

## СОСТАВ ПРОЕКТА

**Расчетно-пояснительная записка** содержит оглавление, краткое описание объекта, обоснование принятых решений, расчеты в соответствии с разделами, излагаемыми далее в методических указаниях, список использованной литературы.

**Графическая часть** включает в себя:

- планы и разрезы здания с нанесением приточных и вытяжных центров, воздухопроводов, воздухоприемных и воздухораспределительных устройств, клапанов и т.п. в масштабе 1:100. Указываются размеры, отметки и привязки всех элементов вентсистем;
- аксонометрические схемы расчетных вентсистем с указанием отметок, размеров и расходов воздуха по участкам. На схемах обозначаются все элементы систем, указываются их типоразмеры;
- рабочие чертежи элементов вытяжной вентсистемы в масштабе 1:25 (вытяжной центр, содержащий аппарат для очистки воздуха, коллектор системы пневмотранспорта древесных отходов, местные отсосы и т.д.).

Образцы оформления рабочих чертежей и условные обозначения элементов вентсистем содержатся в [1÷3].

### ***1. Краткое описание объекта***

Раздел содержит:

- данные о местоположении объекта: район строительства, ориентация здания по странам света;
- описание планировочных и конструктивных решений: состав помещений, конструкции наружных ограждений (стены, ворота, остекление, фонарь), наличие технологического транспорта;
- последовательность технологических операций, их характеристики, категории работ;
- данные о вредных выделениях, физиологическое воздействие их на человека, ПДК, нижний и верхний пределы взрываемости, класс опасности [4], категории взрывопожарной опасности помещений.

### ***2. Выбор расчетных параметров наружного и внутреннего воздуха***

Для заданного географического пункта параметры наружного воздуха принимают по [6]. Условия выбора параметров сформулированы в [3, 4, 7]. Параметры внутреннего воздуха принимаются в зависимости от категории работы и величины удельных явных теплоизбытков по [4, 5].

### 3. Местная вентиляция

Местные отсосы (МО) проектируются для источников большой интенсивности. Для многих видов процессов и аппаратов разработаны типовые конструкции МО, сведения о характеристиках которых содержатся в [3,4,8÷13], а также в Приложении 1 настоящих методических указаний. Нетиповые конструкции МО разрабатываются и рассчитываются в соответствии с рекомендациями [5]. Приближенно можно считать, что отсосы открытого типа улавливают вредные выделения с эффективностью  $\eta \approx 0,75$ , для полных укрытий  $\eta \approx 1$ .

Результаты подбора и расчета МО заносятся в таблицу.

Таблица 1

Наименование помещения	Наименование оборудования, № позиции	Тип МО, эффективность улавливания	Интенсивность отсоса, м <sup>3</sup> /ч	Вид и интенсивность вредных выделений, г/ч	Количество неуловленных вредных выделений, г/ч
1	2	3	4	5	6

Для уменьшения воздухообмена рекомендуется использовать МО в комбинации с очисткой и рециркуляцией удаляемого воздуха. Характеристики индивидуальных стационарных и переносных фильтровентиляционных агрегатов с гибкими воздуховытяжными устройствами приведены в Приложении 2.

#### ПРИМЕР 1

Определить интенсивность отсоса от ванны термического обезжиривания. Температура раствора щелочи  $t_p = 70^\circ\text{C}$ . Размеры ванны  $B \times l = 0,8 \times 1,2$  м. Расстояние от зеркала раствора до борта ванны  $H_p = 0,15$  м. Температура воздуха рабочей зоны  $t_B = 20^\circ\text{C}$ .

#### Решение

1. Так как ширина ванны больше 600 мм, а расстояние от зеркала раствора до борта  $H_p > 100$  мм, принимаем к установке опрокинутый двусторонний бортовой отсос с горизонтальной щелью всасывания шириной 50 мм по длинной стороне ванны. Расчетная ширина ванны (между кромками отсосов)  $B_p = 0,8 - 2 \times 0,05 = 0,7$  м.
2. Расход воздуха, удаляемого двубортовым отсосом, определяем по [5]:

$$L = 1400 \cdot \left( 0,53 \frac{B_p l}{B_p + l} + H_p \right)^{1/3} B_p l k_{\Delta t} k_T k_1, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $k_{\Delta t} = (1 + 0,016 \Delta t)$  – коэффициент, учитывающий интенсивность естественной конвекции над поверхностью испарения;

$$\text{при } \Delta t = 70 - 20 = 50^\circ\text{C} \quad k_{\Delta t} = 1,8;$$

$k_T, k_1$  – соответственно коэффициенты, учитывающие токсичность выделений и конструкцию отсоса.

По табл. 8.1 [5] находим  $k_T=1$ ; для двубортового отсоса  $k_1 = 1$ ,

$$L = 1400 \cdot \left( 0,53 \frac{0,7 \cdot 1,2}{0,7 + 1,2} + 0,15 \right)^{1/3} \cdot 0,7 \cdot 1,2 \cdot 1,8 \cdot 1 \cdot 1 = 1530 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

### Местный приток – воздушное душирование

Условия, при которых необходимо проектировать установки для подачи охлажденного воздуха на фиксированные рабочие места, а также параметры, которые должны быть обеспечены на этих местах, указаны в [3÷5,7,8].

Целью расчета является определение расхода и температуры подаваемого воздуха при заданной интенсивности теплового облучения, выбранном типе и расположении душирующего патрубка.

### **ПРИМЕР 2**

Рассчитать воздушное душирование рабочего места у загрузочного отверстия камерной газовой печи. Категория работ – тяжелая.

Параметры наружного воздуха (теплый период):  $t_n^A = 24,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $I_n^A = 40,5 \text{ кДж/кг}$ . Температура воздуха в помещении при значительных избытках явного тепла  $t_B = t_n^A + 5 = 24,3 + 5 = 29,3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Нормируемые параметры воздуха на рабочем месте – температура  $t_{p.m.} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$  при подвижности воздуха  $v_{p.m.} = 1,5 \text{ м/с}$  (табл. 4.6 [4]).

