



ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКОВСКИЙ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**ВЫБОР  
И РАСЧЕТ СИСТЕМ  
ВЕНТИЛЯЦИИ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ  
ПОМЕЩЕНИЙ**

МОСКВА · 1989

625.8/074  
В92

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

---

МОСКОВСКИЙ  
ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

---

ВЫБОР И РАСЧЕТ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАЗДЕЛУ  
"ОХРАНА ТРУДА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ"  
ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

(Для дневной и вечерней форм обучения)

Утверждено  
на заседании редсовета  
24 февраля 1988 г.

Москва  
Издательство МАИ  
1989

УДК: 628.83 (075.8)

Авторы-составители: А.Б. Алатырцев, И.П. Бубнова, Т.В. Голованова, А.В. Качанов, Б.Е. Курбатов

Выбор и расчет систем вентиляции производственных помещений: Методические указания к разделу "Охрана труда и окружающей среды" дипломного проекта/ Авт.-сост.: Алатырцев А.Б., Бубнова И.П., Голованова Т.В., Качанов А.В., Курбатов Б.Е. - М.: Изд-во МАИ, 1989. - 44 с.: ил.

Методические указания рекомендуется использовать при анализе источников вредных выделений в воздушную среду и выборе системы вентиляции производственных помещений.

Приведена методика расчета вредных примесей, местных отсосов, воздухопроводов, калориферов, воздухораспределителей, систем забора, выброса и очистки воздуха. Дается список учебной, методической, нормативной и специальной литературы.

Указания, предназначенные для студентов авиационных специальностей, могут быть использованы при дипломном проектировании, а также могут быть полезны преподавателям-консультантам по вопросам охраны труда.

Рецензенты: С.В. Белов, В.М. Зимогляд

© Московский авиационный институт, 1989

628.8(075)  
В 92

## ВВЕДЕНИЕ

Улучшение условий труда на производстве в значительной степени зависит от правильной, научно обоснованной организации и проведения мероприятий по оздоровлению воздушной среды.

В настоящих методических указаниях рассмотрены вопросы проектирования промышленной вентиляции, являющейся наиболее распространенным и эффективным средством создания необходимых санитарно-гигиенических условий воздушной среды производственных помещений.

Многообразие видов производств и технологических процессов, используемых веществ и материалов не позволяет привести в данных методических указаниях весь необходимый справочный материал. В указания включены рекомендации, нормативные и справочные данные по проектированию наиболее часто используемых видов вентиляции. Даны ссылки на соответствующую справочную литературу.

### 1. НОРМАЛИЗАЦИЯ ВОЗДУХА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ВЕНТИЛЯЦИИ

Работа производственного оборудования и многие технологические процессы сопровождаются выделением в окружающее воздушное пространство избытков тепла, влаги, вредных газов и паров, твердых и жидких частиц.

Нормализация воздуха производственных помещений может быть достигнута с помощью вентиляции, создающей необходимый воздухообмен.

Воздухообмен обеспечивается системой с естественным или искусственным побуждением воздуха (принудительной, механической вентиляцией), а также смешанными системами.

Вентиляция может быть приточной (воздух подается в помещение), вытяжной (воздух удаляется из помещения) и приточно-вытяжной.

По месту действия вентиляция подразделяется на общеобменную и местную.

Система приточной вентиляции с искусственным побуждением воздуха включает воздухозаборное устройство 1, воздуховоды 2, приточную камеру 3 и воздухораспределительные устройства 4 (рис. 1.1).

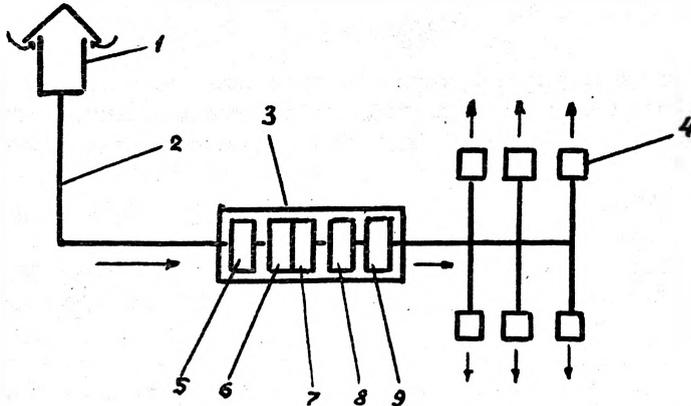


Рис. 1.1

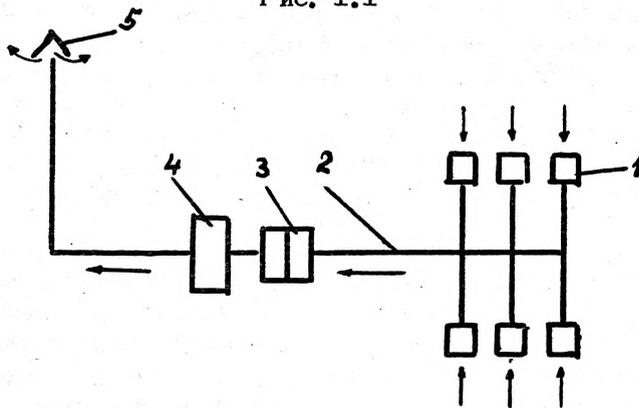


Рис. 1.2

В приточной камере размещаются: фильтр 5 для очистки воздуха от пыли; вентилятор 6 (осевой или центробежный); электродвигатели 7; воздухонагреватель 8; устройство для осушки или увлажнения воздуха 9.

Из воздуховодов воздух подается в помещение через воздухо-распределители.

Установка общеобменной вытяжной вентиляции состоит из вытяжных отверстий или насадков 1, воздуховодов 2, вентилято-4

ра 3, системы очистки выбрасываемого воздуха от пыли или газов 4 и устройства для выброса воздуха 5 (рис. 1.2).

Вредные выделения, как правило, необходимо удалять непосредственно от мест их образования при помощи местных отсосов в системе местной вытяжной вентиляции, которая включает такие же элементы, как и система общеобменной вентиляции.

## 2. ПОРЯДОК РАСЧЕТА ВЕНТИЛЯЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ С ИСКУССТВЕННЫМ ПОБУЖДЕНИЕМ ВОЗДУХА

Расчет вентиляции производственных помещений с искусственным побуждением воздуха проводится в следующей последовательности (при этом наиболее трудоемкие расчеты рекомендуются выполнять на ЭВМ).

1. Выбирается система вентиляции с установлением и обоснованием схем подачи и удаления воздуха из помещения.
2. Рассчитывается воздухообмен в производственном помещении.
3. Обосновывается выбор воздухозаборника и воздухораспределительных устройств.
4. Проводятся выбор и обоснование вытяжных установок и устройств.
5. Проводится расчет калориферов.
6. Выбираются фильтр для приточной системы вентиляции и система очистки для системы вытяжки.
7. Проводится аэродинамический расчет вентиляционных систем.
8. Осуществляется подбор вентиляторов и электродвигателей.
9. Проводится расчет рассеивания вентиляционных выбросов.

Вентиляторы подбираются по аэродинамическим характеристикам при известных значениях производительности вентилятора  $Q$  и полного давления  $p_v$ .

Производительность вентилятора  $Q$  соответствует количеству подаваемого или удаляемого воздуха  $L$  с учетом утечек и подсосов через неплотности в вентиляционной системе (поправка составляет 10-15%).

Полное давление  $p_v$  определяется как сумма потерь давления  $p_{\Sigma}$  в воздуховодах и в других элементах вентиляционной системы (калориферах, устройствах для очистки воздуха, воздухозаборных и воздухораспределительных устройствах и др.). На

полученную величину суммарных потерь вводится 10%-ная поправка на неучтенные потери.

### 3. ВЫБОР СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ И СХЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУХООБМЕНА

Выбор системы вентиляции определяется назначением производственного помещения, характеристиками технологического процесса и производственного оборудования, видом и количеством вредных выделений, требованиями, предъявляемыми к системам вентиляции, объемом производственного помещения, числом работающих людей и видом рабочих мест.

Основные вредные выделения и рекомендуемые системы вентиляции с искусственным побуждением воздуха, а также типы местных отсосов для различных производственных помещений (цехов) приведены в табл.1 раздаточного материала "Производственная вентиляция".

В производственных помещениях используются следующие схемы организации воздухообмена: снизу вверх, сверху вниз, снизу вниз, сверху вверх и смешанные схемы.

Схема организации воздухообмена, способов подачи и забора воздуха выбирается на основании данных о количестве выделяющихся вредностей с учетом нормируемых параметров воздушной среды, а также объемно-планировочных решений зданий и требований СНиП.

Приточный воздух, как правило, подается непосредственно в помещения с постоянным пребыванием людей.

В рабочую зону воздух подается: наклонными вниз струями, выпускаемыми на высоте 2-4 м от пола; вертикальными струями, выпускаемыми с высоты 4-6 м; горизонтальными струями, поступающими непосредственно в рабочую зону.

При незначительных избытках теплоты воздух подается в верхнюю зону струями, горизонтально направленными сверху вниз.

