

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям
по дисциплине

«ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ»

РЕКОМЕНДОВАНО

на заседании кафедры
охраны труда и аэрологии
Протокол № 10 от 05.05.2017 г.

УТВЕРЖДЕНО

на заседании
учебно-издательского совета
ДонНТУ
Протокол № 5 от 06.09.2017г.

Донецк, 2017

УДК 697.9

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Промышленная вентиляция» (для студентов специальности «Горное дело» со специализацией «Технологическая безопасность и горноспасательное дело» всех форм обучения) / сост. Е. Б. Николаев – Донецк: ДОННТУ, 2017. – 41 с.

Приведен теоретический материал и задачи по темам, для которых рабочей программой предусмотрены практические занятия.

Составил: к.т.н., доц. Е. Б. Николаев

Рецензенты: доц. И.И.Москвина
проф. С.В. Борщевский

Ответственный за выпуск проф., д.т.н. Ю.Ф. Булгаков

СОДЕРЖАНИЕ

1. Графическое определение параметров влажного воздуха	
1.1. <i>id</i> - диаграмма влажного воздуха.....	4
1.2. Основные свойства влажного воздуха.....	4
1.3. Опытное определение относительной влажности.....	8
1.4. Нахождение температуры точки росы.....	8
1.5. Определение парциального давления пара.....	9
1.6. Практическая задача.....	9
1.7. Контрольные вопросы.....	9
Приложение.....	10
2. Расчет воздухообмена в производственных помещениях.	11
2.1 Расчет потребного воздухообмена для очистки воздуха.....	11
2.2 Расчет потребного воздухообмена для удаления избыточного тепла.....	15
2.3 Практические задачи.....	17
2.4 Контрольные вопросы.....	19
Приложение.....	20
3. Расчет системы местной вытяжной вентиляции	25
3.1 Теоретические основы расчета воздуховодов.....	25
3.2 Пример расчета вентиляционной системы местных вытяжных отсосов для участка литейного цеха.....	27
3.3 Практическая задача.....	34
3.4 Контрольные вопросы.....	34
Приложения.....	35
Литература.....	40

Тема занятия №1. Графическое определение параметров влажного воздуха.

Теоретические основы.

В ряде установок влажный воздух (обычно это атмосферный воздух) используется как рабочее тело. Знание свойств влажного воздуха имеет особенное значение при изучении сушильного дела, вентиляции и других процессов. Во всех этих процессах смесь воздуха и водяного пара можно рассматривать как смесь идеальных газов.

1.1 Основные свойства влажного воздуха.

Поскольку влажный воздух рассматривается как смесь идеальных газов, то к нему применим закон Дальтона, согласно которому каждый газ, входящий в смесь, находится под своим парциальным давлением, а сумма парциальных давлений компонентов равна давлению смеси:

$$p = p_{\text{в}} + p_{\text{п}},$$

где p – давление влажного воздуха (атмосферное давление); $p_{\text{в}}$ – парциальное давление сухого воздуха в смеси; $p_{\text{п}}$ – парциальное давление сухого пара.

Состояние водяного пара во влажном воздухе определяется температурой влажного воздуха $t_{\text{см}}$ и парциальным давлением водяного пара $p_{\text{п}}$. Если температура влажного воздуха $t_{\text{см}}$ равна или ниже температуры насыщения $t_{\text{н}}$, соответствующей парциальному давлению водяного пара, то водяной пар в смеси является соответственно сухим насыщенным или влажным.

Состояние водяного пара в атмосферном воздухе можно определить по is -диаграмме для воды и водяного пара (рис.1.1). В точке A пар является перегретым, в точке B – сухим насыщенным, а в точке C – влажным.

Максимальным значением парциального давления водяного пара $p_{\text{п. макс.}}$ также является давление насыщения $p_{\text{н. см.}}$, соответствующие температуре смеси $t_{\text{см}}$.

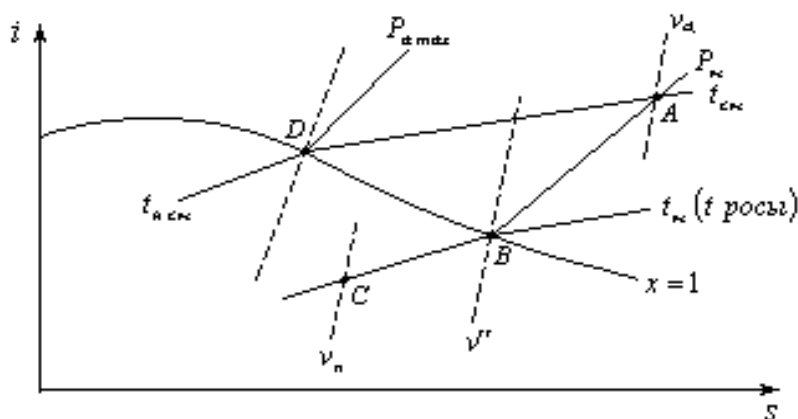


Рис. 1.1. Диаграмма is

Если в воздухе содержится перегретый пар, то его плотность $\rho_{\text{п}}$ будет меньше плотности сухого насыщенного пара $\rho_{\text{н}}$ и соответственно удельный объем $u_{\text{п}}$ будет больше удельного объема сухого насыщенного пара $u_{\text{н}}$ (см. рис.1.1, точка A):

$$\rho_{\text{п}} < \rho_{\text{н}} \quad \text{и} \quad u_{\text{п}} > u_{\text{н}}. \quad (1.1)$$

Если во влажном воздухе находится сухой пар (см. рис.1.1, точка *B*), то его плотность будет равна плотности сухого насыщенного пара $r_n = r_{\text{н}}$.

Если во влажном воздухе содержится влажный насыщенный пар (см. рис.1.1, точка *C*), то его плотность будет больше плотности сухого насыщенного пара $r_n > r_{\text{н}}$.

При охлаждении смеси, содержащей сухой насыщенный пар, ниже температуры насыщения t_n , соответствующей парциальному давлению водяного пара p_n , пар конденсируется (выпадает роса). Температура t_n в данном случае называется температурной точкой росы.

Абсолютной влажностью воздуха является масса пара, содержащегося в 1 м^3 влажного воздуха. В связи с тем, что все газы, составляющие смесь, занимают полный объем смеси (в данном случае 1 м^3) абсолютная влажность равна плотности пара r_n , соответствующей его парциальному давлению при температуре смеси

$$r_n = \frac{m_n}{V_n}, \quad (1.2)$$

где m_n – масса пара; V_n – объем пара (смеси).

Относительная влажность воздуха j определяется как отношение плотности водяного пара при его парциальном давлении и температуре смеси к плотности сухого насыщенного пара при той же температуре, т.е. к максимальной плотности водяного пара $r_{\text{н}}$

$$j = \frac{r_n}{r_{\text{н}}} 100\%. \quad (1.3)$$

Значение r_n при $t_{\text{см}}$ можно определить по диаграмме *is* для воды и водяного пара (см. рис.1.1, точка *D*) или по таблицам термодинамических свойств водяного пара.

Поскольку принято, что водяной пар в воздухе является идеальным газом, относительную влажность можно определить через парциальные давления пара

$$j = \frac{p_n}{p_n} 100\%, \quad (1.4)$$

где p_n – давление насыщения, соответствующее температуре смеси $t_{\text{см}}$. С понижением температуры $t_{\text{см}}$ уменьшается p_n и увеличивается j . При $j = 100\%$, когда $p_n = p_n$, воздух становится насыщенным. При дальнейшем понижении $t_{\text{см}}$ из воздуха выпадает роса.

Влагосодержание d влажного воздуха – это количество водяного пара (или воды в граммах) в 1 кг сухого воздуха. Определяется влагосодержание как отношение количества водяного пара m_n к количеству сухого воздуха m_b :

$$d = \frac{m_n}{m_b} \quad (1.5)$$

Влагосодержание связано с парциальным давлением водяного пара уравнением

$$d = 622 \frac{p_n}{p - p_n}. \quad (1.6)$$

Зная абсолютную влажность $r_{\text{п}}$ и влагосодержание d , можно определить плотность влажного воздуха $r_{\text{см}}$ по формуле:

$$r_{\text{см}} = r_{\text{п}} \frac{d + 1000}{d}. \quad (1.7)$$

Энтальпия влажного воздуха также относится к 1 кг сухого воздуха. Энтальпия влажного воздуха i складывается из энтальпии сухого воздуха $i_{\text{св}}$ и энтальпии водяного пара $i_{\text{п}}$. Энтальпия сухого воздуха определяется по формуле:

$$i_{\text{св}} = c_p t_{\text{см}},$$

где $c_p = 1,0$ кДж/(кгЖ) – изобарная теплоемкость воздуха.

Энтальпия водяного пара определяется по формуле:

$$i_{\text{п}} = \frac{d_{\text{п}}}{1000} x(r_0 + c_{p,\text{п}} t) + \frac{d_{\text{ж}}}{1000} c_{p,\text{ж}} t,$$

где $r_0 = 2501$ кДж/кг – теплота парообразования воды в тройной точке;

$c_{p,\text{п}} = 1,91$ кДж/(кгЖ) – изобарная теплоемкость водяного пара;

$c_{p,\text{ж}} = 4,19$ кДж/(кгЖ) – изобарная теплоемкость воды.

После подстановки значений параметров и упрощения получим расчетную формулу для определения энтальпии влажного воздуха:

$$i = t + \frac{d_{\text{п}}}{1000} (2501 + 1,92t) + \frac{d_{\text{ж}}}{1000} 4,19t. \quad (1.8)$$

1.2. id - диаграмма влажного воздуха.

Расчеты, связанные с влажным воздухом, значительно упрощаются и становятся нагляднее, если используются графические методы с применением диаграммы id , которая строится на основании уравнений (1.1) - (1.8). Такая диаграмма построена для давления влажного воздуха $p = 745$ мм рт ст., что соответствует среднему годовому значению барометрического давления в центральных районах Донбасса (рис. 1.2)

При оси ординат диаграммы отложены значения энтальпии влажного воздуха i кДж/кг. сух. возд. По оси абсцисс, которая для лучшего использования площади диаграммы проведена под углом 135° к оси ординат, отложены значения влагосодержания d г/кг.сух.возд. Соответствующие точки спроектированы на горизонтальную условную ось.

На диаграмме нанесены линии постоянных относительных влажностей $j = \text{const}$ температур $t_{\text{см}} = \text{const}$ и энтальпий влажного воздуха $i = \text{const}$.

В нижней части диаграммы нанесена линия, выражающая зависимость парциального давления водяного пара от влагосодержания $p_{\text{п}} = f(d)$. На диаграмме нанесены также изотермы “мокрого” термометра $t_{\text{м}} = \text{const}$.

Изотермы “сухого” и “мокрого” термометров, соответствующие одному и тому же значению температуры, пересекаются на линии насыщенного воздуха, т.е. на линии $j = 100\%$. Эта линия является пограничной кривой. Область над

кривой $j = 100\%$ является областью ненасыщенного воздуха. В этой области в воздухе находится перегретый пар. Под кривой $j = 100\%$ расположена область тумана, т.е. область таких состояний, когда в воздухе присутствуют и пар, и мельчайшие капельки жидкости (влажный пар).

