Единицы измерения K_3 и d в формуле (11) принимают одинаковыми.

При инженерных расчетах потери давления на трение $\Delta P_{\text{тр}}$, Па, в воздуховоде длиной l , м, принято определять по выражению

$$\Delta P_{\text{тр}} = R \cdot l , \quad (13)$$

где R – потери давления на 1 м длины воздуховода, Па/м.

Значения R , Па/м, приведены в табличной форме в методических указаниях [5] и справочниках [2, 3]. Значения R , Па/м, приведены для круглых металлических воздухопроводов при атмосферном давлении 98 кПа (1 атмосфера) и температуре воздуха 20 °С.

При расчете воздуховодов с шероховатостью стенок, отличающейся от предусмотренной в таблицах ($K_s=0,1$ мм), следует делать поправку к табличному значению удельных потерь давления на трение

$$R_{ш} = R \cdot \beta_{ш}, \quad (14)$$

где R – табличное значение удельных потерь давления на трение, Па/м [2, 3, 5];

$\beta_{ш}$ – коэффициент учета шероховатости стенок, определяемый по таблице 2 в зависимости от K_s и скорости движения воздуха v , м/с.

Для расчета воздуховодов и каналов прямоугольного сечения пользуются таблицами и номограммами, составленными для круглых воздуховодов, но вводят при этом понятие **эквивалентного диаметра**, при котором потери давления на трение в круглом и прямоугольном воздуховодах равны.

В практике проектирования получили распространение три вида эквивалентных диаметров: по скорости – d_v , по расходу – d_L и по площади поперечного сечения – d_f .

Каждый из этих диаметров определенным образом связан с размерами поперечного сечения прямоугольного воздуховода a и b и для каждого имеется свой способ пользования расчетной таблицей или номограммой. Конечный результат (потери давления на трение в прямоугольном воздуховоде) не зависит от способа определения эквивалентного диаметра.

Эквивалентный по скорости диаметр d_v можно определить из условия, что удельные потери на трение в круглом R и прямоугольном $R_{пр}$ воздуховодах равны при $v=v_{пр}$.

Таблица 2

Поправочные коэффициенты $\beta_{ш}$ на потери давления на трение, учитывающие шероховатость материала воздуховодов $K_э$,

v, м/с	$\beta_{ш}$ при $K_э$, мм				v, м/с	$\beta_{ш}$ при $K_э$, мм			
	1	1,5	4	10		1	1,5	4	10
0,2	1,04	1,06	1,15	1,31	6,2	1,45	1,58	1,99	2,49
0,4	1,08	1,11	1,25	1,48	6,4	1,45	1,59	2	2,5
0,6	1,11	1,16	1,33	1,6	6,6	1,46	1,6	2,01	2,51
0,8	1,13	1,19	1,4	1,69	6,8	1,47	1,6	2,02	2,52
1	1,16	1,23	1,46	1,77	7	1,47	1,61	2,03	2,54
1,2	1,18	1,25	1,5	1,84	7,2	1,48	1,62	2,04	2,55
1,4	1,2	1,28	1,55	1,95	7,4	1,48	1,62	2,04	2,56
1,6	1,22	1,31	1,58	1,95	7,6	1,48	1,63	2,05	2,57
1,8	1,24	1,33	1,62	2	7,8	1,49	1,63	2,05	2,57
2	1,25	1,35	1,65	2,04	8	1,49	1,64	2,06	2,58
2,2	1,27	1,37	1,68	2,08	8,2	1,5	1,64	2,07	2,59
2,4	1,28	1,38	1,7	2,11	8,4	1,5	1,64	2,07	2,6
2,6	1,29	1,4	1,73	2,14	8,6	1,5	1,65	2,08	2,61
2,8	1,31	1,42	1,75	2,17	8,8	1,51	1,65	2,09	2,62
3	1,32	1,43	1,77	2,2	9	1,51	1,66	2,1	2,62
3,2	1,33	1,44	1,79	2,23	9,2	1,52	1,66	2,1	2,63
3,4	1,34	1,46	1,81	2,25	9,4	1,52	1,67	2,11	2,64
3,6	1,35	1,47	1,83	2,28	9,6	1,52	1,67	2,11	2,65
3,8	1,36	1,47	1,85	2,3	9,8	1,53	1,68	2,12	2,65
4	1,37	1,49	1,86	2,32	10	1,53	1,68	2,12	2,66
4,2	1,38	1,5	1,87	2,34	10,5	1,54	1,69	2,14	2,67
4,3	1,39	1,51	1,89	2,36	11	1,54	1,7	2,15	2,69
4,6	1,4	1,52	1,9	2,37	11,5	1,55	1,7	2,16	2,71
4,8	1,4	1,53	1,92	2,39	12	1,56	1,71	2,17	2,72
5	1,41	1,54	1,93	2,41	12,5	1,56	1,72	2,18	2,73
5,2	1,42	1,55	1,94	2,42	13	1,57	1,73	2,19	2,74
5,4	1,43	1,56	1,95	2,44	13,5	1,57	1,73	2,2	2,75
5,6	1,43	1,56	1,96	2,45	14	1,58	1,74	2,2	2,76
5,8	1,44	1,57	1,97	2,46	14,5	1,58	1,74	2,21	2,77
6	1,44	1,58	1,98	2,48	15	1,59	1,75	2,22	2,78