В помещениях с выделением пыли воздух, как правило, должен подаваться в верхнюю зону сверху вниз.

Удаление воздуха проводится из зон, в которых он наиболее загрязнен или имеет наибольшую температуру или энтальпию. При выделении пыли и аэрозолей воздух удаляется из нижней зоны.

При значительных тепло- и влаговыведениях, при совместном выделении тепла и газов, при совместном выделении пыли и тепла высокотемпературными источниками вытяжные устройства располагаются в верхней зоне. При значительном выделении

паров и газов, плотность которых меньше плотности воздуха,  $2/3$  объема воздуха удаляется через вытяжные устройства в верхней зоне, а  $1/3$  – через вытяжные устройства в нижней зоне.

При значительном выделении паров и газов, плотности которых больше плотности воздуха,  $2/3$  объема воздуха удаляется через вытяжные отверстия в нижней зоне, а  $1/3$  – через отверстия в верхней зоне.

Для удаления вредных, пожароопасных и взрывоопасных веществ, а также тепла и водяных паров от мест их образования и выделения следует проектировать системы местных отсосов.

Местный отсос должен быть максимально приближен к источнику вредных выделений, по возможности его следует отделять от помещения, но при этом он не должен мешать технологическому процессу. Не допускается прохождение удаляемого отсосом воздуха через зону дыхания рабочего. Приемное отверстие местного отсоса должно быть ориентировано по линии распространения вредных выделений, благодаря чему достигается наибольший эффект при наименьшем расходе воздуха.

Системы местных отсосов вредных или горючих веществ следует проектировать отдельно от систем общеобменной вытяжной вентиляции.

Необходимо устанавливать отдельные местные отсосы для веществ, соединение которых может образовать взрывоопасную смесь или создать более опасные и вредные вещества.

Системы местных отсосов для горючих веществ, которые осаждаются или конденсируются в воздуховодах или вентиляционном оборудовании, проектируются отдельно для каждого помещения или каждой единицы оборудования.

## 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДУХООБМЕНА ОБЩЕОБМЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

### 4.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОЗДУХА

Расход воздуха общеобменной приточной вентиляции определяется на основании воздушного баланса помещения.

Количество приточного воздуха рассчитывается исходя из полной или неполной компенсации воздуха, удаляемого через местные отсосы и идущего на технологические нужды (сушка, горение и т.д.) с проверкой на ассимиляцию вредных выделений.

Для производственных помещений, в которых выделяются вредные вещества или резко выраженные неприятные запахи,

а также для помещений категорий А и Б (по взрывопожароопасности) количество удаляемого воздуха должно превышать приток, т.е. должен предусматриваться отрицательный дисбаланс.

Расход приточного воздуха  $L_{\text{п}}$  вычисляется для теплого или холодного периода времени года по следующим вредным выделениям,  $\text{м}^3/\text{ч}$ :

1) избыткам явной теплоты

$$L_{\text{пт}} = L_{\text{м.от}} + \frac{3,6 Q_{\text{изб}} - c L_{\text{м.от}} (t_{\text{р.з}} - t_{\text{пр}})}{c \rho (t_{\text{выт}} - t_{\text{пр}})}; \quad (4.1)$$

2) массе выделяющихся вредных веществ

$$L_{\text{п.вещ}} = L_{\text{м.от}} + \frac{m_{\text{вещ}} - L_{\text{м.от}} (q_{\text{р.з}} - q_{\text{пр}})}{q_{\text{выт}} - q_{\text{пр}}}; \quad (4.2)$$

3) избыткам влаги

$$L_{\text{п.вл}} = L_{\text{м.от}} + \frac{W - L_{\text{м.от}} \rho (d_{\text{р.з}} - d_{\text{пр}})}{\rho (d_{\text{выт}} - d_{\text{пр}})}, \quad (4.3)$$

где  $L_{\text{м.от}}$  - расход воздуха, удаляемого через местные отсосы,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ; зависит от вида производственного процесса и конструкции местного отсоса;  $Q_{\text{изб}}$  - избыточный явный тепловой поток в помещении, Вт;  $c$  - удельная теплоемкость воздуха, при постоянном давлении; равна  $1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $\rho$  - плотность воздуха; равна  $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $t_{\text{р.з}}$  - температура воздуха в рабочей зоне, удаляемого системами местных отсосов,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{\text{пр}}$  - температура воздуха, подаваемого в помещение; принимается равной температуре наружного воздуха;  $t_{\text{выт}}$  - температура воздуха, удаляемого из помещения, за пределами рабочей зоны;  $m_{\text{вещ}}$  - масса каждого вредного вещества, поступающего в воздух помещения,  $\text{мг}/\text{ч}$ ; при одновременном выделении в помещение нескольких вредных веществ, обладающих эффектом суммации действия, воздухообмен определяется путем суммирования расходов воздуха, рассчитанных по каждому из этих веществ;  $q_{\text{р.з}}$  - концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны, удаляемого местными отсосами,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  $q_{\text{пр}}$  - концентрация вредного вещества в воздухе, подаваемого в помещение,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  $q_{\text{выт}}$  - концентрация вредного вещества в воздухе за пределами рабочей зоны,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  $W$  - избытки влаги в помещении,  $\text{г}/\text{ч}$ ;  $d_{\text{р.з}}$  - влагосодержание воздуха рабочей зоны, удаляемого системой местных отсосов,  $\text{г}/\text{кг}$ ;  $d_{\text{пр}}$  - влагосодержание воздуха, подаваемого в помещение,  $\text{г}/\text{кг}$ ;  $d_{\text{выт}}$  - влагосодержание воздуха, удаляемого из помещения, за пределами рабочей зоны,  $\text{г}/\text{кг}$ .

Параметры воздуха  $t_{\text{р.з}}$  и  $d_{\text{р.з}}$  принимаются равными расчетным параметрам в рабочей зоне, а  $q_{\text{р.з}}$  равна предельно допустимой концентрации (ПДК) в воздухе рабочей зоны.

Расчетная температура воздуха в рабочей зоне принимается с учетом ГОСТ 12.1.005-76:

а) для теплого периода года: в помещениях с избытком явной теплоты – максимальная из допустимых температур, а при отсутствии избытков теплоты – экономически целесообразная в пределах допустимых температур;

б) для холодного периода года: в целях ассимиляции избытков теплоты – максимальная из допустимых температур, а при отсутствии избытков теплоты – минимальная из допустимых.

Расчетное влагосодержание воздуха рабочей зоны определяется с помощью  $i-d$  диаграммы на основании допустимой величины относительной влажности и температуры. При необходимости аналогично определяются  $d_{\text{выт}}$  и  $d_{\text{пр}}$ .

Расчетная концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений, соответствующая ПДК, выбирается исходя из ГОСТ 12.1.005-76.

Значение  $q_{\text{выт}}$  не должно превышать предельно допустимую концентрацию, т.е.  $q_{\text{выт}} \leq q_{\text{пак}}$ , а  $q_{\text{пр}} \leq 0,3$  ПДК.

Расчетная температура наружного воздуха  $t_{\text{нар}}$  определяется по приложению 7 [2]. Для г. Москвы в теплый период времени года  $t_{\text{нар}} = 22,3^\circ\text{C}$ , а в холодный период  $t_{\text{нар}} = -15^\circ\text{C}$ .

Температура воздуха, удаляемого из помещения, рассчитывается по формуле

$$t_{\text{выт}} = t_{\text{р.з}} + \Delta t(H-2), \quad (4.4)$$

где  $\Delta t$  – температурный градиент по высоте помещения;  $\Delta t = 0,5 \dots 1,5$ ;  $H$  – расстояние от пола до центра вытяжных устройств, м;  $2$  – высота производственного помещения.

При одновременном выделении в помещении вредных веществ, теплоты и влаги учитывается наибольшее количество воздуха  $L_{\text{пр}}$ , полученное в расчетах для каждого вида вредных выделений. При этом  $L_{\text{пр.вещ}} = (0,9 \dots 95) L_{\text{выт,вещ}}$ .

Для ориентировочных расчетов, когда неизвестны виды и количества вредных выделений, необходимое количество приточного воздуха можно определить:

1) по нормируемой кратности воздухообмена

$$L_{\text{пр}} = V_{\text{р}} n; \quad (4.5)$$

2) по нормируемому удельному расходу приточного воздуха

$$L_{\text{пр}} = A K \text{ или } L_{\text{пр}} = N m, \quad (4.6)$$

где  $V_{\text{р}}$  – объем помещения,  $\text{м}^3$ ;  $n$  – нормируемая кратность воздухообмена,  $\text{ч}^{-1}$ ;  $A$  – площадь помещения; для помещений

высотой 6 м и более  $V_p = 6A$ ;  $K$  - нормируемый расход приточного воздуха на  $1 \text{ м}^2$  площади помещения,  $\text{м}^3 / (\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ ;  $m$  - нормируемый удельный расход приточного воздуха на 1 человека, на 1 рабочее место или единицу оборудования,  $\text{м}^3 / \text{ч}$ .