#### **Решение**

**1.** Для охлаждения наружного воздуха используем адиабатический процесс. Построение на  $I-d$  диаграмме (см. стр.14) дает температуру воздуха на выходе из камеры орошения  $t_k = 16 \text{ }^\circ\text{C}$ . Учитывая нагрев воздуха в вентиляторе и воздуховодах  $\Delta t = 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , рассчитываем температуру воздуха на выходе из душирующего патрубка

$$t_o = t_k + \Delta t = 16 + 1,5 = 17,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

**2.** Определяем отношение разностей температур:

$$P_T = \frac{t_B - t_{p.m.}}{t_B - t_o} = \frac{29,3 - 21,0}{29,3 - 17,5} = 0,7.$$

Так как  $P_T$  лежит в пределах от 0,6 до 1, то адиабатическое охлаждение может быть использовано. Расчет ведется по формулам (6.1÷6.2) [5].

**3.** Принимаем к установке патрубок типа ППД ( $n=4,5$ ,  $m=6,3$ ), табл. 6,3 [5]. Патрубок устанавливается на высоте 1,8 м от пола и на расстоянии  $x=1,5$  м до рабочего места. Ось патрубка направляется на грудь работающего под углом  $45^\circ$ .

**4.** Определяем площадь выходного сечения патрубка:

$$F_o = \left( \frac{x + 5,3P_T - 3,2}{0,75n} \right)^2 = \left( \frac{1,5 + 5,3 \cdot 0,7 - 3,2}{0,75 \cdot 4,5} \right)^2 = 0,35 \text{ м}^2$$

Устанавливаем ближайший больший патрубок ППД-10 с площадью  $F_o = 0,41 \text{ м}^2$ .

5. Определяем скорость воздуха на выходе из патрубка:

$$v_o = \frac{v_{p.m.}}{0,7 + 0,1(0,8m\sqrt{F_o} - x)} = \frac{1,5}{0,7 + 0,1(0,8 \cdot 6,3\sqrt{0,41} - 1,5)} = 1,72 \text{ м/с.}$$

6. Расход воздуха, подаваемого душирующим патрубком,

$$L = 3600 \cdot F_o \cdot v_o = 3600 \cdot 0,41 \cdot 1,72 = 2540 \text{ м}^3/\text{ч}$$

7. Температура воздуха на выходе из душирующего патрубка в холодный период года ( $t_B = 16^\circ\text{C}$ ) определяется из соотношения

$$F_o = \left[ \frac{(t_B - t_{p.m.})x}{(t_B - t_o)n} \right]^2 = 0,41 \text{ м}^2,$$

откуда

$$t_o = t_B - \frac{(t_B - t_{p.m.})x}{n\sqrt{F_o}} = 16 - \frac{(16 - 21)1,5}{4,5\sqrt{0,41}} = 20,1 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Работа форсуночной камеры в холодный период года прекращается. Воздух нагревается в калориферах до температуры

$$t_k = 20,1 - 1,5 = 18,6 \text{ }^\circ\text{C.}$$

## Воздушные завесы

Рассчитывается воздушная завеса (ВЗ) шиберующего типа у ворот. Нормативные условия по устройству ВЗ содержатся в [4, 5]. Расчетом определяются: расход и температура подаваемого воздуха; тепловая мощность ВЗ; дополнительные теплопотери на нагрев воздуха, проникающего через открытые ворота. Характеристики устанавливаемых завес принимаются по таблицам 4.3 и 4.4 [4], 7.1 [5] или по Приложению 3 методических указаний.

### **ПРИМЕР 3**

Рассчитать воздушную завесу для раздвижных ворот размерами  $B \times H = 4 \times 3$  м в цехе, где аэрационные проемы в холодный период года закрыты. Расчетная температура наружного воздуха зимой  $t_n^B = -32^\circ\text{C}$ , плотность  $\rho_n = 1,46 \text{ кг/м}^3$ . Температура воздуха в рабочей зоне  $t_B = 18^\circ\text{C}$ ,  $\rho_B = 1,21 \text{ кг/м}^3$ . Продолжительность открывания ворот – 1,5 ч в смену. Категория работ в цехе – средней тяжести, рабочие места вблизи ворот защищены ширмами. Суммарная длина притворов окон, расположенных в нижней зоне помещения, –  $l_{\Pi} = 640$  м, суммарная длина притворов створок светового фонаря –  $l_B = 500$  м. Вертикальное расстояние между центром ворот и центром фрамуг фонаря  $h_2 = 4$  м. Расстояние между центрами ворот и окон  $h_1 = 0$ . Объемы воздуха, подаваемого в цех и удаляемого из цеха механической вентиляцией, сбалансированы. Теплоноситель – вода 150 / 70  $^\circ\text{C}$ .