Потери на трение в прямоугольном воздуховоде по формуле (9) равны

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \cdot \frac{l \cdot 2 \cdot (a + b)}{4 \cdot a \cdot b} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (15)$$

Потери на трение в эквивалентном круглом воздуховоде по формуле (8) равны

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \cdot \frac{l}{d_v} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (16)$$

Приравняв выражения (15) и (16), получим

$$d_v = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b} \quad (17)$$

Чтобы найти значение $R_{\text{пр}}$ по таблице или номограмме, составленной для круглых воздуховодов, необходимо определить R при d_v и $v_{\text{пр}}$ (фактической скорости в прямоугольном воздуховоде), не принимая во внимание значение табличного расхода воздуха.

Эквивалентный по расходу диаметр d_L определяется из условия, что $R=R_{\text{пр}}$ при равенстве расходов в круглом и прямоугольном воздуховодах ($L=L_{\text{пр}}$).

Потери на трение в прямоугольном воздуховоде можно выразить через секундный расход воздуха $L_{\text{пр}}$, м³/с, по формуле

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \cdot \frac{l \cdot 2 \cdot (a + b)}{4 \cdot a \cdot b} \cdot \frac{\rho \cdot L_{\text{пр}}^2}{(a \cdot b)^2 \cdot 2} \quad (18)$$

Потери на трение в эквивалентном круглом воздуховоде при секундном расходе L , м³/с, можно определить по формуле (8), выразив скорость через расход и диаметр

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \cdot \frac{1}{d_L} \cdot \frac{\rho \cdot L^2}{(\pi \cdot d_L^2 / 4)^2 \cdot 2} \quad (19)$$

Приравняв выражения (18) и (19), получим

$$d_L^5 = \frac{32 \cdot a^3 \cdot b^3}{\pi^2 \cdot (a + b)}, \quad (20)$$

или

$$d_L = 1,265 \cdot \sqrt[5]{\frac{a^3 \cdot b^3}{a + b}}. \quad (21)$$

Чтобы найти значение $R_{пр}$ по таблице или по номограмме, составленной для круглых воздуховодов, необходимо определить R при d_L и L (фактическом расходе в прямоугольном воздуховоде) не принимая во внимание фактическую скорость воздуха.

В некоторых руководствах по аэродинамическому расчету воздуховодов применяется **диаметр, эквивалентный по площади поперечного сечения d_f** . Значение d_f определяется из условия равенства площадей сечения $a \times b = \pi \cdot d_f^2 / 4$

$$d_f = 2 \cdot \sqrt{\frac{a \cdot b}{\pi}}. \quad (22)$$

Значение $R_{пр}$ в этом случае определяют по формуле

$$R_{пр} = R \cdot m, \quad (23)$$

где R – табличное значение, принятое при d_f и v или L (по фактической скорости или расходу);

m – коэффициент учета формы воздуховода, определяемый по дополнительной таблице или графику.