Согласно санитарным нормам для производственных помещений с объемом менее  $20 \text{ м}^3$  на одного работающего наружный воздух должен подаваться из расчета не менее  $30 \text{ м}^3 / \text{ч}$  на каждого работающего, а в помещениях с объемом на одного работающего более  $20 \text{ м}^3$  - из расчета не менее  $20 \text{ м}^3 / \text{ч}$  на каждого работающего.

#### 4.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗБЫТКОВ ЯВНОЙ ТЕПЛОТЫ И ВЛАГИ

Избытки явной теплоты определяют на основании баланса теплоты в помещении по формуле

$$Q_{\text{я}} = \bar{z}Q - \bar{z}Q_{\text{ух}}, \quad (4.7)$$

где  $\bar{z}Q$  - суммарное количество поступающей явной теплоты;  $\bar{z}Q_{\text{ух}}$  - суммарное количество уходящей из помещения теплоты.

Тепловой баланс помещений по явному теплу  $Q_{\text{я}}$  составляют на основе теплопоступлений и теплопотерь во все периоды года. В разделе теплопоступлений в холодный и переходный периоды года учитывают тепло от освещения, а в теплый - от солнечной радиации. Для каждого помещения рассчитывают отдельный баланс в зависимости от назначения помещения, технологических процессов и оборудования.

Теплопоступление в помещении зависит от различных условий.

Тепловой (конвективно-лучистый) поток  $Q_{\text{к.л}}$  от нагретых поверхностей оборудования площадью  $F_n$ ,  $\text{м}^2$ , при известных значениях температур поверхностей  $t_n$  и окружающего воздуха  $t_{\text{в}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ , определяется по формуле

$$Q_{\text{к.л}} = (\alpha_{\text{л}} + \alpha_{\text{к}})(t_n - t_{\text{в}}) F_n, \quad (4.8)$$

где  $\alpha_{\text{л}}$  и  $\alpha_{\text{к}}$  - коэффициенты теплоотдачи излучением и конвекцией,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ :

$$\alpha_{\text{л}} = C_{\text{пр}} \left[ \left( \frac{273 + t_n}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + t_{\text{в}}}{100} \right)^4 \right] \frac{1}{t_n - t_{\text{в}}}, \quad (4.9)$$

$$\alpha_{\text{к}} = a \sqrt[4]{t_n - t_{\text{в}}}, \quad (4.10)$$

где  $C_{\text{пр}}$  - приведенный коэффициент излучения тел в помещении; принимается равным  $4,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ ;  $a$  - коэффициент, принимаемый равным: 3,26 и 1,28 для горизонтальных стенок с тепловым потоком, направленным соответственно вверх или вниз; 2,56 -

для вертикальной стенки; 2,09 - для горизонтально расположенной трубы.

Количество теплоты  $Q_{э.п.}$ , выделяемое электрическими печами, ваннами и сушилками, зависит от мощности холостого хода  $N_x$ , кВт, установочной мощности  $N_y$ , кВт, и расхода электроэнергии  $N_э$ , кВт·ч:

$$Q_{э.п.} = 10^3 N_x \eta_x \eta; \quad (4.11)$$

$$Q_{э.п.} = A N_y \eta; \quad (4.12)$$

$$Q_{э.п.} = 0,28 N_э (1 - \eta_n) \eta, \quad (4.13)$$

где  $\eta_x = 0,65 \div 0,7$  - коэффициент загрузки печи;  $\eta$  - коэффициент одновременности работы печей;  $A$  - коэффициент, зависящий от типа печи (для камерных и шахтных печей равен 200, для колокольных - 130, муфельных - 150, печей-ванн - 400, сушил - 300, печей без указания типа - 250);  $\eta_n$  - коэффициент учета энергии, не использованной в данном помещении (принимается по данным технологов).

Теплота может поступать от осветительных приборов. Ее количество рассчитывается исходя из мощности осветительных установок  $N_{ос}$ , кВт, доли тепла  $\eta_n$ , поступающего в помещение и коэффициента использования светильников  $\eta_{л.}$ :

$$Q_{ос} = 10^3 N_{ос} \eta_n \eta_{л.} \quad (4.14)$$

Значение  $\eta_{л.}$  для люминесцентных светильников принимают равным 0,4+0,7, для ламп накаливания - 0,8+0,9.

Расчетное количество теплоты от солнечной радиации  $Q_p$  с учетом аккумуляции тепла внутренними ограждающими конструкциями зависит от площадей стен  $F_1, F_2, F_3$ , потолка  $F_4$ , пола  $F_5$ , м<sup>2</sup>, и соответствующих им коэффициентов аккумуляции тепла  $m_1, m_2, m_3, m_4$  и  $m_5$  (данные см. по таблицам [2]) составляет:

при отсутствии наружных солнцезащитных средств

$$Q_p = Q_0 \left( \frac{F_1 m_1 + F_2 m_2 + F_3 m_3 + 0,5 F_4 m_4 + 1,5 F_5 m_5}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5} \right); \quad (4.15)$$

при использовании наружных солнцезащитных устройств

$$Q_p = Q_0 \left( \frac{F_1 m_1 + F_2 m_2 + F_3 m_3 + F_4 m_4 + F_5 m_5}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5} \right), \quad (4.16)$$

где  $Q_0$  - максимальное количество теплоты, поступающее через оконные проемы,

Тепловой поток  $Q_d$  от электродвигателей и приводимого ими в действие оборудования составляет

$$Q_d = 10^3 N_y K_n K_3 K_o (1 - \eta_d + K_{т.} \eta_d), \quad (4.17)$$

где  $N_y$  - установочная мощность двигателя;  $\eta_d$  - коэффициент полезного действия двигателя; равен  $0,7 + 0,9$ ;  $K_n, K_a, K_o$  - коэффициенты, зависящие от вида двигателя; равны  $0,6 + 0,8$ ;  $K_r$  -

Основные теплотери помещений (потери через ограждающие конструкции) рассчитываются по формуле

$$Q_{o.t.} = \frac{F}{R_o} (t_b - t_n) n. \quad (4.18)$$

Данные для расчета см. в таблицах [2].

Избыток влаги в помещении  $W$ , г/ч, определяется следующим образом:

$$W = 25,2 \cdot 10^3 (\rho_n - \rho_o) F/B, \quad (4.19)$$

где  $\rho_n$  - давление паров, насыщающих воздух, кПа, при температуре поверхности воды см. в таблицах и  $i-d$  диаграммах [2];  $\rho_o$  - парциальное давление паров в окружающем воздухе, кПа;  $F$  - площадь поверхности испарения,  $m^2$ ;  $B$  - барометрическое давление, кПа.

### 4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ ВЫДЕЛЯЮЩИХСЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

#### 4.3.1. Определение массы паров и газов, испаряющихся со свободной поверхности и через неплотности аппаратуры и трубопроводов

Количество паров  $m_{исп}$ , кг/ч, испаряющихся со свободной поверхности жидкости в окружающий воздух, определяется зависимостью

$$m_{исп} = 0,93 K_t D (C_n - C_o) h^{K_{н.о}} b^{0,1} F \psi^{-0,9}, \quad (4.20)$$

где  $D$  - коэффициент диффузии пара в воздухе,  $m^2/ч$ ;  $K_t$  - коэффициент разности температур  $\Delta t$  поверхности жидкости и окружающего воздуха,  $^{\circ}C$ . (табл. 1);

Таблица 1

$\Delta t$	10	20	30	40	50
$K_t$	0,614	0,58	0,54	0,48	0,44

$C_n$  и  $C_o$  - концентрация паров вещества соответственно на поверхности раствора и в окружающем воздухе,  $кг/м^3$ ; определяется по их парциальным давлениям:

$$C = \frac{M}{29,2} \cdot \frac{p}{B-p} \cdot \rho_b, \quad (4.21)$$

$M$  - молярная масса вещества, кг/моль  $\cdot 10^{-3}$  (табл. 2);  $p$  - парциальное давление вещества, Па (см. табл. 2);  $\rho_a$  - плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $L$  - расход воздуха в местном (бортовом) отсеке, м<sup>3</sup>/ч;  $K_{м.о}$  - коэффициент местного отсоса; при работающем отсеке принимается равным 0,9, при неработающем - 0;  $b$  - характерный размер (ширина ванны) поверхности испарения, м;  $\psi$  - пространственный угол подтекания воздуха к местному отсосу (при отсутствии местного отсоса  $\psi = 1$ ; для отсоса у стены  $\psi = 0,5\pi$ ; для отсоса у ванны, расположенной рядом с ванной, не имеющей отсоса,  $\psi = \pi$ ; для отдельно стоящей ванны  $\psi = 1,5\pi$ ).

Таблица 2

Жидкость	Молярная масса вещества $M$ , кг/моль $\cdot 10^{-3}$	Парциальное давление вещества $p$ , Па
Этиловый эфир	88	5720
Ацетон	58	3720
Этиловый спирт	46	2000
Бензол	78	2000
Дихлорэтан	98	2000
Хлорбензол	112	532
Анилин	93	40
Нитробензол	124	40
Ртуть	207	0,16
Серная кислота	98	0,01
Щелочи	40,56	0

Утечка паров и газов через неплотности аппаратуры и трубопроводов зависит от внутреннего давления в оборудовании и окружающей среде  $\Delta p$  составляет менее  $0,2 \cdot 10^5$  Па.