### **Решение.**

1. Температуру смеси воздуха в рабочей зоне вблизи ворот в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями [4, 7] принимаем  $t_{CM} = 12^\circ\text{C}$ ,  $\rho_{CM} = 1,24 \text{ кг/м}^3$ .
2. Определяем расход воздуха для завесы:

$$G_3 = 3600 \bar{q} \mu_{np} F_{np} \sqrt{2 \Delta p \rho_{cm}}, \quad \text{кг/ч},$$

где  $F_{np}$  – площадь проема ворот, м<sup>2</sup>;  $\bar{q} = 0,6 \div 0,7$  – рекомендуемое отношение расхода воздуха завесы к расходу воздуха, проходящего через ворота при работе завесы;  $\mu_{np}$  – коэффициент расхода проема ворот при работе воздушной завесы, определяемый по табл. 4.1 [4] в зависимости от  $\bar{q}$  и рекомендуемого отношения площади проема к площади воздухоподводящей щели  $\bar{F} = 20 \div 30$  (при  $\bar{F} = 20$  и  $\bar{q} = 0,6 \rightarrow \mu_{np} = 0,32$ );  $\Delta p$  – разность давлений воздуха снаружи и внутри цеха на уровне ворот

$$\Delta p = gh(\rho_n - \rho_B) = 9,81 \cdot 3,5 \cdot (1,46 - 1,21) = 8,6 \text{ Па},$$

здесь  $h$  – высота расположения нейтральной зоны (уровня равных давлений снаружи и внутри помещения), ориентировочно определяется по табл. 4.2 [4]:

$$h = h_1 + \frac{h_2}{0,25 \left( \frac{l_{II}}{l_B} \right)^2 + 1} = 0 + \frac{5}{0,25 \left( \frac{640}{500} \right)^2 + 1} = 3,5 \text{ м};$$

Тогда

$$G_3 = 3600 \cdot 0,6 \cdot 0,32 \cdot 12 \sqrt{2 \cdot 8,6 \cdot 1,24} = 38300 \text{ кг/ч}.$$

**3.** По табл. 4.4 принимаем к установке двустороннюю боковую завесу по серии 1.494-2 (2 агрегата А6.3105-2 с общей производительностью по воздуху  $G_3 = 2 \times 17000 \times 1,2 = 40800$  кг/ч. Ширина щели воздухоподводящего короба -  $b_{щ} = 200$  мм).

**4.** Фактические значения  $\bar{q}$  и  $\bar{F}$  для выбранной завесы составляют:

$$\bar{F} = \frac{F_{np}}{F_{щ}} = \frac{F_{np}}{2b_{щ}H} = \frac{12}{2 \cdot 0,2 \cdot 3} = 10;$$

$$\bar{q} = \frac{G_3}{3600 \mu_{np} F_{np} \sqrt{2 \Delta p \rho_{cm}}} = \frac{40800}{3600 \cdot 0,32 \cdot 12 \sqrt{2 \cdot 8,6 \cdot 1,24}} = 0,64.$$

**5.** Температура воздуха, подаваемого в завесу,

$$t_3 = t_n + \frac{t_{cm} - t_n}{\bar{q}(1 - \bar{Q})} = -32 + \frac{12 + 32}{0,64 \cdot (1 - 0,04)} = 39,6 \text{ }^\circ\text{C},$$

где  $\bar{Q}$  – отношение количества тепла, теряемого с воздухом, уходящим через открытый проем наружу, к тепловой мощности калориферов завесы

$$\text{(при } \bar{F} = 10 \text{ и } \bar{q} = 0,64 \text{ } \bar{Q} = 0,04 \text{, рис. 4.1[4]).}$$

Найденная температура завесы не превышает допустимой  $t_3^{don} = 70^\circ\text{C}$  (п.4.4.6 [7]).

**6.** Расход тепла на воздушную завесу:

$$Q_3 = 0,278 \cdot G_3 \cdot c_p (t_3 - t_{cm}) = 0,278 \cdot 40800 \cdot 1,005 (39,6 - 12) = 314620 \text{ Вт},$$

где  $c_p = 1,005$  кДж/кг  $^\circ\text{C}$  – теплоемкость воздуха;  $t_{cm} = 12^\circ\text{C}$  – воздух для завесы забираем из помещения вблизи ворот.

**7.** Потери теплоты на нагрев воздуха, прорывающегося при открывании ворот:

$$Q = \frac{0,278G_3}{\bar{q}} c_p (t_B - t_{cm}) \frac{\tau}{60} = \frac{0,278 \cdot 40800}{0,64} 1,005 \cdot (18 - 12) \frac{12}{60} = 21370 \text{ Вт},$$

где  $\tau = 12$  мин – продолжительность открывания ворот в пределах одного часа.

#### 4. Расчет теплопотерь

Теплопотери помещения, включающие затраты на нагрев инфильтрующегося воздуха, упрощенно можно подсчитать по формуле

$$Q_n = qV(t_B - t_H), \text{ Вт}, \quad (1)$$

где  $q$  – удельная тепловая характеристика, Вт/м<sup>3</sup>°С ( $q=0,2$  Вт/м<sup>3</sup>°С – для горячих цехов,  $q=0,25$  Вт/м<sup>3</sup>°С – для механических и деревообрабатывающих цехов,  $q=0,3$  Вт/м<sup>3</sup>°С – для влажных цехов);  $t_B$  и  $t_H$  – соответственно расчетные зимние температуры внутреннего воздуха и наружного для проектирования отопления, °С.

Теплопотери, с нагревом поступающих материалов и транспорта подсчитываются по методике, изложенной в [3, 9]. О потерях теплоты при открывании ворот см. выше.

#### 5. Расчет поступления вредных выделений в помещение.

Расчет тепlopоступлений [3÷5, 9].

В летний период теплота в помещение поступает от людей, от оборудования (агрегаты, приводимые в действие электродвигателями, генераторы тока, электро- и газосварка, нагретые поверхности технологических трубопроводов и оборудования, промышленные печи, остывающие материалы, продукты сгорания топлива и др.), с солнечной радиацией через остекление и покрытие.

В холодный период необходимо учитывать тепловыделения от людей, освещения, оборудования и от приборов дежурного отопления, тепловая мощность которых подсчитывается по формуле (1) при  $t_B = +5^\circ\text{C}$ .

Если в помещении имеются влаговыведения, то определяются также скрытые и полные тепловыделения:

$$Q_{скр} = 0,278 \cdot W \cdot r, \text{ Вт}, \quad (2)$$

$$Q_n = Q_{я} + Q_{скр}, \text{ Вт}. \quad (3)$$

где  $W$  – влаговыведения, кг/ч;  $r = 2500$  кДж/кг – скрытая теплота испарения.