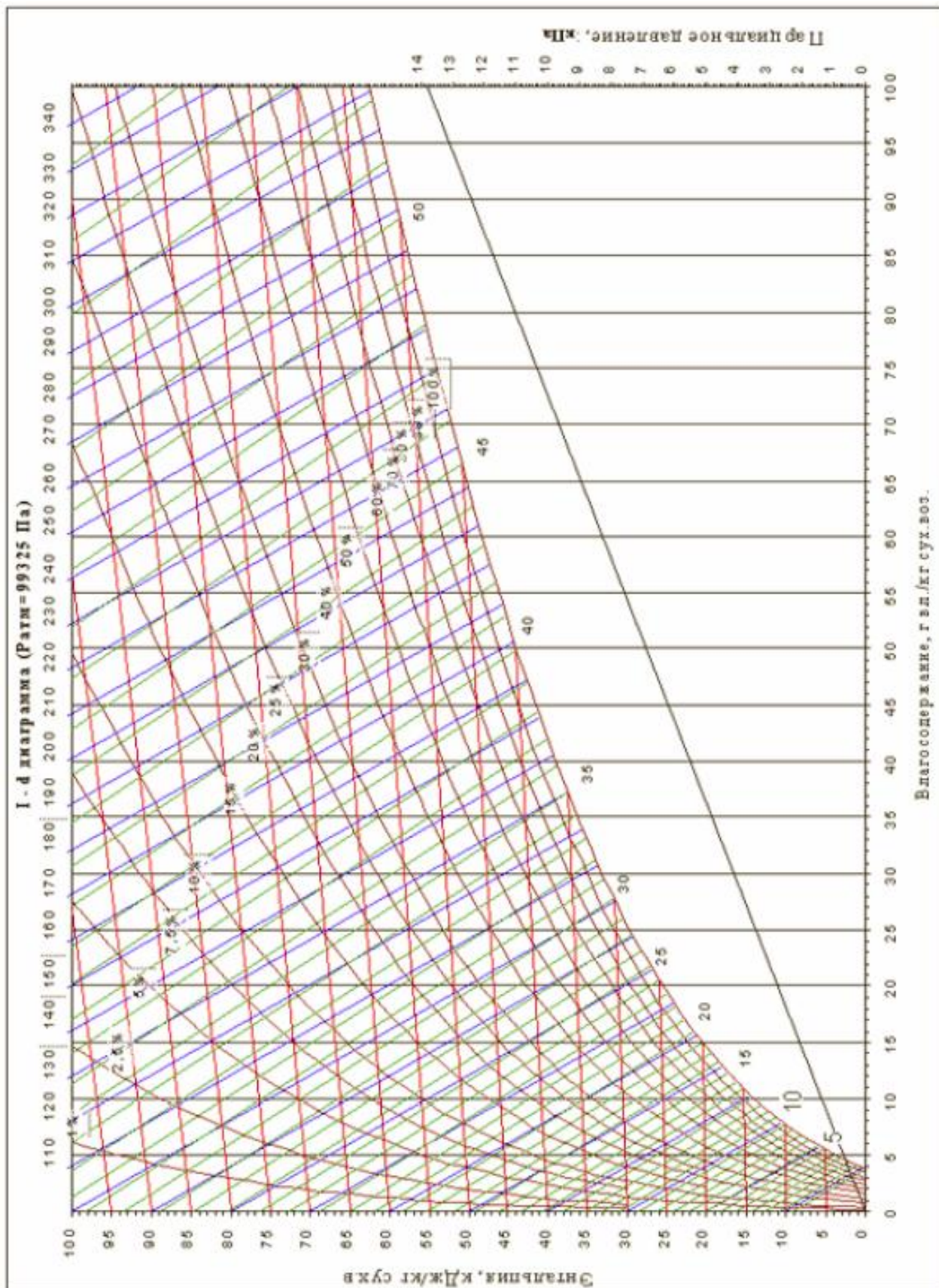


Рис.1.2. I-d диаграмма влажного воздуха

1.3 Опытное определение относительной влажности.

Наиболее часто состояние влажного воздуха задается двумя параметрами – его температурой и относительной влажностью. Изменение температуры воздуха не представляет трудности и осуществляется чаще всего с помощью ртутного термометра. Для определения относительной влажности применяются специальные приборы – психрометры и гигрометры.

Чаще всего на практике пользуются психрометром (рис.1.3). Он имеет два ртутных термометра – “сухой” 2 и “мокрый” 1, чувствительная часть которого обернута батистом, смачиваемым водой. При этом “сухой” термометр показывает действительную температуру воздуха, а “мокрый” – с некоторой степенью приближения – теоретическую температуру “мокрого” термометра. При обтекании воздухом шарика “мокрого” термометра последний с большим или меньшим приближением покажет температуру “мокрого” термометра. Степень приближения температуры, которую покажет “мокрый” термометр, будет тем ближе к теоретической, чем меньше сказывается приток тепла к термометру посредством излучения и теплопроводностью через выступающий столбик.

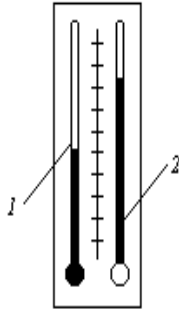


Рис. 1.3. Психрометр

Отсчет показаний по “сухому” и “мокрому” термометру производят в момент, когда температура “мокрого” термометра достигнет минимума.

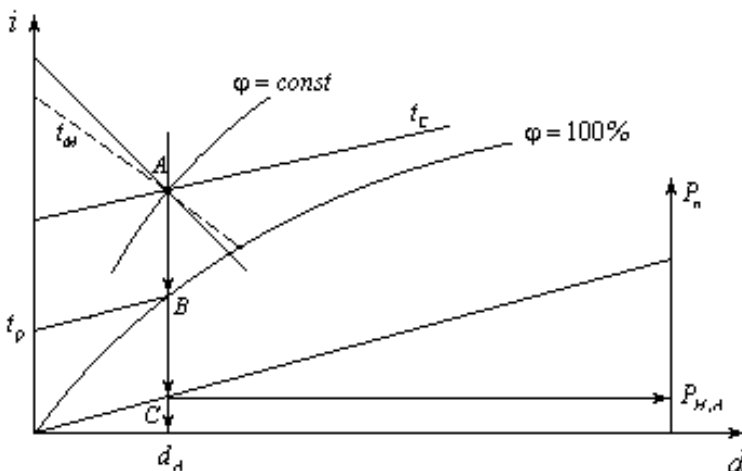


Рис. 1.4. Определение параметров влажного воздуха по диаграмме $i - d$.

По показаниям психрометра относительная влажность воздуха j может быть определена с помощью специальных психрометрических таблиц. Однако проще определить относительную влажность и другие параметры (влажностное содержание, парциальное давление) при помощи диаграммы $i - d$. Для этого необходимо найти точку пересечения изотермы, соответствующей температуре “сухого” термометра $t_c = t_{cm}$ с изотермой “мокрого” термометра t_m .

Эта точка (точка A на рис.1.4) и определит состояние влажного воздуха. Соответствующее значение относительной влажности может быть прочитано на диаграмме.

1.4 Нахождение температуры точки росы.

Чтобы найти температуру точки росы, необходимо из точки A , характеризующей состояние влажного воздуха, провести вниз линию $d = const$ до пересечения с кривой $j = 100\%$. Изотерма, проходящая через эту точку, определит температуру точки росы (см. рис.1.4, точка B).

1.5 Определение парциального давления пара.

Чтобы определить парциальное давление пара во влажном воздухе, состояние которого характеризуется точкой A , нужно спроектировать точку A по вертикали на кривую парциального давления $p_{\text{п}} = f(d)$ (см. рис.1.4, точка C) и затем по горизонтали на ось $p_{\text{п}}$ находящуюся с правой стороны.

1.6 Практическое задание

По показаниям психрометра определить с помощью диаграммы для влажного воздуха и диаграммы id для водяного пара следующие параметры:

- 1) относительную влажность j ;
- 2) влагосодержание d ;
- 3) температуру точки росы $t_{\text{н}}$;
- 4) парциальное давление водяных паров $p_{\text{п}}$;
- 5) энтальпию влажного воздуха i ;

С помощью диаграммы is для воды и вод. пара определить абсолютную влажность воздуха $\Gamma_{\text{п}}$.

1.7 Контрольные вопросы

1. Как Вы понимаете такие состояния, как насыщенный и ненасыщенный влажный воздух?
2. Что называется абсолютной, относительной влажностью и влагосодержанием влажного воздуха?
3. Какова связь между относительной влажностью воздуха и его влагосодержанием?
4. Дайте определение понятию точки росы. Как определяется температура точки росы на диаграмме?
5. Как формулируется и записывается закон парциальных давлений для влажного воздуха?
6. Как выражается и из чего складывается теплосодержание (энтальпия) влажного воздуха?
7. Как устроена диаграмма $I-d$ влажного воздуха и, каким образом определяются параметры влажного воздуха с помощью диаграммы по показаниям сухого и мокрого термометров?

Свойства воды и водяного пара

t , $^{\circ}\text{C}$	p , бар	ρ М ³ /кг	ρ М ³ /кг	h кДж/кг	h кДж/кг
10	0,012271	0,0010003	106,419	41,99	2519,4
11	0,013118	0,0010003	99,896	46,19	2521,2
12	0,014015	0,0010004	93,828	50,38	2523,0
13	0,014967	0,0010006	88,165	54,57	2524,9
14	0,015974	0,0010007	82,893	58,75	2526,7
15	0,017041	0,0010008	77,970	62,94	2528,6
16	0,018170	0,0010010	73,376	67,13	2530,4
17	0,019364	0,0010012	69,087	71,31	2532,2
18	0,020626	0,0010013	65,080	75,50	2534,0
19	0,021960	0,0010015	61,334	79,68	2535,9
20	0,023368	0,0010017	57,833	83,86	2537,7
21	0,024855	0,0010019	54,556	88,04	2539,5
22	0,026424	0,0010022	51,488	92,22	2541,4
23	0,028079	0,0010024	48,615	96,41	2543,2
24	0,029824	0,0010026	45,923	100,59	2545,0
25	0,031663	0,0010029	43,399	104,77	2546,8
26	0,033600	0,0010032	41,031	108,95	2548,6
27	0,035639	0,0010034	38,811	113,13	2550,4
28	0,037785	0,0010037	36,726	117,31	2552,3
29	0,040043	0,0010040	34,768	121,48	2554,1
30	0,042417	0,0010043	32,929	125,66	2555,9
31	0,044913	0,0010046	31,199	129,84	2557,7
32	0,047536	0,0010049	29,572	134,02	2559,5
33	0,050290	0,0010053	28,042	138,20	2561,4
34	0,053182	0,0010056	26,602	142,38	2563,2
35	0,056217	0,0010060	25,246	146,56	2565,0
36	0,059401	0,0010063	23,968	150,74	2566,8
37	0,062740	0,0010067	22,764	154,92	2568,6
38	0,066240	0,0010070	21,629	159,09	2570,4
39	0,069907	0,0010074	20,558	163,27	2572,2
40	0,073749	0,0010078	19,548	167,45	2574,0

Тема занятия №2. Расчет воздухообмена в производственных помещениях.

Воздухообмен в производственных помещениях необходим для очистки воздуха от *вредностей*: для удаления **вредных веществ** (выделяющихся вредных газов, паров и пыли); для удаления излишних **водяных паров**; для удаления **избыточного тепла**.