Масса газа  $m_r$ , попадающего в помещение, кг/ч, определяется по формуле

$$m_r = 5090 \mu f \sqrt{\Delta p \rho_r}, \quad (4.22)$$

где  $\mu$  - коэффициент расхода газа для щелевых отверстий; принимается равным  $0,6 + 0,7$ ;  $f$  - суммарная площадь неплотностей; принимается по паспортным данным или по заданию к проекту, м<sup>2</sup>;  $\rho_r$  - плотность газа, кг/м<sup>3</sup>.

При различных технологических процессах в воздух производственного помещения могут выделяться вредные вещества.

Массу вредных веществ, поступающих в воздух, например, в гальваническом производстве, можно либо определить по таблицам нормативной и справочной литературы, либо рассчитать эмпирически. Так, масса вредных веществ  $m_{\text{вещ}}$ , вносимых в воздух, определяется по формуле

$$m_{\text{вещ}} = K_p F \delta V_s, \quad (4.23)$$

где  $K_p$  — концентрация вредного вещества в растворе, г/л;  $F$  — площадь обрабатываемой поверхности, м<sup>2</sup>/ч;  $\delta$  — толщина покрытия; принимается равной 10–20 мкм;  $V_s$  — удельный унос вредного вещества с 1 м<sup>2</sup> обрабатываемой поверхности в расчете на 1 мкм толщины покрытия, м<sup>2</sup>·мкм (табл.3).

Таблица 3

Технологическая операция	Вредное вещество	Удельный унос вредного вещества $V_s$ , м <sup>2</sup> ·мкм
Декоративное и твердое хромирование	Хромовый ангидрид	0,05
Молочное хромирование	То же	0,1
Цианирование	Цианистые электролиты	0,015
Никелирование, кадмирование, меднение, свинцевание, лужение, цинкование в кислотных электролитах	Пары кислот	0,001÷0,005
То же в щелочных электролитах (без учета толщины покрытия)	Пары щелочей	0,01 ÷ 0,05

#### 4.3.2. Определение вредных веществ при сварке и пайке

В промышленности применяют различные виды сварки и тепловой резки металлов, сопровождающиеся поступлениями в воздушную среду сварочной пыли, окислов азота и других вредных веществ.

Для санитарно-гигиенической оценки электродов используются следующие показатели:

1) валовое выделение пыли  $f_m$ , г/кг или мг/кг (см.табл.2 и 3 раздаточного материала "Производственная вентиляция");

2) общая масса пыли  $F_m$ , образующаяся при наплавке 1 кг металла, г/кг;

3) интенсивность выделения пыли при сгорании электродов  $F_t$ , г/мин или мг/с;

4) объем воздуха  $\mathcal{L}$ , необходимый для разбавления вредных выделений до ПДК и наплавки 1 кг металла, м<sup>3</sup>/кг.

Пайка и подготовка металлов к паянию связаны с выделением вредных паров и пыли: металлов (свинца, марганца, кадмия и др.), входящих в состав припоев; фтористых и хлористых солей щелочных металлов, канифоли и других веществ, входящих в состав флюсов; кислот и щелочей.

Для расчета массы вредных веществ в рабочей зоне, образующихся при пайке, необходимо предварительно определить массы припоя и флюса, расходующиеся на одну операцию.

При расчете расхода припоев для пайки учитываются: масса припоя, затрачиваемая на образование галтелей и наплывов; масса припоя, расходуемая на угар и другие безвозвратные потери.

Масса припоя зависит от вида производимых операций и рассчитывается следующим образом.

1. Масса припоя  $M_1$ , наносимого на одну деталь при пайке, составляет

$$M_1 = ablp\psi \frac{100 + \alpha}{100}, \quad (4.24)$$

где  $\alpha$  - сборочный зазор, мм;  $b$  - ширина шва, мм;  $l$  - длина шва, мм;  $\rho$  - плотность припоя, кг/мм<sup>3</sup>;  $\psi$  - коэффициент расхода припоя на наплывы (без галтелей);  $\psi = 1,1 + 1,4$ ;  $\alpha$  - коэффициент учета угара и безвозвратных потерь припоя (при электроконтактной пайке  $\alpha = 1,0 + 1,5$ ; при погружении в расплавленный припой  $\alpha = 4,0$ ).

2. Масса припоя  $M_2$ , необходимая для получения одного количественного соединения в соответствии с выбранной формой паянных соединений и размерами платы, определяется по формуле

$$M_2 = \beta \pi \left[ \left( \frac{d_{отв}}{2} \right)^2 - \left( \frac{d_B}{2} \right)^2 \right] h \rho, \quad (4.25)$$

где  $d_{отв}$  - диаметр отверстия платы, мм;  $d_{отв} = d_B + 0,3$  мм;  $d_B$  - диаметр вывода, мм;  $d_B \approx 0,7$  мм;  $\beta$  - коэффициент учета объема галтелей и потерь припоя в процессе пайки;  $\beta = 1,2$ ;  $h$  - толщина платы.

3. Масса припоя  $M_3$  в ванне при пайке волной припоя составляет

$$M_3 = \rho V \varphi_u, \quad (4.26)$$

где  $\rho$  - плотность припоя, мг/мм<sup>3</sup>;  $V$  - объем ванны, мм<sup>3</sup>;  $\varphi_u$  - коэффициент испарения припоя;  $\varphi_u = 1,2 \cdot 10^{-3}$ .

После определения расхода припоя на одну операцию необходимо рассчитать массу припоя, расходуемую одним электро-монтажником за 1 ч работы,

Для одной пайки электропаяльником требуется время  $t_n$  от 2 до 4 сек, следовательно, в час можно сделать паек

$$n = \frac{3600}{t_n} = 1800 \div 900 \cdot \quad (4.27)$$

С учетом перерывов при выполнении операций  $n = 1200 + 600$  паек в час,

Суммарная масса припоя  $M_{пр}$  за 1 ч работы составит  $M_{пр} = n M_i$ , где  $i = 1, 2, 3$ .

В состав применяемых в промышленности припоев входят различные вещества. Чтобы определить массу какого-либо компонента  $M_{ком}$ , используемого в припое за 1 ч работы, необходимо умножить суммарную массу припоя на процентное содержание этого компонента в припое.

Таким образом,  $M_{ком} = N_{ком} M_{пр}$ , где  $N_{ком}$  - процентное содержание компонента в припое.

Составы применяемых припоев даются в справочниках по пайке [15] (для часто используемых оловянно-свинцовых припоев данные см. в табл. 4).

Таблица 4

Марка припоя	Масса составных частей						Температура плавления, °С	Плотность припоя, г/мм <sup>3</sup>
	олово	сурьма	примесей, % не более,			сви-нец		
			медь	вис-мут	мышь-як			
ПОС-40	39-41	0,05	0,05	0,1	0,03	осталь-ное	238	9,3
ПОС-61	56-61	0,05	0,05	0,1	0,03	осталь-ное	190	8,5

В процессе пайки в воздух рабочей зоны за 1 ч выделяется от 0,02 до 0,04% массы каждого компонента, т.е.  $m_{пар.ком} = 0,0002 + 0,0004$ .

Если известны не все данные исследуемого технологического процесса, то для паров свинца приближенно можно определить удельные выделения аэрозоля свинца при лужении и пайке припоями ПОС-40 и ПОС-61 (табл. 5).

Массу флюса  $m_{ф}$ , г/ч, поступающего в воздух производственного помещения при пайке в течение 1 ч, определяют следующим образом:

$$m_{\phi} = 0,0004 (n_1 + n_2) (M_{\phi_1} + M_{\phi_2}), \quad (4.28)$$

где  $n_1$  и  $n_2$  – соответственно число лужений и паяк за 1 ч работы;  $M_{\phi_1}$  – масса флюса, расходуемая при лужении, мг;  $M_{\phi_2}$  – масса флюса, расходуемая при пайке

$$M_{\phi_1} = F P'_{y,\phi}, \quad (4.29)$$

где  $F$  – площадь обрабатываемой поверхности;  $P'_{y,\phi}$  – удельный расход флюса на единицу поверхности детали с учетом потерь, г/м<sup>2</sup>;

$$M_{\phi_2} = l_{ш} P''_{y,\phi}, \quad (4.30)$$

где  $l_{ш}$  – длина шва, м;  $P''_{y,\phi}$  – удельный расход флюса на 1 м, г/м (табл. 4 раздаточного материала "Производственная вентиляция").

Таблица 5

Вид пайки	Выделение аэрозоля свинца
Пайка электропаяльниками мощностью 20–60 Вт	0,02 ± 0,04 мг/100 паяк
Лужение погружением в припой (рассчитано по отношению к поверхности ванны)	300–500 мг/м <sup>2</sup>
Лужение и пайка волной (рассчитано по отношению к поверхности волны)	3000–5000 мг/м <sup>2</sup>

При обжиге проводов с изоляцией в воздух рабочей зоны выделяется окись углерода, массу которой можно определить по табл. 6.