По результатам расчетов составляется таблица тепловых балансов для двух периодов года.

Таблица 2

Наименование помещения	Период года	Теплопоступления, Вт		Теплопотери, Вт	Избыток теплоты, Вт	Недостаток теплоты, Вт
		явные	полные			
1	2	3	4	5	6	7
	Лето					
	Зима					

### Расчет влаговыделений [3÷5, 9].

Подсчитываются влаговыделения от людей, металлорежущего оборудования с эмульсионным охлаждением, с открытых поверхностей испарения в ваннах, баках, со смоченных поверхностей оборудования, изделий, ограждений.

### Расчет газовыделений [3÷5, 9].

Основными источниками являются промышленные печи, сварочные агрегаты, гальванические и травильные ванны, процессы окраски, склеивания и др. Подсчитывая количество вредных выделений, необходимо учитывать, что от оборудования, снабженного МО, в помещение попадает лишь часть выделений, равная  $(1-\eta)$ , где  $\eta$  - эффективность действия местного отсоса (см. табл. 1).

### **ПРИМЕР 4**

Определить интенсивность выделений в помещение при травлении деталей в ванне с соляной кислотой, содержащей 32%  $HCl$  при температуре раствора  $t_p=55^\circ C$ . Габариты ванны –  $0,8 \times 1,2 \times 0,9(h)$  м, интенсивность отсоса  $L=1600$  м<sup>3</sup>/ч, эффективность действия отсоса  $\eta=0,75$ . Площадь поверхности испарения  $F=0,7 \times 1,2=0,84$  м<sup>2</sup>. Температура воздуха рабочей зоны  $t_B=15^\circ C$ , плотность  $\rho_B=1,22$  кг/м<sup>3</sup>, подвижность воздуха  $v_B=0,3$  м/с. Барометрическое давление  $P_0=99$  кПа, относительная влажность  $\phi=65\%$ . Концентрация паров  $HCl$  в воздухе помещения  $Z_2=ПДК=5$  мг/м<sup>3</sup> (прил.1 [13]).

### **Решение**

В рассматриваемой задаче рассчитываются: тепловыделения с поверхности горячего раствора; теплота, отдаваемая стенками ванны; влаговыделения с поверхности испарения; выделения паров хлористого водорода.

1. Теплопоступления с открытой поверхности горячего раствора определяем по формуле (2.50)[4]:

$$Q_{нов} = (5,71 + 4,06v_B)(t_{нов} - t_B)F, \text{ Вт},$$

где  $t_{нов}$  - температура поверхности раствора,  $^\circ C$ ;  $t_{нов} = 48^\circ C$  при  $t_p = 55^\circ C$  (см. табл. 1.7 [4]):

$$Q_{нов} = (5,71 + 4,06 \cdot 0,3)(48 - 15) \cdot 0,84 = 192 \text{ Вт}.$$

2. Теплота, отдаваемая стенками ванны -

$$Q_{см} = (\alpha_d + \alpha_k)(t_{см} - t_B)F_{см}, \text{ Вт},$$

где  $t_{cm}$  - температура поверхности стенки, °С. Принимаем  $t_{cm} = t_p = 55^\circ\text{C}$ .

$F_{cm}$  - площадь вертикальных стенок ванны;  $F_{cm} = 3,36 \text{ м}^2$ .

$\alpha_l$  и  $\alpha_k$  - коэффициенты теплоотдачи стенок излучением и конвекцией,  $\text{Вт/м}^2\text{°C}$ , определяемые по формулам (2.30) и (2.31) [4]:

$$\alpha_l = c_{np} \left[ \left( \frac{273 + t_{cm}}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + t_B}{100} \right)^4 \right] \frac{1}{t_{cm} - t_B} = 5,8 \text{ Вт/м}^2\text{°C},$$

здесь  $c_{np} = 4,9 \text{ Вт/м}^2\text{°K}^4$  - приведенный коэффициент излучения.

Для вертикальных стенок  $\alpha_k = 2,56 \cdot \sqrt[4]{t_{cm} - t_B} = 4,1 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$ .

$$Q_{cm} = (5,8 + 4,1)(55 - 15) \cdot 3,36 = 1330 \text{ Вт}.$$

Так как двусторонний бортовой отсос закрывает  $\approx 30\%$  площади боковых стенок ванны, теплопоступления в помещение составят

$$Q_{cm} = 1330 \cdot 0,7 = 930 \text{ Вт}.$$

**3.** Скрытые тепловыделения подсчитываются по формуле (2). Влаговыделения с поверхности испарения:

$$W = 7,4(a + 0,017\nu_B)(P_2 - P_1) \frac{101,33}{P_0} F, \text{ кг/ч},$$

$a$  - слагаемое, учитывающее влияние естественной конвекции на интенсивность испарения:

$$a = 0,035 \text{ при } t_p = 55^\circ\text{C} [4];$$

$P_2$  - парциальное давление водяных паров над 32%-ным водным раствором  $\text{HCl}$  при температуре поверхности раствора  $t_{нов} = 48^\circ\text{C}$  (прил. 4 [13]),  $P_2 = 2,453 \text{ кПа}$ ;

$P_1$  - парциальное давление водяного пара в воздухе рабочей зоны, кПа - определяется по  $I-d$  диаграмме (при  $t_B = 15^\circ\text{C}$  и  $\varphi = 65\%$   $P_1 = 1,2 \text{ кПа}$ ).