В данных методических указаниях рассматривается расчет потребного воздухообмена (L м³/ч), для очистки воздуха от вредных газов и паров и для удаления избыточного тепла с помощью механической общеобменной вентиляции.

2.1. Расчет воздухообмена для очистки воздуха.

Потребный воздухообмен определяется по формуле:

$$L = \frac{G \times 1000}{x_v - x_n}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (2.1)$$

где: L , м³/ч - потребный воздухообмен;

G , г/ч - количество вредных веществ, выделяющихся в воздух рабочей зоны помещения; $G = x_{\phi} \times V \times M$, где x_{ϕ} - концентрация данного вещества в воздухе, мг/м³ в течение часа; V - объем цеха, м³; M - коэффициент неравномерности распределения вредного вещества по помещению, $M = 1,2-2,0$;

x_v , мг/м³ - предельно допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны помещения, согласно ГОСТ 12.1.005-88 по [1];

x_n , мг/м³ - максимально возможная концентрация той же вредности в воздухе населенных мест по таблице 1, согласно СН-3086-84.

Применяется также **понятие кратности воздухообмена (n)**, которая показывает сколько раз в течение одного часа воздух полностью сменяется в помещении. Значение $n < 1$ может быть достигнуто естественным воздухообменом без устройства механической вентиляции.

Кратность воздухообмена определяется по формуле:

$$n = L/V_n, \text{ ч}^{-1} \quad (2.2)$$

где: V_n - внутренний объем помещения, м³.

Согласно СН 245-71, кратность воздухообмена $n > 10$ недопустимо.

Так как x_n определяется по таблице 1 (см. Приложение 2), а x_v по таблице 2; то для расчета потребного воздухообмена необходимо в каждом случае определять количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения.

Рассмотрим отдельные характерные случаи выделения вредных веществ в воздух помещения и определения потребного воздухообмена.

Определение воздухообмена при испарении растворителей и лаков

Испарение растворителей и лаков обычно происходит при покраске различных изделий. Количество летучих растворителей, выделяющихся в воздухе помещений можно определить по следующей формуле:

$$G = \frac{a \times A \times m \times n}{100}, \text{ г/ч} \quad (2.3)$$

где: a , м²/ч - средняя производительность по покраске одного рабочего, составляющая при ручной покраске кистью, $a=12$ м²/ч; пульверизатором; $a=50$ м²/ч

A , г/м² - расход лакокрасочных материалов;

m , % - процент летучих растворителей, содержащихся в лакокрасочных материалах;

n - число рабочих, одновременно занятых на покраске.

Численные значения величин A и m определяются по таблице 3. Приложения

Пример:

Определить количество выделяющихся в воздух помещения летучих растворителей.

По таблице 3 для цветного аэролака при окраске распылением:

$$A = 180 \text{ г/м}^2, \quad m = 75 \%$$

$$G = 50 \times 180 \times 75 / 100 = 13500 \text{ г/ч}$$

Определяем потребный воздухообмен в помещении по (2.3):

- для ацетона находим из таблиц 1 и 2, Приложения 2:

$$X_B = 200 \text{ мг/м}^3;$$

$$X_H = 0,35 \text{ мг/м}^3;$$

$$L = 13500 \times 1000 / (200 - 0,35) = 67500 \text{ м}^3/\text{ч}$$

О т в е т : $L = 67500 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Определение потребного воздухообмена при пайке электронных схем

Пайка осуществляется свинцово-оловянным припоем ПОС-60, который содержит $C = 0,4$ доли объема свинца и 60 % олова. Наиболее ядовиты аэрозоли (пары) свинца.

В процессе пайки из припоя испаряется до $B = 0,1\%$ свинца, а на 1 пайку расходуется 10 мг припоя. При числе паяк - N , количество выделяемых паров свинца определяется как:

$$G = C \times B \times N, \text{ мг/ч} \quad (2.4)$$

Пример.

В помещении объемом $V_n = 1050 \text{ м}^3$ три человека осуществляют пайку припоем ПОС-40 с производительностью по 100 контактов в час. Найти требуемую кратность воздухообмена.

По (2.4) определяем количество аэрозолей свинца, выделяемых в воздух:

$$G = 0,6 \times 0,001 \times 10 \times 100 \times 3 = 1,8 \text{ мг/ч}$$

Определяем потребный воздухообмен:

- для свинца и его соединений находим из таблиц 1 и 2, Приложения:

$$X_B = 0,01 \text{ мг/м}^3;$$

$$X_H = 0,001 \text{ мг/м}^3;$$

$$L = 1,8 / (0,01 - 0,001) = 200,0 \text{ м}^3/\text{час},$$

О т в е т : $L = 185,5 \text{ м}^3/\text{час}$,

Определение воздухообмена в жилых и общественных помещениях

В жилых и общественных помещениях постоянным вредным выделением является выдыхаемая людьми углекислота (CO_2).

Определение потребного воздухообмена производится по количеству углекислоты, выделяемой человеком и по допустимой ее концентрации.

Количество углекислоты в зависимости от возраста человека и выполняемой работы а также допустимые концентрации углекислоты для различных помещений приведены в таблицах 4 и 5 (Приложения 2).

Содержание углекислоты в атмосферном воздухе можно определить по химическому составу воздуха. Однако, учитывая повышенное содержание углекислоты в атмосфере населенных пунктов, следует принимать при расчете содержание CO_2 :

для сельских населенных пунктов	- 0,33 л/м ³
для малых городов (до 300 тыс. жителей)	- 0,4 л/м ³
для больших городов (свыше 300 тыс. жителей)	- 0,5 л/м ³

Пример

Определить потребную кратность воздухообмена в помещении, где работают три человека

Решение:

1. По таблице 3 (Приложения 2) определяем количество CO_2 , выделяемой одним человеком $g = 23$ л/ч.

По таблице 4 определяем допустимую концентрацию CO_2 , $X_B = 1$ л/м³ и содержание CO_2 в наружном воздухе для больших городов принимаем: $X_H = 0.5$ л/м³

Определяем потребный воздухообмен:

$$L = 23 \cdot 3 / (1 - 0.5) = 138 \text{ м}^3/\text{ч}$$

О т в е т: $L = 138 \text{ м}^3/\text{ч}$

Определение потребного воздухообмена при выделении газов (паров) через неплотности аппаратуры, находящейся под давлением

Производственная аппаратура, работающая под давлением, как правило, не является вполне герметичной. Степень герметичности аппаратуры уменьшается по мере ее износа.

Считая, просачивание газов через неплотности подчиняется тем же законам, что и истечение через небольшие отверстия, и предполагая, что истечение происходит адиабатически, количество газов просачившихся через неплотности можно определить по формуле:

$$G = k \cdot c \cdot v \cdot \sqrt{\frac{M}{T}}, \text{ кг/ч} \quad (2.5)$$

где, k - коэффициент, учитывающий повышение утечки от износа оборудования ($k=1-2$);

c - коэффициент, учитывающий влияние давление газа в аппарате:

Давление, атм	до 2	2	7	17	41	161
c	0,121	0,166	0,182	0,189	0,25	0,29

v - внутренний объем аппаратуры и трубопроводов, находящихся под давлением, м³;

M - молекулярный вес газов, находящихся в аппаратуре;

T - абсолютная температура газов в аппаратуре, °К.

Пример:

Система, состоящая из аппаратов и трубопроводов, заполнена сероводородом. Рабочее давление в аппаратуре $p_a = 3$ ата, а в проводящих трубопроводах $p_a = 4$ атм.

Внутренний объем аппаратуры $v_a = 5$ м³, объем трубопроводов, $v_{тр} = 1,2$ м³. Температура газа в аппаратуре - $t_{тр} = 120$ °С, в трубопроводе - $t_{тр} = 25$ °С.

Определить потребный воздухообмен в помещении.

Решение:

Определяем величины утечек сероводорода (H₂S) из аппаратуры и трубопроводов. Принимаем $k = 1,5$; $c = 0,169$ (по таблице); $M = 34$, для H₂S;

Утечка газа из аппаратуры составляет:

$$G_a = 1,5 \times 0,169 \times 5 \times \sqrt{\frac{34}{393}} = 0,372 \text{ кг/ч}$$

Утечка газа из трубопроводов составляет:

$$G_{тр} = 1,5 \times 0,172 \times 1,2 \times \sqrt{\frac{34}{298}} = 0,104 \text{ кг/ч}$$

$$G = G_a + G_{тр} = 0,372 + 0,104 = 0,476 \text{ кг/ч} = 476 \text{ г/ч}$$

Используя данные таблицы 1 Приложения 2, находим:

- для сероводорода находим: $X_B = 10$ мг/м³; $X_H = 0,008$ мг/м³;

Потребный воздухообмен:

$$L = 476 \times 1000 / (10 - 0,008) = 47638,1 \text{ м}^3/\text{час}$$

О т в е т: $L = 47638,1$ м³/час

Вывод: В воздух помещения одновременно могут выделяться несколько вредных веществ, которые по действию на организм человека могут быть однонаправленными и разнонаправленными. Для однонаправленных веществ расчетные значения потребного воздухообмена суммируются, а для разнонаправленных веществ выбирается наибольшее значение потребного воздухообмена.

Пример:

Для первой вредности в воздухе рабочей зоны - вредных (токсичны) веществ в рассмотренных примерах все они относятся к веществам разнонаправленного действия, поэтому принимаем к дальнейшему расчету максимальное из полученных значений, т.е. $L = 67500$ м³/ч (потребный воздухообмен для паров растворителей при окраске). Для проверки соответствия требованиям устройства вентиляции определим кратность воздухообмена,

$$n = 67500/4800 = 14,1 \text{ ч}^{-1}.$$

Данное значение превышает установленную величину – 10 ч^{-1} , поэтому необходимо принять дополнительное решение по устройству вентиляции в помещении. Например, таким решением может быть исключение распространения от двух мест окраски растворителей по всему помещению за счет применения местной вытяжной вентиляции.

Расчет объема воздуха удаляемого местной вентиляцией определяется по формуле:

$$L_{\text{МВ}} = F \times v \times 3600, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (2.6)$$

где, F – площадь сечения всасывающих отверстий, м²;

v – скорость воздуха в сечении вытяжной вентиляции, м/с. Рекомендуется принимать значение скорости в интервале 0,8 – 1,5 м/с.

Таким образом, потребный воздухообмен для оставшихся вредных веществ принимаем для выделений сероводорода: $L = 47638,1 \text{ м}^3/\text{ч}$;

Проверка: $n = 47638,1/4800 = 9,9 \text{ ч}^{-1}$.

2.2 Расчет потребного воздухообмена для удаления избыточного тепла

Расчет потребного воздухообмена для удаления избыточного тепла производится по формуле :

$$L = \frac{Q_{\text{изб}}}{g \times c_b \times \Delta t}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (2.7)$$

где : L , $\text{м}^3/\text{ч}$ - потребный воздухообмен;

$Q_{\text{изб}}$, ккал/ч - избыточное тепло;

$g_b = 1.206 \text{ кг}/\text{м}^3$ - удельная масса приточного воздуха;

$c_b = 0,24 \text{ ккал}/\text{кг} \times \text{град}$ - теплоемкость воздуха;

$$\Delta t = t_{\text{вых}} - t_{\text{пр}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.8)$$

где : $t_{\text{вых}}$, $^\circ\text{C}$ - температура удаляемого воздуха;

$t_{\text{пр}}$, $^\circ\text{C}$ - температура приточного воздуха;

Величина Δt при расчетах выбирается в зависимости от теплонапряженности воздуха - Q_n :

при $Q_n \leq 20 \text{ ккал}/(\text{м}^3 \times \text{ч})$ $\Delta t = 6 \text{ } ^\circ\text{C}$;

при $Q_n > 20 \text{ ккал}/(\text{м}^3 \times \text{ч})$ $\Delta t = 8 \text{ } ^\circ\text{C}$;

$$Q_n = \frac{Q_{\text{изб}}}{V_n}, \text{ ккал}/(\text{м}^3 \times \text{ч}) \quad (2.9)$$

где V_n , м^3 - внутренний объем помещения.