Таблица 6

Материал	Выделение окиси углерода, мг/г	Материал	Выделение окиси углерода, мг/г
Винипласт	240	Хлопок	100
Полихлорвинил	180	Шелк	200
Полиэтилен	100	Шелк и винипласт	190
Фторопласт	100		

## 5. МЕСТНЫЕ ОТСОСЫ

Для местных отсосов используются вытяжные шкафы, зонты, отсасывающие панели, бортовые отсосы, кожухи, воздухоприемники.

Применяются вытяжные шкафы с верхним и нижним удалением воздуха, а также комбинированные (рис. 5.1).

Шкафы с верхним удалением воздуха (см.рис. 5.1а) используются при тепловыделениях и ра-

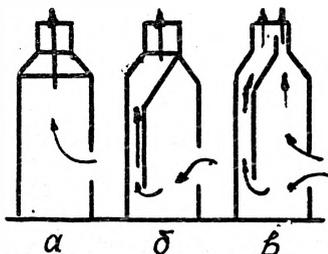


Рис. 5.1

ботках, связанных с выделением легких газов; шкафы с нижним удалением воздуха (см.рис. 5.1б) – при выделении пыли и тяжелых газов; шкафы с комбинированным удалением воздуха (см.рис. 5.1в) – при выделении пыли, тяжелых газов и тепловыделениях. Из нижней зоны удаляется от 1/3 до 2/3 общего

объема воздуха в зависимости от преобладания тех или иных вредных веществ. Для лабораторных химических шкафов предусмотрено комбинированное удаление воздуха.

Над рабочими столами устраивают шкафы – козырьки с отсосом "улитка", но эти отсосы рекомендуется применять при отсутствии тепловыделений под укрытием.

Объем воздуха, удаляемого из вытяжного шкафа при отсутствии в нем источников тепловыделений, м<sup>3</sup>/ч, определяется по формуле

$$L_r = 3600 VF; \quad (5.1)$$

при наличии источников тепловыделений

$$L_r = 120 \sqrt{QH F^2}, \quad (5.2)$$

где  $V$  – средняя по сечению открытого рабочего проема скорость всасывания, м/с (табл. 7);  $F$  – площадь рабочего проема, м<sup>2</sup>;  $Q$  – количество тепловыделений в вытяжном шкафу на нагрев воздуха в нем (принимается равным 50–70% общей теплопроводности источника выделения);  $H$  – высота рабочего проема, м.

Если площадь рабочего проема установить невозможно, то объем отсасываемого из шкафа воздуха принимается равным 1000 м<sup>3</sup>/ч на 1 м ширины рабочего проема при работе с веществами 3-го и 4-го классов опасности.

Скорость воздуха в рабочем проеме вытяжной камеры при пневматическом распылении окрасочных материалов, содержащих

ароматические углеводороды и свинцовые соединения, составляет 1,3 м/с, не содержащих ароматические углеводороды и свинцовые соединения – 1,0 м/с; при кистевой окраске и окраске безвоздушным распылением – 6,0 и 1,0 м/с соответственно.

Таблица 7

Операции, выполняемые в вытяжном шкафу	Скорость всасывания воздуха, м/с
Лабораторные работы	0,3 + 0,5
Пайка и сварка мелких изделий	0,5 + 0,7
Работы с применением соляной кислоты	0,5 + 0,7
азотной кислоты	0,7 + 1,0
керосина, бензина	0,5
хлорированных углеводородов	0,7
Электролитическое обезвреживание	0,3 + 0,5
Электролитическое кадмирование, меднение, серебрение, цинкование	1,0 + 1,5
Работы с выделением свинца и его соединений	1,5
Металлизация распылением	1,0 + 1,5
Ручная окраска и окраска окутанием	0,5 + 0,7

При применении автоматических линий окраски, в том числе окраски способом электростатического распыления, скорость воздуха в проемах составляет 0,5 + 0,7 м/с.

Объем воздуха, удаляемого из вентилируемых камер с горизонтальным движением воздуха, рассчитывается по формуле

$$L = 3600 F V, \quad (5.3)$$

где  $F$  – площадь рабочего проема камеры,  $m^2$ ;  $V$  – средняя скорость в рабочем проеме камеры, м/с.

Для камер с вертикальным движением воздуха объем удаляемого воздуха определяется из расчета 1800–2000  $m^3/ч$  на 1  $m^2$  площади камеры. Следует отметить, что камеры с вертикальным направлением движения воздуха, т.е. нижним отсосом (вентилируемые камеры), применяются для окраски крупногабаритных изделий. При этом рабочий находится внутри камеры.

Вытяжные зонты (рис. 5.2) применяются в тех случаях, когда вредные выделения нагреты и имеет место устойчивый конвективный поток воздуха, возникающий при температуре  $70^{\circ}\text{C}$ .

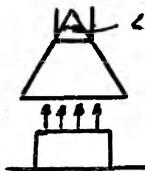


Рис. 5.2

Центральный угол раскрытия вытяжного зонта составляет не более  $60^{\circ}$ . При этом источник вредных выделений должен перекрываться приемным отверстием зонта (рис. 5.2).

Объем воздуха, отсасываемого вытяжным зонтом, определяется по формуле

$$L_3 = L_k F_3 / F_n, \quad (5.4)$$

где  $L_3$  - воздух, отсасываемый зонтом,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $L_k$  - объем воздуха, подтекающего к зонту с конвективной струей,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $F_3$  - площадь поверхности зонта,  $\text{м}^2$ ;  $F_n$  - площадь поверхности источника тепла,  $\text{м}^2$ .

$$L_k = 64 \sqrt[3]{Q_n z F_n^3}, \quad (5.5)$$

где  $Q_n$  - количество конвективной теплоты, выделяющееся с поверхности источника тепла;  $z$  - расстояние от поверхности источника тепла до зонта, м; рекомендуется принимать равным 0,8 эквивалентного по площади диаметра источника; если

$$z < 2,8 \sqrt{F_n}, \text{ то } F_3 = F_n = 1,5; \quad Q_n = 1,5 \sqrt[3]{t_n - t_b}, \quad (5.6)$$

где  $t_n$  - температура поверхности источника,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_b$  - температура окружающего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ .

Бортовые отсосы применяют для удаления паров и газов, выделяющихся из ванн при травлении, металлопокрытии и других процессах.

В зависимости от вида технологического оборудования, как правило, применяются местные отсосы с щелью всасывания в горизонтальной плоскости (опрокинутые); без передувки двубортовые, с передувкой двубортовые и однобортовые, а также с щелью всасывания в вертикальной плоскости без передувки одно- и двубортовые (рис. 5.3 а,б,в).

Однбортовые отсосы применяются при ширине ванн  $B$  до 0,7 м, двубортовые - при ширине ванн  $0,7 + 1$  м. В случае использования поддува ширина ванн с однобортовым отсосом увеличивается до 1,2 м, а с двубортовым отсосом - до 2 м и более.

Отсосы располагаются по длинному борту ванны. На ванне длиной более 1,2 м устанавливается несколько секций отсосов.

Количество воздуха  $L$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , удаляемого через бортовые отсосы, определяется по формуле

$$L = L_0 K_{\Delta t} K_T K_1 K_2 K_3 K_4, \quad (5.7)$$

где  $L_0$  - объем удаляемого воздуха, м<sup>3</sup>/ч, при  $K_{\Delta t} = K_T = K_1 = K_2 = K_3 = K_4 = 1$ ;  $K_{\Delta t}$  - коэффициент учета разности температур раствора в ванне и воздуха в помещении;  $K_T$  - коэффициент учета токсичности и интенсивности выделения вредных веществ;  $K_1$  - коэффициент учета типа отсоса;  $K_2$  - коэффициент учета воздушного перемешивания;  $K_3$  - коэффициент учета укрытия зеркала раствора плавающими телами (шарики, линзы и т.п.);  $K_4$  - коэффициент учета укрытия зеркала раствора пенным слоем путем введения добавок поверхностно-активных веществ.

Для отсоса без передувки с целью всасывания в горизонтальной или вертикальной плоскости объем удаляемого воздуха составляет

$$L_0 = 1400 \left( 0,53 \frac{B_p L}{B_p + L} + H_p \right)^{1/3} \times B_p L, \quad (5.8)$$

где  $B_p$  - расчетная ширина ванны, м;  $L$  - длина ванны, м;  $H_p$  - расчетное расстояние от зеркала до борта ванны или оси щели, м.

Для отсоса с передувкой с целью всасывания в горизонтальной плоскости объем удаляемого воздуха составляет

$$L_0 = 1200 B_p^{3/2} L. \quad (5.9)$$

Объем воздуха для передувки  $L_n$ , м<sup>3</sup>/ч, определяется по формуле

$$L_n = 60 B_p \cdot L K_{\Delta T}. \quad (5.10)$$

Для отсосов без передувки  $K_{\Delta T} = 1 + 0,0157$ ; для отсосов с передувкой  $K_{\Delta T} = 1 + 0,003$ .