$$W = 7,4(0,035 + 0,017 \cdot 0,3)(2,453 - 1,2) \frac{101,33}{99,0} \cdot 0,84 = 0,34 \text{ кг/ч}.$$

$$Q_{скр} = 0,278 \cdot 0,34 \cdot 2500 = 236,3 \text{ Вт}.$$

При эффективности действия бортового отсоса  $\eta = 0,75$ , поступление влаги и скрытой теплоты в помещение составит:

$$W = 0,34 \cdot 0,25 = 0,085 \text{ кг/ч}; \quad Q_{скр} = 60 \text{ Вт}.$$

**4.** Полные тепловыделения в помещение от ванны составят

$$\Sigma Q_n = Q_{нов} + Q_{cm} + Q_{скр} = 192 + 1330 + 60 = 1580 \text{ Вт}.$$

**5.** Количество паров хлористого водорода, выделяющегося с открытой поверхности раствора, определяем по формуле (стр.13 [13])

$$M_{\text{HCl}} = 0,93k_T D(Z_1 - Z_2)L^{0,9} \cdot B_p^{0,1} \cdot F \cdot \varphi^{-0,9}, \text{ кг/ч},$$

где  $k_T$  - коэффициент, зависящий от разности температур раствора и воздуха рабочей зоны:  $k_T = 0,48$  при  $\Delta t = t_p - t_B = 55 - 15 = 40^\circ\text{C}$ ;  $D$  - коэффициент диффузии пара  $\text{HCl}$  в воздухе;



$$D = D_o \left( \frac{273 + t_p}{273} \right)^2 \cdot \frac{101,33}{P_6} = 0,047 \left( \frac{273 + 55}{273} \right)^2 \cdot \frac{101,33}{99,0} = 0,069 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$D_o = 0,047 \text{ м}^2/\text{ч}$  - коэффициент диффузии хлористого водорода при нормальных условиях [9, 13];  $Z_1$  - концентрация паров  $HCl$  над поверхностью раствора;

$$Z_1 = \frac{\bar{m}_{HCl}}{\bar{m}_B} \frac{P_{HCl}}{P_6 - P_{HCl}} \rho_B, \text{ кг/м}^3, \text{ где}$$

$\bar{m}_{HCl} = 36,46 \text{ кг/моль}$ ;  $\bar{m}_B = 29,2 \text{ кг/моль}$  - молярные массы  $HCl$  и воздуха;

$P_{HCl}$  - парциальное давление паров  $HCl$  над поверхностью раствора, кПа (прил. 3 [13]);

$P_{HCl} = 16,98 \text{ кПа}$  при  $t_{пов} = 48 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$$Z_1 = Z_{HCl} = \frac{36,46}{29,2} \cdot \frac{16,98}{(99,0 - 16,98)} \cdot 1,22 = 0,31 \text{ кг/м}^3;$$

$B_p = 0,7 \text{ м}$  - рабочая ширина ванны;  $\varphi$  - пространственный угол подтекания воздуха к щели отсоса, рад,  $\varphi = 1,5 \pi$  - для отдельно стоящей ванны.

$$M_{HCl} = 0,93 \cdot 0,48 \cdot 0,069 (0,31 - 0,0005) 1600^{0,9} \cdot 0,7^{0,1} \cdot 0,84 \cdot (1,5 \times 3,14)^{-0,9} = 1,47 \text{ кг/ч.}$$

Так как бортовым отсосом уносится 75% выделяющихся паров, в помещение поступит

$$M_{HCl} = 1,47(1 - 0,75) = 0,37 \text{ кг/ч.}$$

## ПРИМЕР 5

Определить валовое выделение теплоты и вредных веществ, попадающих в воздух сварочного отделения с фиксированными рабочими местами. Ручная электросварка мелких изделий производится электродами марки УОНИ-13/45 на четырех постах, оборудованных панелями равномерного всасывания по сер. 4-904-37. Полуавтоматическую сварку стали в среде  $CO_2$  с применением электродной проволоки СВ-10Г2Н2-СМТ производят на трех столах сварщика, оборудованных встроенными местными отсосами. Ацетилено-кислородная резка малоуглеродистой стали толщиной  $\delta = 40 \text{ мм}$  выполняется на механизированной линии резки. Расход сварочного материала на 1 пост: электроды УОНИ-13/45 -  $G_3 = 5 \text{ кг/ч}$ ; проволока СВ-10Г2Н2-СМТ -  $G_n = 4 \text{ кг/ч}$ , ацетилен -  $G_2 = 0,37 \text{ кг/с}$ . Скорость резки составляет 1 м/мин. Установочная мощность сварочного оборудования -  $N = 70 \text{ кВт}$ .

### Решение

По табл. 7.19 [4] для сварки электродами УОНИ-13/45 определяем, что основной вредностью является сварочный аэрозоль (оксиды железа) и окислы марганца. Удельные выделения аэрозоля  $m_{FeO}$  составляют 13,6 г на 1 кг израсходованных электродов; поступление марганца и его окислов -  $m_{MnO} = 0,51 \text{ г/кг}$ .

Расчет валовых выделений с учетом количества сварочных постов  $n = 4$  и расходуемых электродов  $G_3 = 5 \text{ кг/ч}$  на 1 чел производим по формуле:

$$M_{FeO} = 10^{-3} n G_3 m_{FeO} (1 - \eta) = 10^{-3} \cdot 4 \cdot 5 \cdot 13,6 \cdot (1 - 0,75) = 0,068 \text{ кг/ч};$$

$$M_{MnO} = 10^{-3} nG_3 m_{MgO} (1 - \eta) = 10^{-3} \cdot 4 \cdot 5 \cdot 0.56 \cdot (1 - 0.75) = 0.00224 \text{ кг/ч.}$$

При проведении полуавтоматической сварки удельные выделения на 1 кг израсходованной проволоки СВ-10Г2Н2-СМТ составляют (табл. 7.19 [4]): сварочный аэрозоль  $m_{FeO} = 12$  г, окислы марганца  $m_{MnO} = 0.14$  г. Валовые выделения вредных веществ от 3 столов:

$$M_{FeO} = 10^{-3} \cdot 3 \cdot 4 \cdot 12.0 \cdot (1 - 0.75) = 0.036 \text{ кг/ч;}$$

$$M_{MnO} = 10^{-3} \cdot 3 \cdot 4 \cdot 0.14 \cdot (1 - 0.75) = 0.00042 \text{ кг/ч.}$$