Потери давления в местных сопротивлениях. В местах поворота воздуховода, при делении и слиянии потоков в тройниках, при изменении размеров воздуховода (расширение в диффузоре, сужение в конфузоре), при входе в воздуховод или канал и выходе из них, а также в местах установки регулирующих устройств (дросселей, шиберов, диафрагм) наблюдается падение давления в потоке перемещающегося воздуха. В указанных местах происходит перестройка полей скоростей воз-

духа в воздуховоде и образование вихревых зон у стенок, что сопровождается потерей энергии потока. Нарушение установившегося поля скоростей начинается на некотором расстоянии до местного сопротивления, а выравнивание потока происходит на некотором расстоянии (обычно несколько калибров, в качестве которых принимается диаметр воздуховода) после него. На всем участке возмущенного потока происходят потери энергии на вязкое трение и увеличиваются потери на трение о стенки. Однако условно для удобства проведения аэродинамического расчета потери давления в местных сопротивлениях считают сосредоточенными.

Потери давления в местном сопротивлении $\Delta P_{\text{мс}}$, Па, пропорциональны динамическому давлению воздуха в воздуховоде

$$\Delta P_{\text{мс}} = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}. \quad (24)$$

Коэффициент ζ (дзета) носит название **коэффициента местного сопротивления** и определяет потери давления в местном сопротивлении в долях динамического давления. Значения ζ для различных местных сопротивлений изменяются в широких пределах – обычно $0 < \zeta < 10$. При небольших скоростях движения воздуха и значительных потерях давления, например в диафрагме, коэффициент ζ может быть очень высоким, порядка несколько сотен. В отдельных случаях в ответвлениях тройников возможен отрицательный коэффициент ζ . Это означает увеличение удельной энергии потока ответвления вследствие эжекции его основным потоком. Таким образом, при расчете изменения давления следует учитывать знак ζ .

При определении потерь давления необходимо знать, к какой скорости относить коэффициент ζ . Обычно это наибольшая скорость в суженном сечении участка или скорость в сечении участка с меньшим

расходом (в тройнике). В таблицах коэффициентов местных сопротивлений указывается, к какой скорости относится ζ .

Потери давления в местных сопротивлениях участка, обозначаемые Z , Па, равны

$$Z = \Sigma \zeta \cdot P_d, \quad (25)$$

где $\Sigma \zeta$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке;

P_d – динамическое давление, Па, определяемое по формуле (1).

Значения коэффициентов местных сопротивлений для некоторых фасонных частей воздухопроводов приведены в [5]. Уточненные значения приведенных коэффициентов местных сопротивлений, а также величины других коэффициентов местных сопротивлений рекомендуется принимать согласно данным главы 22 [2] или главы 12 [3].

Общие потери давления $\Delta P_{\text{уч}}$, Па, на участке воздухопровода длиной l , м, при наличии местных сопротивлений

$$\Delta P_{\text{уч}} = R \cdot \beta_{\text{ш}} \cdot l + Z, \quad (26)$$

где $R \cdot \beta_{\text{ш}}$ – потери давления на 1 м длины воздухопровода, Па/м;

Z – потери давления в местных сопротивлениях участка, Па.

Для воздухопроводов из листовой стали или винипласта (см. таблицу 1, $K_s=0,1$ мм, $\beta_{\text{ш}}=1,0$) формула (26) приобретает вид:

$$\Delta P_{\text{уч}} = R \cdot l + Z. \quad (27)$$

2. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА

Аэродинамический расчет систем вентиляции выполняют после расчета воздухообмена, а также решения трассировки воздухопроводов и каналов. Для проведения аэродинамического расчета вычерчивают ак-

сонометрическую схему системы вентиляции, на которой выделяют фасонные части воздуховодов. По аксонометрической схеме и планам строительной части проекта определяют протяженность отдельных ветвей системы.