Значения  $K_T$  для отсосов без передувки составляют 0,5+2 и зависят от вида технологического процесса гальванопокрытий.

При отсосах с передувкой для всех технологических процессов  $K_T$  принимается равным 1.

Значения  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  и  $K_4$  приведены в табл. 8.

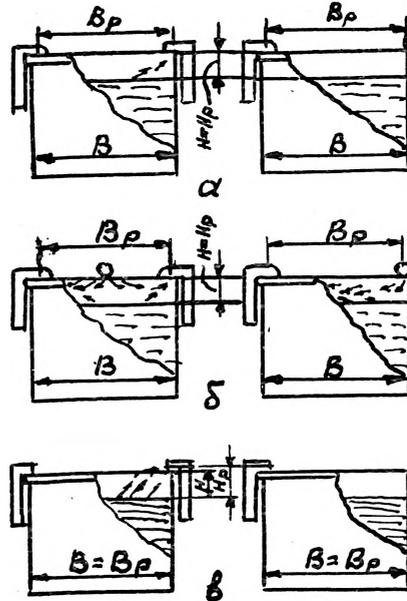


Рис. 5.3

Таблица 8

Коэффициент	Значения коэффициента для видов отсоса			
	без передувки		с передувкой	
	для одностороннего	для двустороннего	для одностороннего	для двустороннего
$K_1$	1,8	1,0	1,0	0,7
$K_2$	1,2	1,2	1,0	1,0
$K_3$	0,75	0,75	1,0	1,0
$K_4$	0,5	0,5	1,0	1,0

Расход воздуха  $L$ , м<sup>3</sup>/ч, для отсасывающих панелей (рис. 5.4) определяется формулой

$$L = C Q_k^{1/3} (H+B)^{5/3}, \quad (5.11)$$

где  $C$  – коэффициент, зависящий от конструкции панели и ее расположения относительно источника вредных выделений;  $Q_k$  – конвективная составляющая источника тепловыделений, Вт;  $H$  – расстояние от верха плоскости до центра всасывающих отверстий панели, м;  $B$  – ширина источника вредных выделений, м.

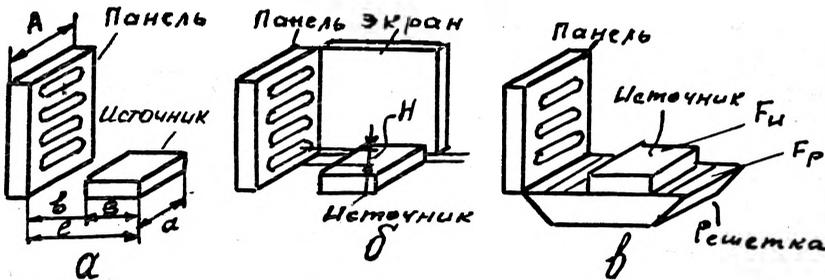


Рис. 5.4

Для 1-го типа панелей (см. рис. 5.4, а)  $C = 228 \left( \frac{l}{H+B} \right)^{2/3}$ .

Для 2-го типа панелей (см. рис. 5.4, б)  $C = 228 m \left( \frac{l}{H+B} \right)^{2/3}$ .

Для 3-го типа панелей (см. рис. 5.4, в)  $C = \frac{1170 F_n}{F_p} \left( \frac{F_n}{F_p} - 1 \right) + 650$ ,

где  $l$  – максимальное удаление источника вредных выделений от панелей, м<sup>2</sup>;  $m$  – коэффициент, зависящий от относительного

расстояния между источником вредных выделений и экраном, т.е.  $b_1/b$ ;  $b_1/b$  может принимать значения: 0 (вплотную); 0,3; 1;  $m - 1$ ; 1,5; 1,8; 2;  $F_n$  - площадь поверхности детали (источника вредных выделений),  $m^2$ ;  $F_p$  - площадь решетки,  $m^2$ .

Для наклонных панелей

$$L = 3600 F_{ж} V_{ж}, \quad (5.12)$$

где  $F_{ж}$  - площадь живого сечения панели,  $m^2$ ;  $V_{ж}$  - скорость воздуха, м/с.

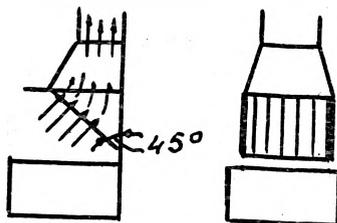


Рис. 5.5

В табл. 9 приведены данные для наиболее часто применяемых отсасывающих панелей с наклонными решетками (рис. 5.5).

Объем воздуха, отсасываемого кожухами, установленными у заточных, шлифовальных и полировальных станков, составляет: для заточных шлифовальных абразивных кругов

$$L = 2d; \quad (5.13)$$

для качающих шлифовальных кругов

$$L = 3d; \quad (5.14)$$

для полировальных станков с войлочными кругами

$$L = 4d; \quad (5.15)$$

для полировальных кругов с металлическими кругами

$$L = 6d; \quad (5.16)$$

для станков с любыми кругами

$$L = 3600 F V_o, \quad (5.17)$$

где  $d$  - диаметр круга, мм;  $F$  - площадь живого сечения рабочего отверстия кожуха,  $m^2$ ;  $V_o$  - скорость в воздухоприемном отверстии, м/с, равная  $0,25 V_k$  при направлении пылевого факела непосредственно в отверстие и  $0,3 + 0,4 V_k$  при направлении факела пыли вдоль отверстия кожуха;  $V_k$  - максимальная окружная скорость вращения круга, м/с.

При работе плоскошлифовального станка (наибольший диаметр круга 200 мм, частота вращения  $2930 \text{ мин}^{-1}$ ) отсос воздуха составляет  $360 \text{ м}^3/\text{ч}$  со средней скоростью всасывания  $10 + 12 \text{ м/с}$ .

Для универсального заточного станка с поворотным столом (наибольший диаметр круга 150 мм) отсос воздуха составляет  $280 + 360 \text{ м}^3/\text{ч}$  при окружной скорости вращения круга  $30 \text{ м/с}$ .

При сварочных работах применяются пылегазоприемники. Для автоматической сварки можно использовать приемник, разработанный ВЦНИИОТ.

Объем удаляемого воздуха зависит от режима автоматической сварки.

Ширина панели, м	$F_{ж},$ $м^2$	Объем воздуха, $м^3/ч$ , удаляемого через панель при различных скоростях воздуха, м/с								
		2	2,5	3,0	3,5	4	5	6	7	8
0,30	0,042	302	378	453	529	604	756	907	1058	1209
0,35	0,050	360	450	540	630	720	900	1080	1260	1440
0,45	0,064	460	576	690	805	920	1150	1380	1610	1840
0,60	0,086	620	775	930	1080	1240	1550	1860	2170	2430
0,75	0,110	190	990	1185	1385	1580	1980	2370	2770	3160
0,90	0,130	935	1170	1400	1640	1870	2340	2810	3270	3780

Сила тока не более, А	300	600	1000
Объем удаляемого воздуха, м <sup>3</sup> /ч	80	100	120

При автоматической сварке в среде защитных газов объем воздуха, удаляемого встроенным местным отсосом, определяется по формуле

$$L = K^3 \sqrt{I}, \quad (5.18)$$

где  $K$  - коэффициент, для щелевых отсосов равный 12, а для воронкообразных - 16;  $I$  - сила тока, А.

При металлизации и плазменном напылении металлов применяется вентиляционная камера с объемом отсасываемого воздуха 3600 м<sup>3</sup>/ч, при плазменной резке металлов - боковая панель с расходом воздуха 2600 м<sup>3</sup>/ч; при автоматической сварке с использованием автомата типа АДОб-300 - передвижной отсос с расходом воздуха 200 м<sup>3</sup>/ч. (Характеристика местных отсосов в зависимости от оборудования для изготовления двусторонних и многослойных печатных плат приведена в табл.10.)

Таблица 10

Технологический процесс	Местный отсос	Объем удаленного воздуха, м <sup>3</sup> /ч
Проявление рисунка	Вытяжной шкаф	360
Снятие фоторезиста	Вытяжной шкаф	360
Очистка растворов	Щелевой отсос	400
Нанесение пленочного фоторезиста	Вытяжной зонтик на высоте 20 мм от верха установки	600
Обработка плат по контуру на фрезерном станке	Встроенный отсос	40 + 60
Травление печатных плат	Отсос из сплошного укрытия	260
Химическая и электрохимическая обработка печатных плат	Бортовые отсосы	Определяется расчетным путем

## 6. СИСТЕМЫ ЗАБОРА И ВЫБРОСА ВОЗДУХА

Забор наружного воздуха в вентиляционных системах осуществляется через пристеночные короба или воздухозаборные шахты, оборудованные жалюзийной решеткой или диффузором. Над воздухозаборными шахтами могут быть установлены зонты для предотвращения попадания в них дождя и снега. Скорость всасывания воздуха в системах забора составляет 1+3 м/с.

Выброс вентиляционного воздуха осуществляется через шахты или дефлекторы (последние используются в местной вентиляции). Над шахтами выброса воздуха могут быть установлены зонты для предотвращения попадания атмосферных осадков. Отдельные шахты выброса могут быть объединены в одну шахту. Скорость выброса воздуха составляет  $8 + 10$  м/с.