По табл. 7.18 [4] при резке углеродистых и низколегированных сталей выделение сварочного аэрозоля  $m_{FeO}$  принимаем 0.45 г на 1 м длины реза при толщине листа 1 мм. Примесь оксидов марганца (3%):  $0.45 \times 0.03 = 0.013$  г/м. Учитывая, что до 10÷15% рабочего времени затрачивается на подготовительные работы, общая длина реза в час составит  $l = 1 \cdot 60 \cdot 0.85 = 51$  м. При эффективности отсоса  $\eta = 75\%$  валовые выделения веществ на линии резки составят:

$$M_{FeO} = 10^{-3} n l \delta m_{FeO} (1 - \eta) = 10^{-3} \cdot 1 \cdot 51 \cdot 40 \cdot 0.45 \cdot (1 - 0.75) = 0.23 \text{ кг/ч.}$$

$$M_{MnO} = 10^{-3} n l \delta m_{MnO} (1 - \eta) = 10^{-3} \cdot 1 \cdot 51 \cdot 40 \cdot 0.013 \cdot (1 - 0.75) = 0.0063 \text{ кг/ч.}$$

Теплопоступления в помещение от постов электродуговой сварки определяем по формуле

$$Q = 10^3 kN = 1000 \cdot 0.28 \cdot 70 = 19600 \text{ Вт,}$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий преобразование электрической энергии сварочной дуги в тепловую (для ручной электросварки электродами с качественным покрытием принимается  $k=0.25$ , для полуавтоматической сварки в среде  $CO_2$  –  $k=0.3$ ; для автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом –  $k=0.1$ ).

Теплопоступления от линии резки ацетиленом рассчитываем по формуле (2.42) [4]:

$$Q = 10^3 G_2 Q_H^p \eta_2 k_3 = 1000 \cdot 0.37 \cdot 56100 \cdot 0.85 \cdot 0.8 = 14100 \text{ Вт,}$$

где  $Q_H^p$  – низшая теплота сгорания ацетилена, кДж/кг (табл. 1.15 [4]);  $\eta_2$  – коэффициент использования горелок, принимаемый 0.85;  $k_3$  – коэффициент загрузки оборудования.

Также справочные данные о количестве вредных выделений от оборудования цехов холодной обработки металлов (механические цеха) и сварки, литейных производств приводятся в справочных указаниях <sup>1, 2</sup> (доступны в электронном виде по гиперссылкам в сносках).

<sup>1</sup> Зиганшин А.М., Кареева Ю.Р. Вредные выбросы промышленных производств. Цехи холодной обработки металлов и сварочного производства. Справочное издание для курсового проектирования по дисциплинам «Вентиляция» и «Процессы и аппараты газоочистки» для студентов направления 270800 – «Строительство» (квалификация «бакалавр») / Сост. А.М. Зиганшин, Ю.Р. Кареева. – Казань: КГАСУ, 2015. – 16 с. (URL: [https://www.kgasu.ru/upload/iblock/999/metal-machining\\_welding\\_MU\\_bac.pdf](https://www.kgasu.ru/upload/iblock/999/metal-machining_welding_MU_bac.pdf))

<sup>2</sup> Зиганшин А.М., Кареева Ю.Р. Вредные выбросы промышленных производств. Литейное производство. Справочное издание для курсового проектирования по дисциплинам «Вентиляция» и «Процессы и аппараты газоочистки» для студентов направления 08.03.01 – «Строительство» (квалификация «бакалавр») / Сост. А.М. Зиганшин, Ю.Р. Кареева. – Казань: КГАСУ, 2016. – 18 с. (URL: [https://www.kgasu.ru/upload/iblock/543/mu\\_sv\\_vrednye-vybrosy-promyshlennykh-proizvodstv.-litye-noe-proizvodstvo.pdf](https://www.kgasu.ru/upload/iblock/543/mu_sv_vrednye-vybrosy-promyshlennykh-proizvodstv.-litye-noe-proizvodstvo.pdf))

## 6. Расчет интенсивности систем общеобменной вентиляции (СОВ)

Интенсивность СОВ определяется по каждому виду вредных выделений. За расчетную принимается наибольшая интенсивность.

Расход воздуха, удаляемого из помещения (СОВ), определяется по формулам:

- при наличии явных теплоизбытков

$$G_B = \frac{3,6Q_{\text{я}} - G_{\text{мв}}c_p(t_B - t_{\text{нр}}) + G_{\text{мн}}c_p(t_{\text{нр}} - t_{\text{мн}})}{c_p(t_{\text{уд}} - t_{\text{нр}})}, \quad \text{кг/ч}; \quad (4)$$

- при наличии тепло- и влаговывделений

$$G_B = \frac{3,6Q_n - G_{\text{мв}}(I_B - I_{\text{нр}}) + G_{\text{мн}}(I_{\text{нр}} - I_{\text{мн}})}{I_{\text{уд}} - I_{\text{нр}}}, \quad \text{кг/ч}; \quad (5)$$

- при наличии газовой выделений

$$G_B = \frac{M - G_{\text{мв}}(Z_B/\rho_B - Z_{\text{нр}}/\rho_{\text{нр}})}{Z_{\text{уд}}/\rho_{\text{уд}} - Z_{\text{нр}}/\rho_{\text{нр}}}, \quad \text{кг/ч}. \quad (6)$$