Таким образом, для определения потребного воздухообмена необходимо определить количество избыточного тепла по формуле :

$$Q_{\text{изб}} = Q_{\text{об}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{р}} - Q_{\text{отд}}, \text{ ккал}/\text{ч} \quad (2.10)$$

где: $Q_{\text{об}}$, ккал/ч - тепло, выделяемое оборудованием;

$Q_{\text{осв}}$, ккал/ч - тепло, выделяемое системой освещения;

$Q_{\text{л}}$, ккал/ч - тепло, выделяемое людьми в помещении;

$Q_{\text{р}}$, ккал/ч - тепло, вносимое за счет солнечной радиации;

$Q_{\text{отд}}$, ккал/ч - теплоотдача естественным путем.

Определение количества тепла, выделяемого оборудованием

$$Q_{\text{об}} = 860 \times \mathcal{P}_{\text{об}} \times U_1, \text{ ккал}/\text{ч} \quad (2.11)$$

где: Y_1 - коэффициент перехода тепла в помещение, зависящий от вида оборудования;

$P_{об}$, кВт - мощность, потребляемая оборудованием;

$$P_{об} = P_{ном} \times Y_2 \times Y_3 \times Y_4, \text{ кВт} \quad (2.12)$$

где: $P_{ном}$, кВт - номинальная (установленная) мощность электрооборудования помещения;

Y_2 - коэффициент использования установленной мощности, учитывающий превышение номинальной мощности над фактически необходимой;

Y_3 - коэффициент загрузки, т.е. отношение величины среднего потребления мощности (во времени) к максимально необходимой;

Y_4 - коэффициент одновременности работы оборудования.

При ориентировочных расчетах произведение всех четырех коэффициентов можно принимать равным

$$Y_1 \times Y_2 \times Y_3 \times Y_4 = 0,25 \quad (2.13)$$

Определение количества тепла, выделяемого системой освещения

$$Q_{осв} = 860 \times P_{осв} \times a \times b \times \cos(j), \text{ ккал/ч} \quad (2.14)$$

где: a - коэф.перевода электрической энергии в тепловую,

лампы накаливания $a = 0,92 - 0,97$,

люминесцентные лампы $a = 0,46 - 0,48$;

b - коэффициент одновременности работы (при работе всех светильников $b = 1$);

$\cos(j) = 0,7 - 0,8$ - коэффициент мощности;

$P_{осв}$, кВт - мощность осветительной установки.

Определение количества тепла, выделяемого находящимися в помещении людьми

$$Q_{л} = N \times q_{л}, \text{ ккал/ч} \quad (2.15)$$

где: N - количество людей в помещении

$q_{л}$, ккал/ч - тепловыделения одного человека (таблица 6)

Определение количества тепла, вносимого за счет солнечной радиации

$$Q_{р} = m \times S \times q_{ост}, \text{ ккал/ч} \quad (2.16)$$

где: m - количество окон

S , м² - площадь одного окна

$q_{ост}$, ккал/ч - солнечная радиация через остекленную поверхность (табл.7)

Определение теплоотдачи, происходящей естественным путем

Если нет дополнительных условий, то можно считать ориентировочно, что $Q_{отд} = Q_{р}$ для холодного и переходного периодов года (среднесуточная температура наружного воздуха ниже +10 °С).

Для теплого периода года (среднесуточная температура воздуха выше +10 °С) принимаем $Q_{отд} = 0$.

Общий вывод:

Среди полученных расчетных значений потребного воздухообмена для вредных веществ и удаления избыточного тепла выбирается наибольшее значение потребного воздухообмена.

2.3 Практические задачи.

Задача 1. Рассчитать необходимый воздухообмен для горячего цеха предприятия. Исходные данные в табл. 1.

Таблица 1

Варианты исходных данных для задачи 1

Вариант	Цех, отделение, пролет, . Размеры, м	Избыточные тепловыделения, $Q_{изб.}$, ГДж/ч	Температура наружного воздуха, t_n , °С	Категория тяжести работ	Высота приточных проемов, м
1	Конверторный разливочный пролет 230x48x36	21,2	+20	Пб	1,5
2	Литейное отделение 72x24x12	2,9	-12	Ш	4
3	Отделение печей ПЖВ 78x48x14	3,7	+9	Пб	2
4	Пролет нагревательных печей 96x30x12	1,2	+17	Ша	3
5	Агломерационный пролет 182x36x20	9,1	-5	Пб	7
6	Миксерное отделение 64x24x10	0,37	+18	Па	2
7	Прокатный, холодильник 78x48x14	4,85	+6	Пб	6
8	Отделение ремонта и сушки ковшей 72x42x17	2,2	+25	Ш	1,5
9	Цех электролиза алюминия 600x85x18	81	+2	Пб	7
0	Отделение рудно-термических печей 96x60x20	22,5	-20	Пб	6

Задача 2. Рассчитать воздухообмен, обеспечивающий снижение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны до нормативных значений. Исходные данные в табл. 2.

Варианты исходных данных для задачи 2

Вариант	Цех, участок	Размеры цеха, м	Вредное вещество	Концентрация вредного вещества, мг/м ³	
				В воздухе рабочей зоны, К _ф	В приточном воздухе, К _{пр}
1	Электролиз алюминия	600x25x18	Фтористый водород	0,93	0,15
2	Плавильный цех	186x126x16	Оксид углерода		1,5
3	Термический	18x12x7	Пары свинца	0,04	0
4	Травильный	36x24x12	Туман серной кислоты	1,8	0,01
5	Красильный	36x24x11	Бензол	4,2	0,2
6	Агломерационный	64x56x18	Пыль агломерата	145	0,08
7	Трубопрокатный	85x11x15	Углеводороды	1355	2,8
8	Отделение выщелачивания спека	72x48x18	Щелочная аэрозоль	0,8	0,3
9	Конверторный	96x84x27	Пыль оксида железа	31	0,12
0	Термический	24x18x7	Масляный туман	18,5	0,15

Практические задачи №1-10:

1. Рассчитать кратность воздухообмена для теплого периода года для промышленного цеха расположенного в городе Мариуполь. Размер цеха 120^х70^х6 м. Удельная тепловая нагрузка 240. Температура воздуха внутри помещения 25 °С, влажность воздуха 55%.
2. Рассчитать кратность воздухообмена для холодного периода года для промышленного цеха расположенного в городе Мурманск. Размер цеха 90^х90^х6 м. Удельная тепловая нагрузка 150. Температура воздуха внутри помещения 23 °С, влажность воздуха 65%.
3. Рассчитать кратность воздухообмена для теплого периода года для промышленного цеха расположенного в городе Одесса. Размер цеха 50^х90^х5 м. Удельная тепловая нагрузка 140. Температура воздуха внутри помещения 25 °С, влажность воздуха 65%.
4. Рассчитать кратность воздухообмена для холодного периода года для промышленного цеха расположенного в городе Калинин. Размер цеха 130^х72^х6 м. Удельная тепловая нагрузка 180. Температура воздуха внутри помещения 24 °С, влажность воздуха 70%.

5. Рассчитать кратность воздухообмена для теплого периода года для промышленного цеха расположенного в городе Алчевск. Размер цеха $106 \times 50 \times 4,8$ м. Удельная тепловая нагрузка 100. Температура воздуха внутри помещения $25 \text{ }^\circ\text{C}$, влажность воздуха 60%.
6. Рассчитать кратность воздухообмена для холодного периода года для промышленного цеха расположенного в городе Торез. Размер цеха $85 \times 100 \times 6$ м. Удельная тепловая нагрузка 120. Температура воздуха внутри помещения $25 \text{ }^\circ\text{C}$, влажность воздуха 65%.
7. Рассчитать кратность воздухообмена для теплого периода года для промышленного цеха расположенного в городе Тбилиси. Размер цеха $60 \times 90 \times 4,8$ м. Удельная тепловая нагрузка 100. Температура воздуха внутри помещения $25 \text{ }^\circ\text{C}$, влажность воздуха 70%.
8. Рассчитать кратность воздухообмена для холодного периода года для промышленного цеха расположенного в городе Шахтерск. Размер цеха $54 \times 120 \times 4,8$ м. Удельная тепловая нагрузка 120. Температура воздуха внутри помещения $22 \text{ }^\circ\text{C}$, влажность воздуха 65%.
9. Рассчитать кратность воздухообмена для теплого периода года для промышленного цеха расположенного в городе Ташкент. Размер цеха $120 \times 60 \times 6$ м. Удельная тепловая нагрузка 100. Температура воздуха внутри помещения $23 \text{ }^\circ\text{C}$, влажность воздуха 75%.
10. Рассчитать кратность воздухообмена для холодного периода года для промышленного цеха расположенного в городе Алма-Ата. Размер цеха $140 \times 70 \times 6$ м. Удельная тепловая нагрузка 140. Температура воздуха внутри помещения $25 \text{ }^\circ\text{C}$, влажность воздуха 70%.

2.4 Контрольные вопросы

1. Что называется воздухообменом?
2. Основные схемы организации воздухообмена.
3. Кратность воздухообмена, расчет воздухообмена.

Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест (СН 3086-84)

Наименование вредных веществ	ПДКм.р., мг/м ³	ПДКс.с., мг/м ³	Агрегатное состояние
Азота диоксид	0,085	0,04	п
Азота оксид	0,6	0,06	п
Акролеин	0,03	0,03	п
Амилацетат	0,10	0,10	п
Аммиак	0,2	0,04	п
Ацетон	0,35	0,35	п
Бензин (углеводороды)	5,0	1,5	п
Бензол	1,5	0,1	п
Бутан	200	-	п
Бутилацетат	0,1	0,1	п
Винилацетат	0,15	0,15	п
Дихлорэтан	3,0	1,0	п
Ксилол	0,2	0,2	п
Марганец и его соединения	0,01	0,001	а
Метилацетат	0,07	0,07	п
Мышьяк и его неорг. соединения	-	0,003	а
Озон	0,16	0,03	п
Пыль (кремнесодержащая - более 70 %)	0,15	0,05	а
Пыль нетоксичная (фиброгенного дейст-я)	0,5	0,15	а
Ртут хлорид (сулема)	-	0,0003	а
Сажа	0,15	0,05	а
Свинец и его соединения	0,001	0,0003	а
Серная кислота	0,3	0,1	а
Сернистый ангидрид	0,5	0,15	п
Сероводород	0,008	-	п
Серовуглерод	0,03	0,005	п
Спирт бутиловый	0,16	-	п
Спирт изобутиловый	0,1	0,1	п
Спирт метиловый	1,0	0,5	п
Спирт этиловый	5	5	п
Стирол	0,04	0,002	п
Толуол	0,6	0,6	п
Углерода оксид	5,0	3,0	п
Фенол	0,01	0,003	п
Фтористые соединения (газообразные)	0,02	0,005	п
Хлор	0,1	0,03	п
Хлористый водород	0,2	0,2	п
Этилацетат	0,1	0,1	п

Примечание:

п - пары и/или газы;

а - аэрозоль

Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны (ГОСТ 12.1.005-88)

Наименование Вредных веществ	ПДК., мг/м ³	Класс опасности	Агрегатное состояние
Азота диоксид	2,0	3	п
Азота оксиды	5,0	3	п
Акролеин	0,2	2	п
Амилацетат	100	4	п
Аммиак	20	4	п
Ацетон	200	4	п
Бензин (углеводороды)	100	4	п
Бензол	15/5	2 к	п
Буган	300	4	п
Бутилацетат	200	4	п
Винилацетат	10,0	4	п
Дихлорэтан	10,0	2	п
Ксилол	50,0	3	п
Марганец и его соединения (от 2-30 %)	0,1	2	а
Метилацетат	100	4	п
Мышьяк и его неорг. соединения	0,04/0,01	2	а
Озон	0,1	1	п
Пыль (кремнесодержащая - более 70 %)	1,5	4	а
Пыль нетоксичная (фиброгенного действия)	4,0	4	а
Ртут хлорид (сулема)	0,2/0,05	1	а
Сажа	4,0	3	а
Свинец и его соединения	0,01/0,005	1	а
Серная кислота	1,0	2	а
Сернистый ангидрид	10	3	п
Сероводород	10,0	3	п
Сероуглерод	1,0	3	п
Спирт бутиловый	10,0	3	п
Спирт изобутиловый	10,0	3	п
Спирт метиловый	5,0	3	п
Спирт этиловый	1000	4	п
Стирол	30/10	3	п
Толуол	50	3	п
Углерода оксид	20	4	п
Фенол	0,3	2	п
Фтористые соединения (газообразные)	0,5/0,1	2	п
Хлор	1,0	2	п
Хлористый водород	5,0	1	п
Этилацетат	200	4	п

Примечание: значение в числителе - максимально разовые; в знаменателе - среднесменные

Таблица 3

Расходы лакокрасочных материалов на один слой покрытия изделий и содержание в них летучих растворителей

Наименование лакокрасочных материалов/способ нанесения краски	Расход лакокрасочных материалов (А, г/м ²)	Содержание летучей части (m, %)
<u>Нитролаки и краски</u>		
Бесцветный аэролак /кистью	200	92
Цветные аэролаки / распыление пульверизатором	180	75
Нитрошпаклевка /кистью	100-180	10-35
Нитроклей /кистью	160	80-85
<u>Масляные лаки и эмали</u>		
Окраска распылением	60-90	35

Таблица 4

Количество углекислоты, выделяемой человеком при разной работе

Возраст человека и характер работы	Количество CO ₂	
	в л/ч	в г/ч
Взрослые:		
при физической работе	45	68
при легкой работе (в учреждениях)	23	35
в состоянии покоя	23	35
Дети до 12 лет	12	18

Таблица 5

Предельно-допустимые концентрации углекислоты

Наименование помещений	Количество CO ₂	
	в л/ч	в г/кг
Для постоянного пребывания людей (жилые ком)	1	1,5
Для пребывания детей и больных	0,7	1
Для учреждений	1,25	1,75
Для кратковременного пребывания людей	2	3

Таблица 6

Количество тепловыделений одним человеком при различной работе

Категория тяжести работы		Количество тепловыделений q _л , ккал/ч в зависимости от окружающей температуры воздуха			
		15 °С	20 °С	25 °С	30 °С
Легкая	I	100	70	50	30
Средней тяжести	II-а	100	70	60	30
	II-б	110	80	70	35
Тяжелая	III	110	80	80	35

Солнечная радиация через остекленную поверхность

	Солнечная радиация, $q_{\text{ост}}$, ккал/ч от стороны света и широты, град.															
	ЮГ				ЮГО-ВОСТОК ЮГО-ЗАПАД				ВОСТОК ЗАПАД				СЕВЕР, СЕВЕРО-ВОСТОК СЕВЕРО-ЗАПАД			
	35	45	55	65	35	45	55	65	35	45	55	65	35	45	55	65
Окна с двойным остеклением и деревянными рамами	110	125	125	145	85	110	125	145	125	125	145	145	65	65	65	60
Окна с двойным остеклением и металлическими рамами	140	160	160	180	110	140	160	180	160	160	180	180	80	80	80	70
Фонарь с двойным остеклением и металлическим переплет.	130	130	160	170	110	140	170	170	160	160	180	180	85	85	85	70

Допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений с избытками явного тепла (ГОСТ 12Л. 005- 01)

Категория работ	Температура воздуха	Относительная влажность воздуха, ф, %	Скорость движения воздуха, σ, м/с
	$t_{p.z.}, ^\circ C$		
	Холодный и переходный период года		
Легкая - I	19-25	75	0,2
Средней тяжести			
IIa	17-23	75	0,3
IIб	15-25	75	0,4
Тяжелая - III	13-19	75	0,5
	Теплый период года		
Легкая - I	не более чем на 50 выше средней температуры наружного воздуха в 13 ч	при 28° не более 65	0,2-0,5 более 55, при 27° - 60
Средней тяжести			
IIa	не более 28°	при 26° не более 65	0,3-0,7
IIб	тоже	при 25° не более 70	0,5-1,0
Тяжелая - III	не более 26°	при 24° не более 75	то же

Тема занятия №3. Расчет системы местной вытяжной вентиляции

Местная вытяжная вентиляция является наиболее эффективным способом вентиляции производственных помещений, связанных со значительным выделением вредных вещества, ее расчет может осуществляться по следующей методике.

3.1 Теоретические основы расчета воздуховодов.

1. Определяют конструкцию местного отсоса, исходя из специфики технологического процесса и устройства производственного оборудования. Наиболее часто в литейных цехах применяются отсасывающие зонты и кожухи. Для выбора конструкции отсоса можно использовать данные, приведенные в таблице А.1 (приложение А).

2. Определяют количество воздуха, которое нужно удалять от каждого местного отсоса. Эта величина может быть взята из справочных данных, объемы отсасываемого воздуха для некоторого оборудования приведены в таблице А.1 (приложение А).

Если известна площадь проема F , м^2 , через который удаляется воздух, объем отсасываемого воздуха L , $\text{м}^3/\text{ч}$, может быть определен по формуле:

$$L = 3600 \cdot F \cdot v, \quad (3.1)$$

где v – скорость движения воздуха в проеме, $\text{м}/\text{с}$.

Чтобы отсасываемый воздух мог увлекать за собой частицы пыли, скорость его при входе в отсасывающее устройство должна быть не менее скорости витания для данных отсасываемых частиц. Обычно ее принимают **5-12 м/с**. Для отсоса газов, например, от печей, охладительных кожухов литейных конвейеров и т.п. скорость воздуха в отверстии зонта принимается равной **1-1,5 м/с**.

3. Исходя из размещения в цехе источников пыле-, газовыделения, определяют структуру и пространственное расположение вентиляционной сети с разделением ее на отдельные участки и определением длины этих участков. В соответствии с этим выполняется схема вентиляционной сети. На схеме указывают элементы, входящие в состав вентиляционной сети, номера участков сети.

4. Назначают скорости движения воздуха, v , $\text{м}/\text{с}$, в воздуховодах на всех участках вентиляционной сети. При перемещении воздуха, не содержащего твердых частиц (пыли), его скорость в воздуховоде может быть назначена в пределах **6...12 м/с**. Скорость движения воздуха в трубопроводах пылеотсасывающих установок должна находиться в пределах **15...20 м/с**. На конечных участках трубопроводов значения скорости принимают близкими к минимальным с последующим увеличением на **0,5...1,5 м/с**.

5. Определяют диаметры воздуховодов, d , мм , на всех участках по формуле:

$$d = \frac{1}{30} \sqrt{\frac{L}{\rho \cdot v}} = \sqrt{\frac{4L}{\rho \cdot v \cdot 3600}} \quad (3.2)$$

где L – расход воздуха на соответствующем участке, $\text{м}^3/\text{ч}$; v – скорость движения воздуха, $\text{м}/\text{с}$.

Однако при этом получают диаметры произвольного размера, которые, как правило, не соответствуют принятым по ГОСТу. Поэтому для дальнейших расчетов принимается ближайший диаметр из имеющихся стандартных. Для такого выбора можно пользоваться номограммой (рис. Б.1, прилож. Б), на которой обозначены все диаметры, принятые по ГОСТу ($d_{\min} = 100 \text{ мм}$, $d_{\max} = 1120 \text{ мм}$).

6. С учетом результатов подбора диаметров воздуховодов производят пересчет скорости движения воздуха на участках вентиляционной сети по формуле:

$$v^{\phi} = \frac{L}{900 \cdot d^2 \cdot \rho} \quad (3.3)$$

где L – объем воздуха, который перемещается по данному участку вентиляционной сети за единицу времени, $\text{м}^3/\text{ч}$; d – диаметр воздуховода, м .

7. Определяют потери давления в вентиляционной сети. Суммарные потери давления $\sum H$, Па, на участке воздуховода определяют по формуле:

$$\sum H = H_{\text{тр}} + Z_M, \quad (3.4)$$

где $H_{\text{тр}}$ – потери давления на трение, Па; Z_M – потери давления на местные сопротивления, Па. Величина $H_{\text{тр}}$ может быть найдена из соотношения

$$H_{\text{тр}} = R \cdot l \quad (3.5)$$

где R – потери давления на трение на один погонный метр воздуховода, Па /м; l – длина участка воздуховода, м.

Величину R для круглых труб можно определить по номограмме (рис. Б.1, прилож. Б), например, если мы имеем диаметр трубы $d = 160 \text{ мм}$, а скорость движения воздуха $v = 14 \text{ м/с}$, то $R \approx 15,5 \text{ Па}$.

Указанной номограммой можно также пользоваться и для определения других приближенных параметров вентиляционной сети. Так, например, из номограммы можно найти, что для рассматриваемого случая ($d = 160 \text{ мм}$, $v = 14 \text{ м/с}$) расход воздуха по воздуховоду составит $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Возможно решение и обратной задачи, например, при известном расходе воздуха и скорости движения воздуха можно определить диаметр воздуховода. Так из номограммы видно, что при расходе воздуха $2000 \text{ м}^3/\text{ч}$ и скорости воздуха $v = 18 \text{ м/с}$ диаметр воздуховода должен быть 200 мм . Величина местных сопротивлений Z_M , Па, может быть определена по формуле:

$$Z_M = \xi_M \cdot x_M \cdot \frac{\rho \cdot v^{\phi 2}}{2}, \quad (3.6)$$

где ξ_M – коэффициент местного сопротивления, который определяется по справочным данным; v^{ϕ} – скорость движения воздуха, м/с ; ρ – плотность воздуха, кг/м^3 , для расчетов можно принять значение $1,2 \text{ кг/м}^3$. Значения некоторых местных сопротивлений вентиляционной сети приведены в приложении В.