## 7. ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛИ

Воздухораспределители – это устройства, с помощью которых воздух подается в производственное помещение.

В производственных помещениях подача приточного воздуха осуществляется непосредственно в рабочую зону как прямоочными струями с помощью воздухораспределителей типа ВПП, так и струями, закрученными с помощью воздухораспределителей типа ВПЭП и ВЭН.

При подаче воздуха выше рабочей зоны при кратностях воздухообмена до  $10 \text{ ч}^{-1}$  воздух подается: прямоочными компактными струями – от воздухораспределителей типа ВГК; закрученными и коническими струями – от ВЭС; исполненными веерными – от НРВ и РР и компактными – от РР. При кратностях воздухообмена  $10 \div 20 \text{ ч}^{-1}$  воздух подается веерными струями от ВДУМ, ВЦ, ВЭИ, неполными веерными – от НРВ и РР, коническими – от ВДУМ и ВЭП и двухструйными – от ВДУМ. При кратностях воздухообмена более  $20 \text{ ч}^{-1}$  применяются двухструйные потоки от ВДУМ; используются также перфорированные воздухораспределители типа ВПК и панели ВПЭП.

При подаче воздуха выше рабочей зоны воздухораспределители типов РР, НРВ, ВЭЦ, ВПЭП устанавливаются на высоте 4 м от пола; типов РР, НРВ, ВГК, ВДУМ, ВДШ, ВПК, ВЦ, ВЭП – на высоте 4–6 м, типов ВГК и ВЭС – выше 6 м от пола.

При расчете воздухораспределителей выбираются типы этих устройств, их количество и размеры, а также местоположение в производственном помещении (табл. 5 раздаточного материала "Производственная вентиляция").

## 8. КАЛОРИФЕРЫ

Для предварительного подогрева подаваемого в рабочую зону воздуха используются различные системы отопления и, в частности, калориферы. Последние входят в состав кондиционеров или включаются в вентиляционную сеть.

Калорифер состоит из нескольких рядов труб, по которым циркулирует теплоноситель (вода или пар). При обдуве труб про-

исходит нагрев проходящего воздуха. Для интенсификации теплообмена поверхность труб, контактирующая с воздушным потоком, изготавливается ребристой путем навивки стальных лент или установки пластин и других элементов.

По способу организации движения теплоносителя калориферы подразделяются на многоходовые (с последовательным движением теплоносителя) и одноходовые (с параллельным движением). Обычно в одноходовых калориферах в качестве теплоносителя используются пар или вода, в многоходовых – вода. Конструктивно калориферы выполняются в виде секций, которые могут устанавливаться последовательно.

Калориферы подбираются в зависимости от нагрева воздушного потока, проходящего через калорифер с объемным расходом  $Q$ , до заданной температуры  $t_k$ . Для расчета используются следующие формулы.

1. Расход тепла на нагрев воздуха  $W$ , кДж/ч,

$$W = C_v Q (t_k - t_n), \quad (8.1)$$

где  $C_v$  – объемная теплоемкость воздуха, равная  $1,2 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $t_n$  – начальная температура нагреваемого воздуха,  $^\circ\text{C}$ .

2. Площадь поверхности нагрева калориферной установки  $F$ ,  $\text{м}^2$ ,

$$F = W / (\bar{t}_T - \bar{t}_B) K, \quad (8.2)$$

где  $\bar{t}_T$ ,  $\bar{t}_B$  – соответственно средние температуры теплоносителя и воздуха;  $\bar{t}_T \approx 100 - 120 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\bar{t}_B = (t_k + t_n) / 2$ ;  $K$  – коэффициент теплопередачи калорифера,  $\text{кДж}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ .

Значение  $K$  рассчитывается по формуле

$$K = A (\rho v_0)^B 0,5^C, \quad (8.3)$$

где  $\rho v_0$  – оптимальное значение весовой скорости воздуха;  $\rho v_0 = 7 + 10 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ;  $A$ ,  $B$ ,  $C$  – параметры, значения которых в зависимости от типа калорифера приведены в табл. 11.

Таблица 11

Модель калорифера	Параметры для расчета по формуле (8.3)			Параметры для расчета по формуле (8.5)	
	A	B	C	A	B
КВБ	15,3	0,34	0,149	0,153	1,69
КЗПП	11,1	0,393	0,106	0,122	1,76
К4ПП	9,5	0,446	0,034	0,175	1,72
КФСО	14,3	0,501	0,122	0,335	2,01

В зависимости от  $F$  выбираются: модель и номер калорифера, количество устанавливаемых секций или рядов  $n$ , живое сечение  $f$  (значения  $F$  и  $f$  приведены в табл. 12).

3. Действительная весовая скорость воздуха в калорифере  $\rho v_{\partial}$ , кг/(м<sup>2</sup>.с),

$$\rho v_{\partial} = \frac{1,2 Q}{3600 f_{\text{общ}}}, \quad (8.4)$$

где  $f_{\text{общ}} = f n$ .

4. Сопротивление движению воздуха  $H_{\text{общ}}$  (определяется для однорядного калорифера), кг/м<sup>2</sup>,

$$H_{\text{общ}} = A(\rho v_{\partial})^B, \quad (8.5)$$

где  $A, B$  - параметры, значения которых в зависимости от типа калорифера приведены в табл. 11. Полученное значение  $H_{\text{общ}}$  корректируется с учетом числа рядов и коэффициента запаса, равного 1,1:  $H_{\text{общ}} = 1,1 n H$ .

Таблица 12

Номер калорифера	Модель калорифера									
	КВБ		КЗПП		КФБО		К4ПП		КФСО	
	$F$	$f$	$F$	$f$	$F$	$f$	$F$	$f$	$F$	$f$
2	9,9	0,115	13,02	0,091	12,7	0,115	9,77	0,091		
3	13,9	0,154	16,28	0,112	16,9	0,154	13,43	0,120		
4	16,7	0,195	20,68	0,143	21,4	0,195	17,06	0,153		
5	20,9	0,244	26,88	0,182	26,8	0,244	21,71	0,167		
6	25,3	0,295	32,55	0,222	32,4	0,295	26,29	0,227		
7	30,4	0,354	40,06	0,271	38,9	0,354	30,06	0,271		
8	35,7	0,416	47,04	0,318	45,7	0,416	35,28	0,318		
9	41,6	0,486	55,86	0,375	53,3	0,486	41,89	0,375		
10	47,8	0,558	64,29	0,431	61,2	0,558	48,22	0,431		
11	-	-	71,06	0,475	69,9	0,638	55,84	0,497		

## 9. СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА

Установки для очистки поступающего воздуха от пыли и выбрасываемого воздуха от газов и паров твердых и жидких аэрозолей выбираются в зависимости от расходов воздуха, вида загрязняющих веществ, их токсичности и физико-химических свойств, экономических факторов и др.

Характеристики некоторых фильтров, применяемых для очистки поступающего воздуха от пыли, приведены в табл. 6 раздаточного материала "Производственная вентиляция".

Для очистки вентиляционных выбросов от пыли и капель тумана применяются пылеуловители (табл. 7 раздаточного материала "Производственная вентиляция").

В табл. 13 перечислены основные методы очистки вентиляционного воздуха от газо- и парообразных загрязнителей.

Таблица 13

Загрязняющие вещества	Методы очистки
<p>HF; HCl; HBr; F<sub>2</sub>; Cl<sub>2</sub>; Br<sub>2</sub>; I<sub>2</sub>; SO<sub>2</sub>; SO<sub>3</sub>; NO<sub>x</sub>; Органические кислоты; альдегиды; кетоны; углеводороды; спирты; фуран; бензол; толуол и др.</p>	<p>Адсорбционная очистка, хемсорбция Адсорбционная очистка с последующим сжиганием; конденсационная очистка; каталитическое дожигание; сжигание в печах</p>
<p>Фреоны; амины; тиазол; пиразолы; пиридины; пиролы; меркаптаны и т.п.</p>	<p>Адсорбционная очистка; каталитическое сжигание с последующей адсорбционной очисткой; сжигание в печах с последующей адсорбционной очисткой</p>

В табл. 8 раздаточного материала "Производственная вентиляция" включены устройства, применяемые в гальванических цехах для очистки вентиляционных выбросов.

## 10. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОЗДУХОВОДОВ

Удаление из производственного помещения загрязненного или нагретого воздуха и подача свежего осуществляются по системе воздуховодов.

По назначению различают воздуховоды для: 1) приточно-вытяжных систем общего назначения, изготавливаемые из листовой стали толщиной 1,0 мм и более; 2) транспортирования горючих газов ( $t > 100^\circ\text{C}$ ), изготавливаемые из листовой стали толщиной 1-2 мм; 3) транспортирования воздуха с примесью ядовитых газов, изготавливаемые из листовой стали толщиной от 0,7 мм, алюминия, винилпласта и прочих материалов в зависимости от состава газов.

При наличии в воздухе корродирующих газов, паров или пыли воздуховоды должны иметь поверхностные покрытия (кислотупорные лаки или пластмассовые пленки).