Различают прямую и обратную задачи аэродинамического расчета вентиляционных систем. Цель аэродинамического расчета зависит от типа задачи: для прямой – это определение размеров сечений всех участков системы при заданном расходе воздуха через них; для обратной – это определение расходов воздуха при заданных размерах сечений всех участков.

При аэродинамическом расчете вентиляционных систем схему разбивают на отдельные расчетные участки. Расчетный участок характеризуется постоянным расходом воздуха. Границами между отдельными участками схемы служат тройники. Потери давления на участке зависят от скорости движения воздуха и складываются из потерь на трение и потерь в местных сопротивлениях.

Так же, как при гидравлическом расчете системы отопления, в системе вентиляции намечается основное расчетное направление – магистраль, представляющая собой цепочку последовательно расположенных участков от начала системы до наиболее удаленного ответвления. При наличии двух или более таких цепочек, одинаковых по протяженности, за магистральное направление принимается наиболее нагруженная (имеющая больший расход).

Потери давления в системе равны потерям давления по магистрали, слагающимся из потерь давления на всех последовательно расположенных участках, составляющих магистраль, и потерь давления в вентиляционном оборудовании (калориферы, фильтры и пр.).

3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ С МЕХАНИЧЕСКИМ ПОБУЖДЕНИЕМ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА

Аэродинамический расчет вентиляционной системы, состоящий из двух этапов: расчета участков основного направления – магистрали и увязки всех остальных участков системы, проводится в такой последовательности.

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 расхода и длины каждого участка наносят на аксонометрическую схему. Для этого от каждого участка воздуховода делается выноска с полкой, под которой пишется расход и длина участка (пример показан на рис. 2). Над полкой оставляется свободное место, на котором после проведения аэродинамического расчета проставляется сечение или диаметр воздуховода.

2. Выбор основного (магистрального) направления.