8. Зная общий расход воздуха вентиляционной сети $\sum L$, $\text{м}^3/\text{ч}$ и потери давления в сети $\sum H$, Па, по графическим характеристикам [7] выбирают вентилятор и рассчитывают мощность электродвигателя вентилятора, кВт , по формуле:

$$N = \frac{\dot{a} L \times \dot{a} H \times 10^{-3}}{3600 \times \eta_B}, \quad (3.7)$$

где $\sum L$ – общий расход воздуха вентиляционной сети, м³/ч;

$\sum H$ – суммарные потери давления в вентиляционной сети, Па;

η_B – КПД вентилятора, находится по графическим характеристикам [7].

3.2 Пример.

Рассчитать вентиляционную систему местных вытяжных отсосов для участка литейного цеха, на котором расположены следующие виды оборудования: выбивная решетка площадью 1,3 м², две электродуговые печи, кроме того, удаляемый воздух подвергается сухой очистке в пылеулавливающем устройстве – циклоне ЦН-15.

Решение:

1. Выбираем конструкцию местного отсоса для источников пылевыделения (табл. А.1, прилож. А):

а) Выбивная решетка. Принимаем конструкцию местного отсоса в виде сплошного кожуха с боковой загрузочной дверью.

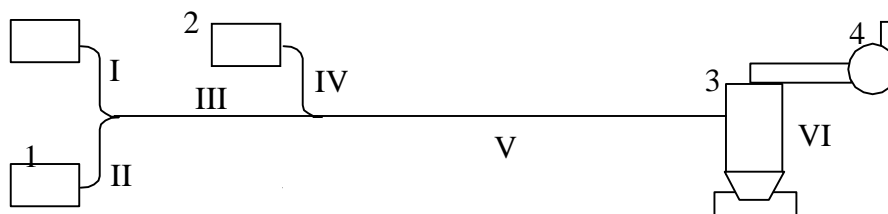
б) Электродуговые печи. Принимаем конструкцию местного отсоса в виде зонта.

2. Определяем количество воздуха, которое удаляется от каждого местного отсоса, с учетом конструкции отсоса (табл. А.1, прилож. А):

а) Выбивная решетка. В соответствии с табл. 1 и с учетом площади выбивной решетки количество удаляемого воздуха составит, L, м³/ч: $L = 1,3 \cdot 15000 = 19500$

б) Электродуговые печи. В соответствии с таблицей А. 1 приложения А количество удаляемого воздуха от каждой печи составит 20000 м³/ч, для двух печей объем удаляемого воздуха составит, L, м³/ч: $L = 20000 \cdot 2 = 40000$

3. Определяем структуру вентиляционной сети и количество воздуха, проходящего по каждому участку вентиляционной сети. Схема вентиляционной сети представлена на рис. 3.1



1 – вытяжной зонт; 2 – укрытие выбивной решетки; 3- циклон ЦН-15; 4 – центробежный вентилятор;

I, II, III, IV, V, VI – участки вентиляционной сети

Рис. 3.1 – Схема вентиляционной сети

Количество воздуха на участке, где происходит слияние вентиляционных потоков, определяется простым суммированием. Так на участках I и II проходит

по 20000 м³/ч, на участке III протекает 40000 м³/ч, на участке V к этому количеству добавляется воздух от укрытия выбивной решетки, таким образом, на участке V объем проходящего воздуха составляет, L_V, м³/ч:

$$L_V = 40000 + 19500 = 59500$$

Количество воздуха по участкам сети, м³/ч, и длины участков, м, приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Количество воздуха, L, м³/ч и длины участков, l, м

№ участка Параметр	I	II	III	IV	V	VI
L, м ³ /ч	20000	20000	40000	19500	59500	59500
l, м	8	8	9	5	50	-

4. Назначаем скорость движения воздуха на всех участках вентиляционной сети. На параллельных участках I, II, IV принимаем скорость равную 13 м/с. На участке III принимаем скорость 13,5 м/с, на участке V принимаем скорость 14 м/с.

5. Определяем диаметр воздуховодов, d, м, на всех участках вентиляционной сети по формуле 3.2:

$$d = \frac{1}{30} \sqrt{\frac{L}{\rho \times v}} = \sqrt{\frac{4L}{\rho \times v \times 3600}}$$

Тогда

$$d_I = d_{II} = \sqrt{\frac{4 \times 2000}{3,14 \times 13 \times 3600}} = 0,74 \text{ м.}$$

$$d_{III} = \sqrt{\frac{4 \times 40000}{3,14 \times 13,5 \times 3600}} = 1,02 \text{ м.}$$

$$d_{IV} = \sqrt{\frac{4 \times 19500}{3,14 \times 13 \times 3600}} = 0,73 \text{ м.}$$

$$d_V = \sqrt{\frac{4 \times 59500}{3,14 \times 14 \times 3600}} = 1,23 \text{ м.}$$

6. Принимаем стандартные диаметры воздуховодов, исходя из номограммы (рис. Б.1, прилож. Б): d_I = d_{II} = 710 мм, d_{III} = 1000 мм, d_{IV} = 710 мм, d_V = 1120 мм.

7. Определяем скорость движения воздуха, v, м/с, по участкам вентиляционной сети с учетом стандартизированных диаметров воздуховодов по формуле 3.3

$$v_{I,II}^{\phi} = \frac{20000}{900 \times 0,71^2 \times 3,14} = 14,0 \text{ м/с.}$$

$$v_{III}^{\phi} = \frac{40000}{900 \times 1,0^2 \times 3,14} = 14,1 \text{ м/с.}$$

$$v_{IV}^{\phi} = \frac{19500}{900 \times 0,71^2 \times 3,14} = 13,7 \text{ м/с.}$$

$$v_{V}^{\phi} = \frac{59500}{900 \times 1,12^2 \times 3,14} = 16,8 \text{ м/с.}$$

Таблица 3.2

Скорость движения воздуха, v , м/с, по участкам сети с учетом стандартных диаметров воздуховодов, м

№ участка Параметр	I	II	III	IV	V	VI
$L, \text{ м}^3/\text{ч}$	20000	20000	40000	19500	59500	59500
$d, \text{ м}$	0,71	0,71	1	0,71	1,12	-
$v, \text{ м/с}$	14	14	14,1	13,7	16,8	

Расчетные значения скорости воздуха на последовательных участках вентиляционной сети должны возрастать, начиная с конечного участка сети, т.е.

$$v_I^{\phi} < v_{III}^{\phi} < v_V^{\phi}$$

8. Определяем потери давления в вентиляционной сети. Расчет производим последовательно для всех участков вентиляционной сети, начиная с наиболее удаленного.

Участки I, II

1) Удельные линейные потери давления, R , Па/м, находим по номограмме (рис. Б.1, прилож. Б).

Для $L_{I,II} = 20000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $v_{I,II} = 14 \text{ м/с}$, $R_{I,II} = 2,4 \text{ Па/м}$, тогда при длине участка $l_{I,II} = 8 \text{ м}$ потери давления, $N_{тр}$, составят, Па:

$$N_{тр} = R l = 2,4 \cdot 8 = 19,2 \text{ Па}$$

2) Местные сопротивления на участке:

а) вытяжной зонт. Коэффициент местного сопротивления принимаем равным $\xi = 0,5$ (табл. В.1, прилож. В);

б) отвод от зонта с углом поворота $\alpha = 90^\circ$ и отношением $R/b = 2$. Для такого отвода (табл. В.2, прилож. В) $a = 1,0$; $k = 0,2$; коэффициент местного сопротивления составит:

$$\xi = 0,73 \cdot a \cdot k = 0,73 \cdot 1,0 \cdot 0,2 = 0,15$$

в) отвод к тройнику с $R/b = 2$ и углом поворота $\alpha = 45^\circ$. Из таблицы В.2 приложения В находим: $a = 0,61$; $k = 0,2$; коэффициент сопротивления составит:

$$\xi = 0,73 \cdot 0,61 \cdot 0,2 = 0,09$$

г) ответвление симметричного тройника. При $\beta = 45^\circ$ и $L_0/L_{об} = 0,5$, находим $\xi = 0,55$.

3) Суммарный коэффициент местного сопротивления для участков I,II составит:

$$\sum \xi_{I,II} = 0,5 + 0,15 + 0,09 + 0,55 = 1,29$$

4) Суммарная величина местных потерь, $Z_{I,II}$, Па, составит:

$$Z_{I,II} = \sum \xi_{I,II} \frac{\rho \times v^2}{2} = \frac{1,29 \times 1,2 \times 4,1^2}{2} = 151,7 \text{ Па}$$

5) Полная потеря давления, $\sum H_{I,II}$, Па, на участках I,II составит:

$$\sum H_{I,II} = H_{тр} + Z = 19,2 + 151,7 = 170,9 \text{ Па}$$

Эта величина потерь давления определяет размер необходимого разрежения в выходном сечении тройника и одновременно величину перепада давлений для перемещения воздуха через параллельно присоединенный к участку I участок II.

Участок III

1) Удельные линейные потери давления, Па/м, находим по номограмме (рис. Б.1, прилож. Б). Для участка III: $L_{III} = 40000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $v_{III} = 14,1 \text{ м/с}$, $R_{III} = 1,7 \text{ Па/м}$, тогда при длине участка 9 м потери давления, $H_{тр}$, составят, Па:

$$H_{тр} = R_{III} l_{III} = 1,7 \cdot 9 = 15,3 \text{ Па}$$

2) Единственным местным сопротивлением на участке III является сопротивление прохода в прямом ответвлении тройника, служащем для присоединения ответвления IV

$$d_{II} : d_0 = d_{III} : d_{IV} = 1000 : 710 = 1,41$$

$$v_o^\phi : v_n^\phi = v_{III}^\phi : v_{IV}^\phi = 13,7 : 14,1 = 0,97$$

при угле присоединения $\alpha = 45^\circ$ (табл. В.2, прилож. В) находим

$$\xi_{II} \approx 0,32.$$

3) Суммарная величина местных потерь, Z_{III} , Па, составит:

$$Z_{III} = \xi_{III} \frac{\rho \times v^2}{2} = \frac{0,32 \times 1,2 \times 14,1^2}{2} = 38,2$$

4) Полная потеря давлений, $\sum H_{III}$, Па, на участке III будет иметь значение:

$$\sum H_{III} = H_{тр} + Z_{III} = 15,3 + 38,2 = 53,5$$

Участок IV

1) Удельные линейные потери. Для участка IV $L_{IV} = 19500 \text{ м}^3/\text{ч}$, $v_{IV} = 13,7 \text{ м/с}$, $R = 2,6 \text{ Па/м}$. Тогда при длине участка 5 м линейные потери, $H_{тр}$, составят, Па:

$$H_{тр} = R_{IV} l_{IV} = 2,6 \cdot 5 = 13,0$$

2) Местные сопротивления на участке:

а) укрытие выбивной решетки. Принимаем коэффициент местного сопротивления равным $\xi = 1,2$;

б) отвод с углом поворота $\alpha = 90^\circ$ и отношением $R/b = 2,0$ и отвод с таким же значением R/b с углом $\alpha = 45^\circ$. Значения местных сопротивлений для таких отводов были определены выше при расчете сопротивлений на участке I. Коэффициенты местных сопротивлений этих отводов равны соответственно 0,15 и 0,09;

в) ответвление несимметричного тройника. Для тройника с соотношениями

$$d_{II} : d_0 = d_{III} : d_{IV} = 1000 : 710 = 1,41$$

$$v_0 \phi : v_{II} \phi = v_{IV} \phi : v_{III} \phi = 13,7 : 14,1 = 0,97$$

при угле присоединения $\alpha = 45^\circ$ (табл. В.2, прилож. В) находим $\xi_0 \approx 0,02$.