В формулах (4)÷(6):  $Q_{\text{я}}$  и  $Q_n$  – избытки явной и полной теплоты в помещении летом, Вт;  $G_{\text{мв}}$  и  $G_{\text{мн}}$  – соответственно расходы воздуха, удаляемого из помещения местными вытяжными и подаваемого местными приточными системами, кг/ч;  $t_B(I_B)$ ,  $t_{\text{нр}}(I_{\text{нр}})$ ,  $t_{\text{мн}}(I_{\text{мн}})$  – соответственно температуры (энтальпии) воздуха: в рабочей зоне помещения; воздуха, подаваемого в помещение СОВ; воздуха, подаваемого местными приточными системами, °С (кДж/кг);  $t_{\text{уд}}(I_{\text{уд}})$  – температура (энтальпия) воздуха, удаляемого из помещения СОВ, °С (кДж/кг);

$$t_{\text{уд}} = t_{\text{нр}} + (t_B - t_{\text{нр}})k_t, \quad (7)$$

где  $k_t$  – коэффициент, значение которого зависит от теплонапряженности помещения и принятой схемы воздухораспределения (см. табл. 6.1÷6.3 [4]);  $M$  – количество выделяющейся в помещение вредной примеси, мг/ч;  $Z_B, Z_{\text{уд}}, Z_{\text{нр}}$  – соответственно концентрация примеси в воздухе рабочей зоны; в воздухе, удаляемом из помещения и подаваемого СОВ, мг/м<sup>3</sup>;

$$Z_B = \text{ПДК} [3,4]; \quad Z_{\text{нр}} = 0,3\text{ПДК};$$

$$Z_{\text{уд}} = Z_B \cdot k_Z, \quad (8)$$

$k_Z$  – коэффициент, по смыслу аналогичный  $k_t$  и выбираемый по табл. 6.2 [4].

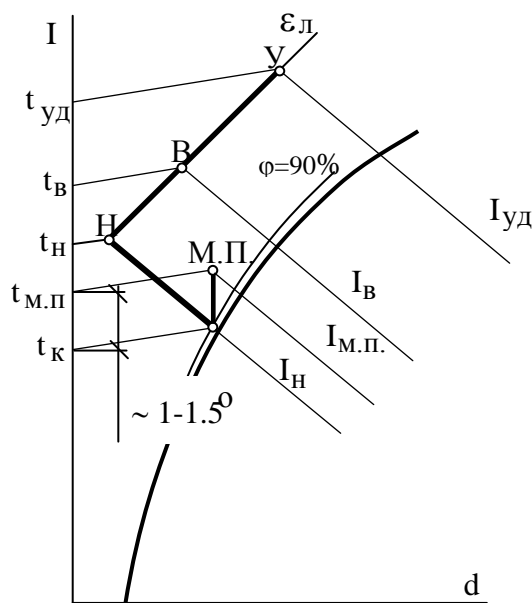
Значения  $I_B, I_{мн}, I_{уд}$  определяются с помощью  $I-d$  диаграммы (см. рисунок).

Если в помещении выделяется несколько разных примесей однонаправленного действия, то расчет ведется по каждой примеси и найденные воздухообмены складываются.

Если при расчете по формулам (4)÷(6) окажется, что  $G_B < 0$ , то нужно принять  $G_B = 0$ . Такая ситуация означает, что реальная температура воздуха в рабочей зоне помещения окажется ниже расчетной, что для лета факт положительный.

Расход приточного воздуха, подаваемого СОВ, определяется из балансового соотношения;

$$G_{пр} = G_B + G_{мв} - G_{мл} \quad (9)$$



Если в помещении нет систем местной вытяжки или притока, то в уравнениях (4)÷(9) соответствующие члены выпадают.

Расчет температуры воздуха, подаваемого зимой приточными СОВ, ведется по формуле

$$t_{пр} = t_B - \frac{3,6Q_{Я}}{c_p G_{пр}} \quad (10)$$

Для помещений с влаговыведениями температура приточного воздуха определяется с помощью построений на  $I-d$  диаграмме (см. курсовой проект № 1).

По результатам расчета интенсивности местных и общеобменных систем вентиляции составляется таблица воздушных балансов.

Таблица 3

Наименование помещений	Объем помещ., м <sup>3</sup>	Время года	Избытки или недостатки тепла, Вт	Приток				Вытяжка					
				Местный, кг/ч	Общеобменный, кг/ч	Всего, кг/ч	Кратность, 1/ч	Температура, °С		Местная, кг/ч	Общеобменная, кг/ч	Всего, кг/ч	Кратность, 1/ч
								t <sub>пр</sub>	t <sub>мп</sub>				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		Лето											
		Зима											

Подробные расчеты балансов вредных выделений и интенсивности СОВ делаются только для одного помещения (по указанию руководителя). Для остальных помещений воздухообмен принимается равным интенсивности местной вытяжки (т.е.  $G_{np} = G_{mv}$ ) или рассчитывается по нормам кратности.

### ПРИМЕР 6

Определить воздухообмен в цехе размерами  $18 \times 30 \times 8,5(h)$  м при следующих исходных данных. Расчетные параметры наружного воздуха: в летний период  $t_H^A = 22^\circ\text{C}$ ,  $I_H^A = 54,2$  кДж/кг; в зимний -  $t_H^B = -15^\circ\text{C}$ ,  $I_H^B = -18$  кДж/кг. Категория работ в цехе – средней тяжести. Температура воздуха рабочей зоны летом  $t_B = t_H^A + 3^\circ = 22 + 3 = 25^\circ\text{C}$ . Технологический процесс в цехе сопровождается выделением тепла и влаги  $W = 122,5$  кг/ч. Теплоизбытки в летний период (включая солнечную радиацию) составляют  $Q_n = 69840$  Вт. Предусматривается использование механической вентиляции по схеме «снизу-вверх». Интенсивность местных отсосов –  $G_{mv} = 62800$  кг/ч. Расход воздуха на местное душирование –  $G_{mn} = 2500$  кг/ч,  $t_{mn} = 18^\circ\text{C}$ ,  $I_{mn} = 45$  кДж/кг. Газовыделения в цехе незначительны.