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

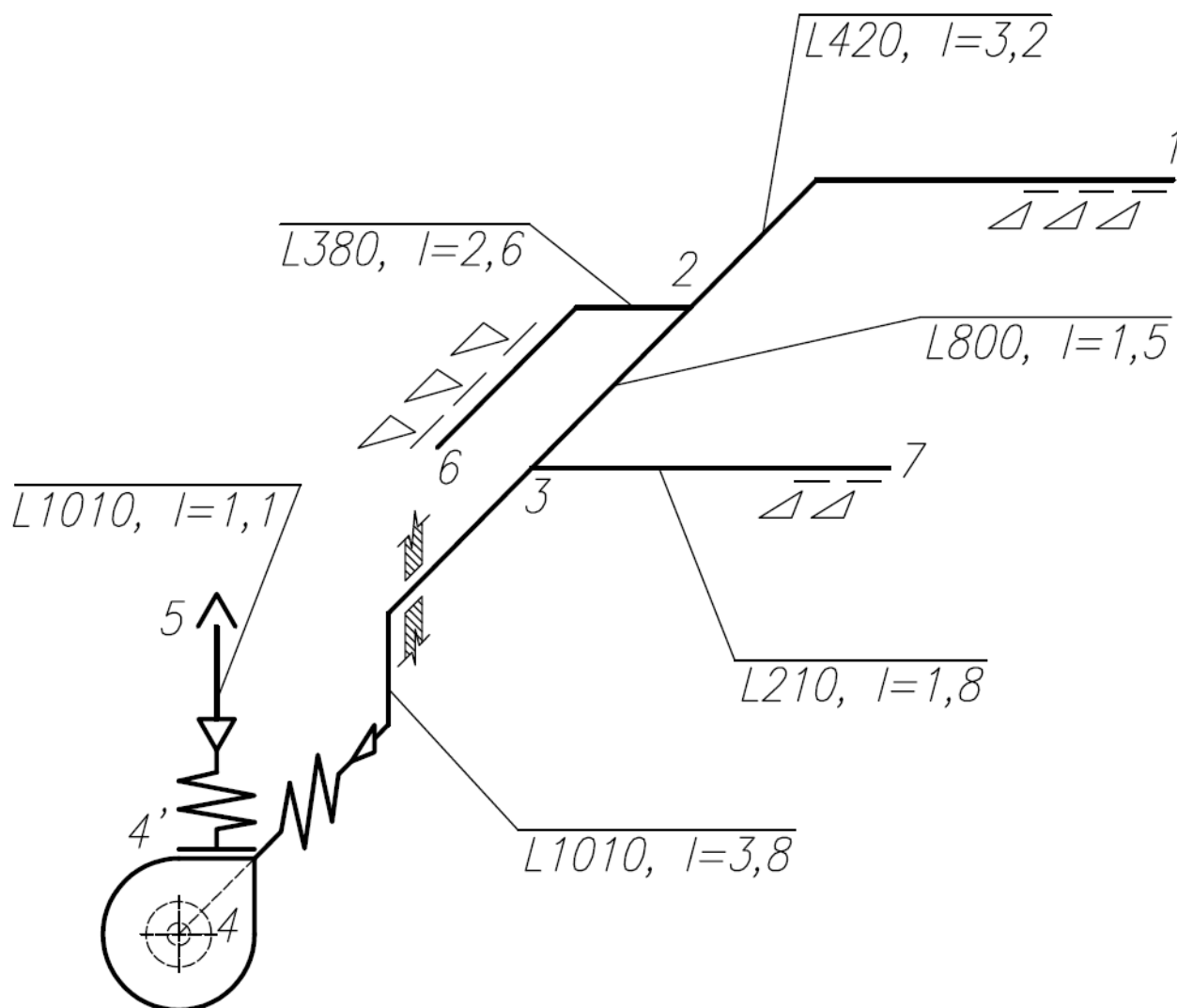


Рис. 2. Пример указания расхода на участке, $\text{м}^3/\text{ч}$ (цифра после буквы L), и длины участка, м (цифра после « $l=$ »)

3. Нумерация участков магистрали. Участки основного направления нумеруют арабскими цифрами, начиная с участка с меньшим расходом (см. рис. 2). Номер, расход и длину каждого участка основного (магистрального) направления заносят в графы 1, 2 и 4 таблицы аэродинамического расчета соответственно (см. таблицу 3).

Таблица аэродинамического расчета систем вентиляции

№ участка	L, м ³ /ч	F, м ²	l, м	a × b, мм × мм	d _v , мм	v, м/с	R, Па/м
1	2	3	4	5	6	7	8

Продолжение таблицы 3

β _ш	R·β _ш ·l, Па	Вид местного со- противления и ζ	Σζ	P _д , Па	Z, Па	R·β _ш ·l+Z, Па	Σ(R·β _ш ·l+Z), Па
9	10	11	12	13	14	15	16

4. Определение размеров сечения расчетных участков магистрали. Площадь поперечного сечения расчетного участка, м², определяют по формуле

$$F_p = \frac{L_p}{v_p}, \quad (28)$$

где L_p – расчетный расход воздуха на участке, м³/с;

v_p – рекомендуемая скорость движения воздуха на участке, м/с, принимаемая по табл. 4.

Рекомендуемые скорости движения воздуха на участках и в элементах
вентиляционных систем

Участки и элементы вентиляционных систем	Рекомендуемые скорости, м/с, при побуждении движения воздуха в системе		
	Естественном	Механическом	
		Общественные здания	Промышленные здания
Жалюзи воздухозаборные	0,5÷1	2÷6	4÷8
Приточные шахты	1÷2	2÷8	4÷12
Горизонтальные воздуховоды и сборные каналы	1÷1,5	2÷5	6÷12
Вертикальные каналы	1÷2,5	5÷8	6÷12
Приточные решетки у потолка	0,5÷1	1÷3	2÷6
Вытяжные решетки	0,5÷1,5	2÷4	2÷6
Вытяжные шахты	1,5÷2,5	3÷8	5÷12

По величине F_p подбирают стандартные размеры воздуховода или канала так, чтобы фактическая площадь поперечного сечения $F \approx F_p$. Величина F , m^2 , заносится в графу 3 таблицы 3.