3) Суммарный коэффициент местных потерь на участке IV составит:

$$\sum \xi_{IV} = 1,2 + 0,15 + 0,09 + 0,02 = 1,46$$

4) Суммарная величина местных потерь, Z_{IV} , Па, составит:

$$Z_{IV} = \xi_{IV} \frac{\rho v^2}{2} = \frac{1,46 \times 1,2 \times 3,7^2}{2} = 164,4$$

5) Полная потеря давлений, $\sum H_{IV}$, Па, на участке IV будет иметь значение:

$$\sum H_{IV} = H_{тр} + Z_{IV} = 13 + 164,4 = 177,4$$

Участок V

1) Удельные линейные потери.

Для участка V: $L_V = 59500 \text{ м}^3/\text{ч}$, $v_V = 16,8 \text{ м/с}$, $R = 2,1 \text{ Па/м}$.

Тогда при длине участка 50 м линейные потери, $H_{тр}$, составят, Па

$$H_{тр} = R V_{IV} = 2,1 \cdot 50 = 105$$

2) Местные сопротивления на участке

Единственным местным сопротивлением на участке V является сопротивление входа в циклон, коэффициент которого составляет $\xi_{ц} = 0,2$.

3) Суммарная величина местных потерь, Z_V , Па, составит:

$$Z_V = \xi_V \frac{\rho v^2}{2} = \frac{0,2 \times 1,2 \times 6,8^2}{2} = 33,9$$

4) Полная потеря давлений, $\sum H_V$, Па, на участке V будет иметь значение:

$$\sum H_V = H_{тр} + Z_V = 105 + 33,9 = 138,9$$

Участок VI

1) Местное сопротивление. Коэффициент местного сопротивления циклона принимаем равным $\xi_{ц} = 4$;

2) Суммарная величина местных потерь, Z_{VI} , Па, составит:

$$Z_{VI} = \xi_{VI} \frac{\rho v^2}{2} = \frac{4 \times 1,2 \times 6,8^2}{2} = 677,4$$

3) Полная потеря давлений, $\sum H_v$, Па, на участке VI также будет иметь значение 677,4 Па.

Все данные расчетов по каждому участку вентиляционной сети сведены в таблицу 3.3.

9. Для выбора типа вентилятора необходимо определить суммарные потери давления $\sum H$, Па, в вентиляционной сети. При этом потери давления в параллельных участках не учитываются. Для рассматриваемой вентиляционной сети необходимо суммировать потери давления на участках I, III, V, VI. Участки II, IV являются параллельными, поэтому потери давления на этих участках не учитываются. Тогда

$$\sum H = 170,9 + 53,5 + 138,9 + 677,4 = 1040,7 \text{ Па}$$

Требуемый расход воздуха составит $59500 \text{ м}^3/\text{ч}$. Исходя из этих параметров вентиляционной сети, выбираем вентилятор типа Ц 4-70 № 16 (рис. 3.2).

10. Определяем мощность электродвигателя (КПД вентилятора принимаем $\eta_v = 0,7$)

$$N = \frac{\dot{Q} \cdot \sum H \cdot 10^{-3}}{3600 \cdot \eta_v} = \frac{59500 \cdot 1040,7 \cdot 10^{-3}}{3600 \cdot 0,7} = 24,57 \text{ кВт}$$

Вывод: для обеспечения требуемой продуктивности вентиляционной сети выбираем вентилятор Ц 4-70 № 16 с электродвигателем А 02-72-4 мощностью 30 кВт, числом оборотов в минуту 700.

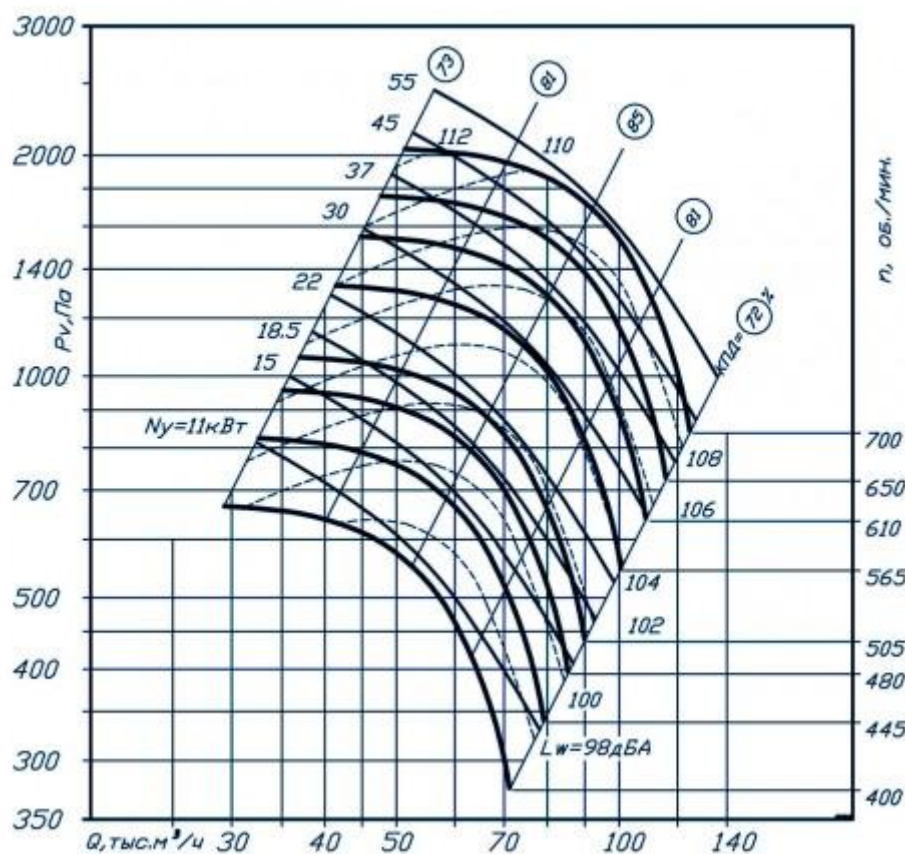


Рис. 3.2 Аэродинамическая характеристика вентилятора Ц 4-70 № 16

Таблица 3.3

Результаты расчетов параметров вентиляционной сети

Номер участка	Расход воздуха, м ³ /ч	Диаметр трубы, мм	Фактическая скорость $v^Ф$, м/с	Длина участка, м	R, Па	Rl, Па	$\sum \xi$	Z, Па	Rl + Z, Па
I	2000	710	14,0	8	2,4	19,2	1,29	151,7	170,9
II	2000	710	14,0	8	2,4	19,2	1,29	151,7	170,9
III	4000	1000	14,1	9	1,7	15,3	0,32	38,2	53,5
IV	1950	710	13,7	5	2,6	13,0	1,46	164,4	177,4
V	5950	1120	16,8	50	2,1	105	0,2	33,9	138,9
VI	5950	-	16,8	-	-	-	4	677,4	677,4

3.3 Практическая задача № 3. Рассчитать систему местной вытяжной вентиляции для участка горячего цеха предприятия (рисунок 3.1) Исходные данные в табл. 3.4

Таблица 3.4

Варианты исходных данных для задачи 3

Последняя цифра шифра	Расчетные параметры № участков					Предпоследняя цифра шифра
	$L, \text{ м}^3/\text{ч}$ $l, \text{ м}$					
	I	II	III	IV	V	
1	$\frac{20000}{8}$	$\frac{20000}{8}$	- 9	$\frac{19500}{5}$	- 50	1
2	$\frac{20500}{8,5}$	$\frac{20500}{8,5}$	- 9,5	$\frac{20000}{5,5}$	- 55	2
3	$\frac{21000}{9}$	$\frac{21000}{9}$	- 10	$\frac{20500}{6}$	- 60	3
4	$\frac{20250}{7}$	$\frac{20250}{7}$	- 8	$\frac{18500}{4}$	- 40	4
5	$\frac{20800}{7,5}$	$\frac{20800}{7,5}$	- 8,5	$\frac{20200}{5,5}$	- 65	5
6	$\frac{22000}{9}$	$\frac{22000}{9}$	- 10	$\frac{21500}{6}$	- 70	6
7	$\frac{21500}{9,5}$	$\frac{21500}{9,5}$	- 10,5	$\frac{22000}{6,5}$	- 75	7
8	$\frac{22000}{10}$	$\frac{22000}{10}$	- 10	$\frac{21200}{7}$	- 60	8
9	$\frac{20900}{7}$	$\frac{20900}{7}$	- 9	$\frac{20200}{5}$	- 50	9
0	$\frac{21650}{7,5}$	$\frac{21650}{7,5}$	- 9,5	$\frac{21150}{6,5}$	- 55	0

3.4 Контрольные вопросы

1. Какие бывают виды промышленной вентиляции?
2. Из каких компонентов состоит вентиляционная система?
3. Основные санитарно-гигиенические требования к системам вентиляции.
4. Назовите преимущества и недостатки естественной вентиляции? Дефлекторы.
5. Механическая вентиляция, ее устройство (дать схему). Понятие о рециркуляции.
6. Местная приточная и вытяжная вентиляция – в чем отличия? Местные отсосы.
7. Законы движения воздуха в воздушных завесах, воздушных душах.
8. Дать понятие о распределителях воздуха.
9. Какие бывают типы вентиляторов?
10. Как ведется подбор вентиляторов к системам вентиляции?