#### Решение

1. Интенсивность вытяжной общеобменной вентиляции определяем по формуле (5). Необходимые значения  $I_B = 58,7$  кДж/кг,  $I_{уд} = 60,3$  кДж/кг находим построением соответствующих процессов на  $I-d$  диаграмме (см. рис.):

$$G_B = \frac{3,6 \cdot 69840 - 62800 \cdot (58,7 - 54,2) + 2500 \cdot (54,2 - 45,0)}{60,3 - 54,2} = -1550 \text{ кг/ч};$$

$$G_B < 0, \quad \rightarrow \quad G_B = 0.$$

2. Так как значение  $G_B = 0$ , то интенсивность общеобменного притока составит:

$$G_{np} = G_{mv} - G_{mn} = 62800 - 2500 = 60300 \text{ кг/ч.}$$

3. Объемный расход приточного воздуха

$$L_{np} = \frac{G_{np}}{\rho_B} = \frac{60300}{1,2} = 50250 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

4. Кратность воздухообмена в цехе

$$kr = \frac{L_{np}}{V} = \frac{50250}{18 \times 30 \times 8,5} \approx 11 \text{ 1/ч.}$$

### 7. Выбор проектных решений

Рекомендации по устройству систем вентиляции в производственных помещениях различного назначения содержатся в [3÷5, 8÷13].

### 8. Подбор воздухораспределителей приточных СОВ

Выбрав в соответствии с рекомендациями [5] схему подачи приточного воздуха, расположение, количество и тип воздухораспределителей, расчетом определяют их размеры и скорость подачи приточного воздуха, при которых в расчетной точке помещения подвижность воздуха не превышает нормируемой. Если расчет дает неприемлемые результаты (неконструктивные размеры воздухораспределителей, скорость истечения воздуха, превышающая акустические ограничения), то необходимо изменить количество воздухораспределителей или их тип, или принять другую схему подачи воздуха.

### **9. Аэродинамический расчет систем вентиляции**

Необходимо рассчитать одну приточную и одну вытяжную системы. Последняя должна содержать аппарат для очистки воздуха от пыли. Для деревообрабатывающего цеха рассчитывают систему аспирации. Примеры аэродинамического расчета систем можно найти в [3÷5], номера типовых серий аспирационных коллекторов можно найти на странице сайта кафедры в разделе [«Литература для проектирования»](#). По результатам расчета подбираются вентагрегаты [5].

### **10. Расчет и подбор аппаратов для обработки воздуха**

Рассчитываются и подбираются калориферы и фильтры приточной системы [5]. Подбираются аппараты для очистки вытяжного воздуха от пыли, аэрозолей кислот и щелочей гальванического производства [3÷5, 13]. Примеры оформления элементов вытяжных центров приведены в Приложении 4.

#### **Рекомендуемая литература**

1. ГОСТ 21.602-2016 Система проектной документации для строительства (СПДС). Правила выполнения рабочей документации систем отопления, вентиляции и кондиционирования [Электронный ресурс] // Информационно-справочная система «Техэксперт». URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200142447> (дата обращения: 16.07.2018).
2. Стандарт АВОК 1.05-2006. Условные графические обозначения в проектах отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и теплохолодоснабжения [Электронный ресурс] // Информационно-справочная система «Техэксперт». URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200045523> (дата обращения: 16.07.2018).
3. Волков О.Д. Проектирование вентиляции промышленного здания. – Харьков: Выща школа, 1989. – 240 с.
4. Проектирование промышленной вентиляции: Справочник / Торговников Б.М., Табачник В.Е., Ефанов Е.М. – Киев: Будивельник, 1983. – 256 с.
5. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1992. – Кн.1 – 319 с.; Кн. 2 – 416 с.
6. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\* (с Изменениями N 1, 2) [Электронный ресурс] // Информационно-справочная система «Техэксперт». URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095546> (дата обращения: 16.07.2018).
7. СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 [Электронный ресурс] // Информационно-справочная

система «Техэксперт». URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054205> (дата обращения: 16.07.2018).

8. Указания по проектированию отопления и вентиляции предприятий машиностроительной промышленности. – М.: ГПИ Сантехпроект:
  - Сер. АЗ–385и. Механические цехи холодной обработки металлов. 1967. – 12 с.
  - Сер. АЗ–194и. Термические цехи. 1966. – 18 с.
  - Сер. АЗ–191и. Кузнечно-прессовые цехи. 1966. – 12 с.
  - Сер. АЗ–170и. Термообрубные цехи. 1966. – 12 с.
  - Сер. АЗ–201и. Заготовительные и сборочно-сварочные цехи. 1966. – 34 с.
  - Сер. АЗ-782. Гальванические и травильные цехи. 1978. – 10 с.
9. Курсовое и дипломное проектирование по вентиляции гражданских и промышленных зданий: Учеб. Пособие для вузов / Титов В.П., Сазонов Э.В., Краснов Ю.С., Новожилов В.И.. – М.: Стройиздат, 1985. – 208 с.
10. Гримитлин М.И., Позин Г.М., Тимофеева О.Н. и др. Вентиляция и отопление цехов машиностроительных предприятий – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1993. – 288 с.
11. Фиалковская Т.А., Середнева И.С. Вентиляция при окрашивании изделий. – М.: Машиностроение. 1986. – 152 с.
12. Писаренко В.Л., Рогинский М.Л. Вентиляция рабочих мест в сварочном производстве. – М.: Машиностроение, 1981. – 120 с.
13. Елинский И.И. Вентиляция и отопление гальванических цехов машиностроительных предприятий.– М.: Машиностроение, 1989.–152 с.