Результатом этого расчета являются величины d или $a \times b$, мм, соответствующие принятой площади поперечного сечения, которые заносятся в графы 6 или 5 таблицы 3 соответственно. Для прямоугольного воздуховода, кроме того, определяют эквивалентный диаметр d_v , мм, который ставится в графе 6 таблицы 3.

5. Определение фактической скорости. Фактическую скорость v , м/с, определяют по формуле

$$v = \frac{L_p}{F}, \quad (29)$$

Значение v , м/с, заносится в графу 7 таблицы 3.

6. Определение потерь давления на трение. По номограммам или по таблицам определяют $R=f(v, d)$ и $\beta_{ш}$ в соответствии с ранее изложенными рекомендациями. При этом, определяя R по величинам v и d , расход воздуха в таблице или номограмме может отличаться от реального расхода на участке воздуховода.

Величину R , Па/м, заносят в графу 8 таблицы 3, а значение $\beta_{ш}$ заносят в графу 9 таблицы 3.

Для воздуховодов из листовой стали или винипласта (см. таблицу 1, $K_3=0,1$ мм) значение $\beta_{ш}=1,0$.

Произведение величин l , R и $\beta_{ш}$ заносят в графу 10 таблицы 3.

7. Определение динамического давления. Динамическое давление воздуха P_d , Па, определяется по номограммам или таблицам, указанным в пункте 6, в зависимости от скорости v , м/с, движения воздуха.

Величина P_d , Па, заносится в графу 13 таблицы 3.

8. Определение вида местных сопротивлений, их значений и потерь давления в них. В графе 11 таблицы 3 изображаются схематически все местные сопротивления с указанием около каждого изображения значения местного сопротивления ζ , которые определяются в соответствии с [5], главой 22 [2] или главой 12 [3].

Сумма значений коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma\zeta$ заносится в графу 12 таблицы 3.

Следует отметить, что на каждом участке следует учитывать и складывать значения только последовательно расположенных местных сопротивлений. Например, на участке 1-2 (см. рис. 2) учитываются следующие местные сопротивления: одна решетка, два отвода, тройник на проходе; на участке 6-2 (см. рис. 2) – одна решетка, два отвода, тройник на повороте; на участке 2-3 (см. рис. 2) – тройник на проходе. Поскольку, например, на участке 1-2 (см. рис. 2) три вытяжные решетки распо-

ложены параллельно, то при расчете на этом участке значений и количества местных сопротивлений учитывается сопротивление только одной решетки. Указанное правило справедливо и для других участков.

Местные сопротивления, являющиеся границами участков (в нашем случае границами участков являются тройники), относят к участку с меньшим расходом.

По формуле (25) определяют значение потерь давления в местных сопротивлениях Z , Па, после чего значение Z , Па, заносят в графу 14 таблицы 3.

9. Определение потерь давления на расчетном участке. Потери давления на i -м участке складываются из суммы значений граф 10 и 14 (см. таблицу 3), после чего величина $(R \cdot \beta_{ш} \cdot l + Z)$, Па, заносится в графу 15 таблицы 3.

10. Определение потерь давления в системе. Общие потери давления в системе определяются суммой потерь давления на отдельных последовательно соединенных участках.

В графе 16 таблицы 3 записываются значения потерь давления на участках с нарастающим итогом по каждому из направлений.

Общие потери давления в системе определяются по соотношению

$$\Delta P_{п} = \sum_{i=1}^n (R \cdot \beta_{ш} \cdot l + Z)_i + \Sigma \Delta P_{об}, \quad (30)$$

где 1- n – номера участков основного (магистрального) направления;

$\Delta P_{об}$ – потери давления в оборудовании и других устройствах вентиляционной системы, Па.