ПРИЛОЖЕНИЯ

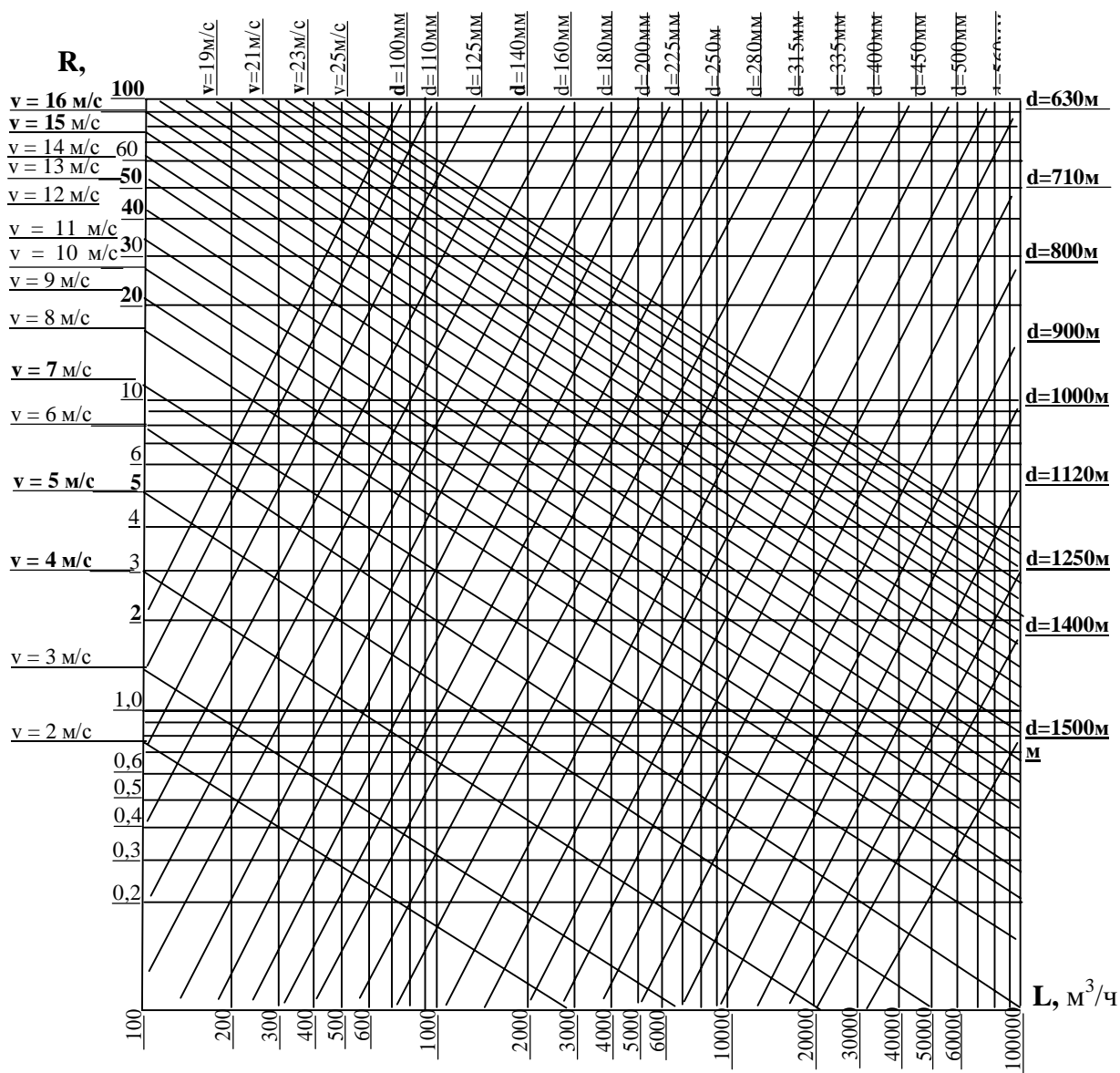
Приложение А

Таблица А.1 – Объемы отсасываемого воздуха от оборудования литейных цехов

№ п/п	Технологическое оборудование	Устройство для отсоса воздуха	Объем отсасываемого воздуха, м ³ /ч
1	Центробежные смесители мод. 115, 116 и 117	Сплошной кожух с боковой частью, защищенной брезентом	Соответственно 1500, 1800, 25000
2	Узлы пересыпания сухих сыпучих материалов (с транспортера на транспортер)	Сплошной кожух с боковым отсосом и дверью для пропускания лент	По расчету, исходя из площади открытых проемов*
3	Плоские сита	Сплошной кожух с боковой загрузочной дверью	1500 на 1м ² поверхности сита
4	Вибрационные выбивные решетки	Сплошной кожух с боковой загрузочной дверью	15000 на 1м ² решетки
5	Очистные барабаны периодического действия	Отсос через полую ось	1800
6	Вагранка открытого типа производительностью 10 т/ч	Отбор газов выше завалочного окна	25000 - 30000
7	Электродуговая печь	Зонт Кольцевой отсос	15000-20000 10000-12000
8	Механизированные и автоматизированные устройства для выбивки отливок и удаления стержней	Сплошной кожух с проемом	1500 на 1м ² площади устройства
9	Вибрационная машина для выбивки стержней из отливок	Вытяжной зонт	4000 на 1 м длины зон-та
10	Заливка металла в формы	Панель равномерного всасывания	1500 на 1м ² панели
11	Установка для дробебетной очистки отливок	Аспирационные укрытия	3500
12	Зачистные шлифовальные станки	Защитно-обеспыливающий кожух	3000 на 1 круг

Примечание.*

Если известна площадь проемов F , м², через которые удаляется воздух, объем отсасываемого воздуха L , м³/ч, может быть определена по формуле $L = 3600 \cdot F \cdot v$, где v – скорость движения воздуха в проемах, м/с.



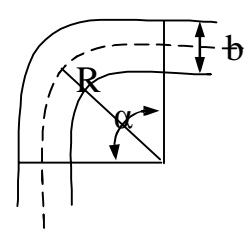
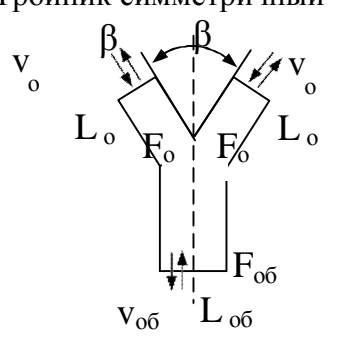
R – удельные потери давления в воздуховодах вентиляционной сети, Па/м; *L* – объем удаляемого воздуха в единицу времени, м³/ч; *v* – скорость движения воздуха, м/с; *d* – диаметр воздуховодов вентиляционной сети, мм

Рисунок Б.1 – Номограмма для определения параметров воздуховодов

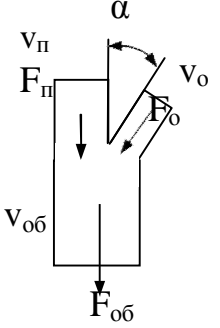
Таблица В.1 – Коэффициенты местного сопротивления для некоторых конструкций местных вытяжных отсосов

№ п/п	Конструкция вытяжного отсоса	ξ
1	Вытяжной зонт (обычный)	0,4...0,6
2	Трехсторонний верхнебоковой шаровой зонт выбивной решетки	1,2...1,3
3	Укрытие выбивной решетки, бегунов	0,8...1,2
4	Зонт-козырек над завалочным окном печи	0,6...1,1
5	Защитно-обеспыливающий кожух обдирочного станка	1,2...1,5
6	Боковая панель	0,5...0,8
7	Кольцевой отсос	1,4
8	Бортовой отсос	0,8...1,2
9	Вход в трубу $d = 100$ мм	0,3...0,5
10	Циклон	4...6

Таблица В.2 – Коэффициенты местных сопротивлений

<p>Отвод</p> 	$\xi = 0,73 \cdot a \cdot k$ Значение a, k принимается по таблицам											
	α	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	
	a	0	0,3	0,56	0,77	0,94	1,06	1,16	1,24	1,32	1,4	
	R/b	1		2		3		4		5		10
	k	0,3		0,2		0,14		0,11		0,1		0,09
<p>Тройник симметричный</p> 	Коэф- фици- ент ξ	Угол β	Всасывание при $2F_o \approx F_{об}$									
			$L_o/L_{об}$									
			1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
		45°	0,60	0,60	0,65	0,65	0,65	0,55	-0,30	-0,40	-3,4	-23
30°	0,40	0,40	0,45	0,45	0,45	0,30	-0,5	-1,5	-6,3	-38		

Продолжение таблицы В.2

Тройники несимметричные (при всасывании)	Угол между ответв- ления- ми	F_{Π}/F_0	d_{Π}/d_0	ξ_{Π} при v_0/v_{Π} (отнесен к скорости v_{Π})								
				0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
	45°	1	1	0,65	0,65	0,65	0,60	0,50	0,35	0,20	0,0	0,20
		2	1,41	0,35	0,35	0,35	0,30	0,25	0,15	0,05	-0,10	-0,25
		4	2	0,15	0,15	0,15	0,15	0,10	0,05	0	-0,10	-0,20
		9	3	0,05	0,10	0,10	0,05	0,05	0,0	0	-0,50	-0,15
	ξ_0 при v_0/v_{Π} (отнесен к скорости v_0)											
	45°	1	1	-4,05	-1,30	-0,30	0,15	0,40	0,45	0,55	0,55	0,60
		2	1,41	-4,7	-1,45	-0,40	0,10	0,35	0,45	0,5	0,6	0,6
		4	2	-4,95	-1,60	-0,45	0,05	0,35	0,045	0,55	0,6	0,65
9		3	-5,1	-1,70	-0,50	0,05	0,40	0,50	0,60	0,65	0,70	

ЛИТЕРАТУРА

- 1 ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [Электронный ресурс]. - Взамен ГОСТ 12.1.005-76 ; введ. 1989-01-01. - Электрон. дан. - Москва: Стандартинформ, 1989. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003608>. - Загл. с экрана.
2. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [Электронный ресурс] : утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора России 01.10.1996 г., № 21 ; введ. 1996-10-01. – Электрон. дан. - Москва, 1996. - Режим доступа : http://www.tehbez.ru/Docum/DocumShow_DocumID_333.html. – Загл. с экрана.
3. ГОСТ 12.0.003–74. Опасные и вредные производственные факторы [Электронный ресурс]. – Введ. 01.01.76. – Москва, 1976. - Режим доступа : https://znaytovar.ru/gost/2/GOST_12000374_SSBT_Opasnye_i_v.html. – Загл. с экрана.
4. Каледина, Н. О. Вентиляция производственных объектов [Электронный ресурс] : учеб. пособие для вузов / Н. О. Каледина ; Моск. гос. горн. ун-т. - 4-е изд., стер. - Электрон. дан. (1 файл : 5 Мб). - Москва : Изд-во МГГУ, 2008. - 193 с. – Систем. требования : Acrobat Reader.
5. Николаев, Е. Б. Промышленная вентиляция : (конспект лекций) / Е. Б. Николаев. - Донецк: ДОННТУ, 2017. – 60 с.
6. Килин, П. И. Промышленная вентиляция [Электронный ресурс] : монография / П. И. Килин, К. П. Килин. - Электрон. дан.(1 файл : 12 Мб). - Москва : УМЦ ЖДТ, 2010. - 340 с. – Систем. требования : Acrobat Reader.
7. Краснов, Ю. С. Системы вентиляции и кондиционирования [Электронный ресурс]: рекомендации для производств. и обществ. зданий : справ. пособие. - Электрон. дан.(1 файл) — Москва : Техносфера : Термокул, 2006. - 288 с. – Режим доступа : <https://www.c-o-k.ru/library/document/13211>. - Загл. с экрана.
8. Боровицкий, А. А. Современная промышленная вентиляция [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А. А. Боровицкий, С. В. Угорова, В. И. Тарасенко. – Электрон. дан (1 файл : 1 Мб). - Владимир : Изд-во ВГУ, 2011. – Систем. требования : Acrobat Reader.
9. Крупнов, Б. А. Руководство по проектированию систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха [Электронный ресурс] / Б. А. Крупнов, Н. С. Шарафадиев. - Электрон. дан. (1 файл : 17 Мб). - Москва, 2008. - 219 с. - Систем. требования : Acrobat Reader.
10. Шиляев, М. И. Типовые примеры расчета систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха : учеб. пособие / М.И. Шиляев, Е.М. Хромова, Ю.Н. Дорошенко. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2012. – 288 с.
11. Методические указания к самостоятельной работе студентов по дисциплине цикла профессионально-практической подготовки выбора вуза «Промышленная вентиляция» (горной специальности со специализацией «Технологическая безопасность и горноспасательное дело») / сост. Е. Б. Николаев. – Донецк: ДОННТУ, 2017. – 20 с.

Примечание: литературные источники 4, 5, 7, 11 являются основными.

ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

Методические указания
к практическим занятиям для студентов
специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации
«Технологическая безопасность и горноспасательное дело»

Составитель: Николаев Евгений Борисович