Для воздуховодов из листовой стали или винипласта (см. таблицу 1, $K_3=0,1$ мм, $\beta_{ш}=1,0$) формула (30) приобретает вид

$$\Delta P_{\Pi} = \sum_{i=1}^n (R \cdot l + Z)_i + \Sigma \Delta P_{об}. \quad (31)$$

При расчете вентиляционных систем для многоэтажных зданий или систем, обслуживающих несколько помещений, в которых поддерживается разное давление, необходимо учитывать избыточный подпор или разрежение в обслуживаемом помещении. Значение подпора или разрежения ($\pm \Delta P_{пом}$, Па) определяется при расчете воздушного режима здания или добавляется к общим потерям давления. Тогда

$$\Delta P_{\Pi} = \sum_{i=1}^n (R \cdot \beta_{ш} \cdot l + Z)_i + \Sigma \Delta P_{об} \pm \Delta P_{пом}. \quad (32)$$

Для воздуховодов из листовой стали или винипласта (см. таблицу 1, $K_3=0,1$ мм, $\beta_{ш}=1,0$) формула (32) имеет вид

$$\Delta P_{\Pi} = \sum_{i=1}^n (R \cdot l + Z)_i + \Sigma \Delta P_{об} \pm \Delta P_{пом}. \quad (33)$$

11. Увязку всех остальных участков системы производят, начиная с самых протяженных ответвлений. Методика увязки ответвлений аналогична расчету участков основного направления. Разница состоит лишь в том, что при увязке каждого ответвления известны потери в нем. Потери от точки разветвления до конца ответвления должны быть равны потерям от этой же точки до конца главной магистрали, то есть $(R \cdot \beta_{ш} \cdot l + Z)_{отв} = (R \cdot \beta_{ш} \cdot l + Z)_{маг}$.

Для расчета ответвлений применяется способ последовательного подбора. Размеры сечений ответвлений считаются подобранными, если относительная невязка потерь не превышает 10 %

$$\frac{(R \cdot \beta_{ш} \cdot l + Z)_{отв} - (R \cdot \beta_{ш} \cdot l + Z)_{маг}}{(R \cdot \beta_{ш} \cdot l + Z)_{маг}} \cdot 100 \leq 10\%. \quad (34)$$

Для воздуховодов из листовой стали или винипласта (см. таблицу 1, $K_3=0,1$ мм, $\beta_{ш}=1,0$) формула (34) имеет вид

$$\frac{(R \cdot l + Z)_{\text{отв}} - (R \cdot l + Z)_{\text{маг}}}{(R \cdot l + Z)_{\text{маг}}} \cdot 100 \leq 10\% . \quad (35)$$

В случае, если избыточные давления в помещениях, обслуживаемых концевыми участками главной магистрали и ответвления, разные, при увязке учитываются значения этих давлений

$$(R \cdot \beta_{\text{ш}} \cdot l + Z)_{\text{отв}} + \Delta P_{\text{пом.отв}} = (R \cdot \beta_{\text{ш}} \cdot l + Z)_{\text{маг}} + \Delta P_{\text{пом.маг}} . \quad (36)$$

Для воздуховодов из листовой стали или винипласта (см. таблицу 1, $K_3=0,1$ мм, $\beta_{\text{ш}}=1,0$) формула (36) приобретает вид

$$(R \cdot l + Z)_{\text{отв}} + \Delta P_{\text{пом.отв}} = (R \cdot l + Z)_{\text{маг}} + \Delta P_{\text{пом.маг}} . \quad (37)$$

Относительная невязка в этом случае также определяется с учетом этих давлений.

На схеме, пример которой показан на рис. 2, после проведения аэродинамического расчета проставляется сечение воздуховода или его диаметр над полкой выноски от каждого участка.

4. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВЫТЯЖНЫХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ С ЕСТЕСТВЕННЫМ ПОБУЖДЕНИЕМ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА

Аэродинамический расчет вытяжных систем вентиляции с естественным побуждением движения воздуха отличается малыми значениями рекомендуемых скоростей и заданным располагаемым давлением по каждому уровню. В этом случае основное расчетное направление должно проходить через наиболее удаленную ветвь системы, имеющую наименьшее располагаемое давление

$$P_{\text{расп}} = H_i \cdot (\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}}) , \quad (38)$$

где H_i – расстояние по вертикали от центра вытяжной решетки на входе в ответвление на расчетном уровне до среза вытяжной шахты, м;

γ_n – удельный вес наружного воздуха, Н/м^3 , определяемый для температуры 5°С ;

γ_v – удельный вес внутреннего воздуха, Н/м^3 , определяемый для расчетной температуры внутреннего воздуха.

Удельный вес γ , Н/м^3 , определяется по формуле

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t}, \quad (39)$$

где t – температура воздуха, $^\circ\text{С}$.

Приведенный расчет систем естественной вентиляции начинают с самого удаленного участка.

Расчет потерь давления при расчете систем вентиляции с естественным побуждением движения воздуха производится по методике, изложенной выше для механических систем, с учетом соответствующих допустимых скоростей движения воздуха (см. табл. 4).

Потери давления по основному расчетному направлению должны быть меньше $P_{\text{расп}}$ на величину запаса 5-10 %

$$5\% \leq \frac{P_{\text{расп}} - (R \cdot \beta_{\text{ш}} \cdot l + Z)_{\text{сист}}}{P_{\text{расп}}} \cdot 100 \leq 10\% . \quad (40)$$

Для воздуховодов из листовой стали или винипласта (см. таблицу 1, $K_3=0,1$ мм, $\beta_{\text{ш}}=1,0$) формула (40) приобретает вид

$$5\% \leq \frac{P_{\text{расп}} - (R \cdot l + Z)_{\text{сист}}}{P_{\text{расп}}} \cdot 100 \leq 10\% . \quad (41)$$

Увязку ответвлений с основным направлением проводят с учетом разницы располагаемого давления для отдельных ответвлений, а также с учетом неизменности сечений или диаметров ранее рассчитанных участков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богословский, В.Н. Отопление и вентиляция. Ч. 2. Вентиляция [Текст]: учебник для вузов / В.Н.Богословский, В.И.Новожилов, Б.Д.Симаков, В.П.Титов. Под ред. В.Н.Богословского. – М.: Стройиздат, 1976. – 439 с.: ил.

2. Баркалов, Б.В. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 2 [Текст]: справочник / Б.В.Баркалов, Н.Н.Павлов, С.С.Амирджанов и др.; Под ред. Н.Н.Павлова и Ю.И.Шиллера. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1992. – 416 с.: ил.

3. Богословский, В.Н. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. 2. Вентиляция и кондиционирование воздуха [Текст]: справочник / В.Н.Богословский, И.А.Шепелев, В.М.Эльтерман и др.; Под ред. И.Г.Старовойрова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1977. – 502 с.: ил.

4. Тихомиров, К.В. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция. [Текст]: учебник для вузов / К.В.Тихомиров. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1974. – 288 с.: ил.

5. Кочев, А.Г. Таблицы и примеры аэродинамического расчета систем вентиляции [Текст]: методические указания / А.Г.Кочев, А.С.Сергиенко. – Нижний Новгород: издание ННГАСУ, 2008. – 53 с.: ил.

Кочев Алексей Геннадьевич
Сергиенко Алексей Сергеевич

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ И ГРАВИТАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

Учебно-методическое пособие к курсовому и дипломному проектированию по дисциплине «Вентиляция» для студентов направления подготовки 270800.62 «Строительство», профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Научный редактор: проф., д. т. н. Бодров В.И.

Подписано к печати 23.04.2015 г., формат 60x90,1/16,

Бумага офсетная, уч. изд. л. – 1,4, усл. печ. л. – 1,5,

Тираж 200 экз., заказ № 38.

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ),
603950, Нижний Новгород, Ильинская, 65.

Напечатано в типографии «Деловая Полиграфия», 603009, Нижний Новгород, Пятигорская, 29.