Конфигурация воздухопроводов и длина их участков  $l$  определяется конфигурацией помещения и расположением оборудования и рабочих мест.

Исходные данные аэродинамического расчета воздухопроводов: расход воздуха  $Q_B, \text{м}^3/\text{с}$ ; скорость движения воздуха  $V, \text{м}/\text{с}$ ; длина участка  $l, \text{м}$ ; гидравлический диаметр  $d_r, \text{м}$ .

Расчет расхода воздуха приведен в п. 3. Скорость движения воздуха в воздуховоде задается в пределах от 0,5 до 25 м/с. Гидравлический диаметр воздуховода рассчитывается по формуле

$$d_r = \sqrt{\frac{4Q_B}{\pi V}}. \quad (10.1)$$

Гидравлический диаметр воздуховода круглого сечения равен его диаметру  $d$ , а воздуховода прямоугольного сечения

$$d_r = \frac{2ab}{a+b}, \quad (10.2)$$

где  $a$  и  $b$  - стороны прямоугольника, м.

Аэродинамический расчет воздухопроводов сводится к определению потерь давления в них при данном расходе воздуха.

Суммарные потери давления в воздуховодах  $p, \text{Па}$ , определяются по формуле

$$p = \sum_{i=1}^n p_{\text{тр}i} + \sum_{j=1}^m p_{\text{м}j}, \quad (10.3)$$

где  $\sum_{i=1}^n p_{\text{тр}i}$  - сумма потерь давления на трение на прямых участках воздухопроводов, Па;  $\sum_{j=1}^m p_{\text{м}j}$  - сумма потерь давления на местные сопротивления (арматура, колена, тройники и т.п.), Па.

Потеря давления на трение равна

$$p_{\text{тр}i} = \lambda \frac{l_i}{d_{ri}} \cdot \frac{\rho V_i^2}{2}, \quad (10.4)$$

где  $\lambda$  - коэффициент сопротивления трению;  $l_i$  - длина  $i$ -го участка воздуховода, м;  $d_{ri}$  - гидравлический диаметр воздуховода, м;  $V_i$  - скорость воздуха, м/с;  $\rho$  - плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup> (при нормальных условиях  $\rho = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ ).

Коэффициент сопротивления трению составляет:

для гидравлически гладких труб

$$\lambda = \frac{1,01}{(\text{tg} \text{ Re})^{2,5}}; \quad (10.5)$$

для гидравлически шероховатых труб

$$\lambda = \frac{1}{(1,14 + 2 \text{tg} \frac{d}{K})^2}; \quad (10.6)$$

$$Re = \frac{V d}{\nu} - \text{число Рейнольдса, (10.7)}$$

где  $\nu$  - коэффициент кинематической вязкости воздуха,  $\text{м}^2/\text{с}$ ; при нормальных условиях  $\nu = 15,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $K$  - абсолютная шероховатость внутренних стенок труб (для проолифенной стали  $K = 20 + 40$  мкм, для непроолифенной  $K = 50 + 80$  мкм).

Потери давления на трение можно определить и по формуле

$$p_{\text{тр}} = R l, \quad (10.8)$$

где  $R$  - потери давления на трение на 1 погонный метр воздуховода.

Значения  $R$  для определенного расхода и скорости движения воздуха даются в справочниках [16,19]. Номограммы приведены на рис. 1 и 2 раздаточного материала.

Потери давления на местные сопротивления вычисляются по формуле

$$p_{mj} = \xi_j \frac{\rho V^2}{2}, \quad (10.9)$$

где  $\xi_j$  - коэффициент местного сопротивления  $j$ -го элемента. Значения коэффициентов различных местных сопротивлений приводятся в справочниках [16,19]. Значения коэффициентов для некоторых элементов приведены в табл. 9 раздаточного материала "Производственная вентиляция".

Порядок расчета сети воздуховода приточной вентиляции следующий.

1. На расчетной схеме обозначают номера всех участков воздуховода; объем воздуха  $Q$ , который необходимо подать; длину участка  $l_i$ ; коэффициент местных сопротивлений  $\xi_j$ ;  $d$  - диаметр трубопроводов (рис. 10,1). На рис. 10,1 цифрами обозначены: 1 - вентилятор; П, 1У - тройники; Ш, У - поворотные участки; У1 - воздухораспределители; 1+5 - прямые участки.

2. Задаются значениями скоростей движения воздуха по воздуховоду; для каждого объема воздуха определяют диаметры всех участков сети по формуле (10.1).

3. Заполняют таблицу (табл. 14).

4. Для каждого участка воздуховода рассчитывают скоростное давление  $\frac{\rho V^2}{2}$ .

5. Для всех участков сети по номограмме (рис. 1 раздаточного материала) определяют удельные потери давления на трение  $R$ .

6. Вычисляют потери давления на трение как произведение  $R$  на длину участка  $l$ .

7. По табл. 14 для каждого участка воздуховода находят сумму коэффициентов местных сопротивлений  $\sum \xi_j$ .

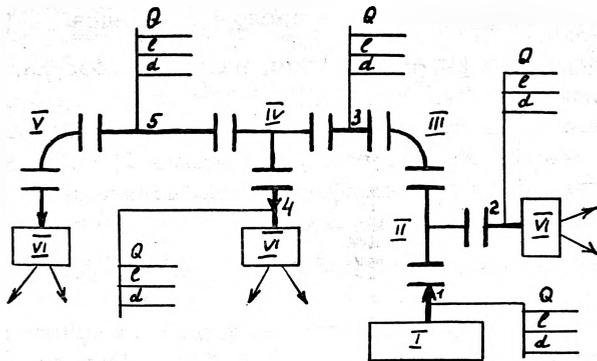


Рис. 10.1

8. Умножая сумму коэффициентов местных сопротивлений на скоростное давление  $\frac{\rho V^2}{2}$ , получают величину потерь на местные сопротивления  $z$ .
9. Определяют суммарные потери давления  $Rl + z$ .

Таблица 14

Диаметр участка воздуховода	$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$l, \text{ м}$	$d, \text{ м}$	$V, \text{ м/с}$	$R, \text{ Па/м}$	$Rl, \text{ Па}$	$\sum \xi_j$	$\frac{\rho V^2}{2}$	$z, \text{ Па}$	$(Rl+z), \text{ Па}$
1											
2											
3											

## 11. ПОДБОР ВЕНТИЛЯТОРОВ

### 11.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕНТИЛЯТОРОВ

По принципу работы вентиляторы подразделяются на осевые и центробежные. Вентиляторы приводятся в действие электродвигателями, с которыми они соединяются одним из следующих способов: а) непосредственно на валу или через эластичную муфту; б) клиноременной передачей с постоянным передаточным отношением; в) регулируемой бесступенчатой передачей через гидравлические и индукторные муфты скольжения.

Вентиляторы, выполненные по одной аэродинамической схеме, относятся к одному типу. Вентиляторы одного типа и конструктивного исполнения, но разных размеров составляют серию вентиляторов. Полное обозначение вентилятора содержит серию и номер, которые характеризуют коэффициент полного давления, быстроходность и размер рабочего колеса. Например, вентилятор В-Ц4-70 № 3, 15 имеет коэффициент полного давления 0,4, быстроходность 70 и диаметр колеса 3,15 дм.

На практике используется система обозначений центробежных вентиляторов, в которую входят:

а) условное обозначение серии вентилятора<sup>х</sup>; А - для В-Ц4-70; Б - для В-Ц4-76; В - для В-Ц14-46; Е - ЦВ-Ц4-75;

б) номер вентилятора, соответствующий номинальному диаметру рабочего колеса, измеренному в дм;

в) условное обозначение диаметра колеса; по ГОСТ 1-616-73 установлены девять основных номинальных диаметров рабочих колес  $D_{\text{ном}}$ , дм: 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; промежуточные диаметры рабочих колес  $D$  выражаются в долях от номинальных и обозначаются:

0,90 - при  $D = 0,90$ ;      0,95 - при  $D = 0,95$ ;

100 - при  $D = 1,00$ ;      105 - при  $D = 1,05$ ;

110 - при  $D = 1,10$ ;

г) порядковый номер рабочей характеристики; графически связывает при определенных частотах вращения  $n$  основные параметры: производительность  $Q$ , полное давление  $p_v$ , установившуюся мощность двигателя вентилятора  $N_y$  и КПД  $\eta$  (в зависимости от требуемых проектных параметров вентилятор может эксплуатироваться при различных частотах вращения; при этом каждой частоте соответствует своя рабочая характеристика; рабочие характеристики нумеруются арабскими цифрами по порядку возрастания частот вращения данного вентилятора);

д) буквенный индекс мощности двигателя вентилятора; обозначается прописной буквой и вводится в том случае, когда на данной частоте вращения для обеспечения необходимых  $Q$ ,  $p_v$  и  $\eta$  принята комплектация разными двигателями.

Приведем следующие примеры условных обозначений вентиляторов при проектировании.

---

<sup>х</sup> Указаны наиболее распространенные серии центробежных вентиляторов.

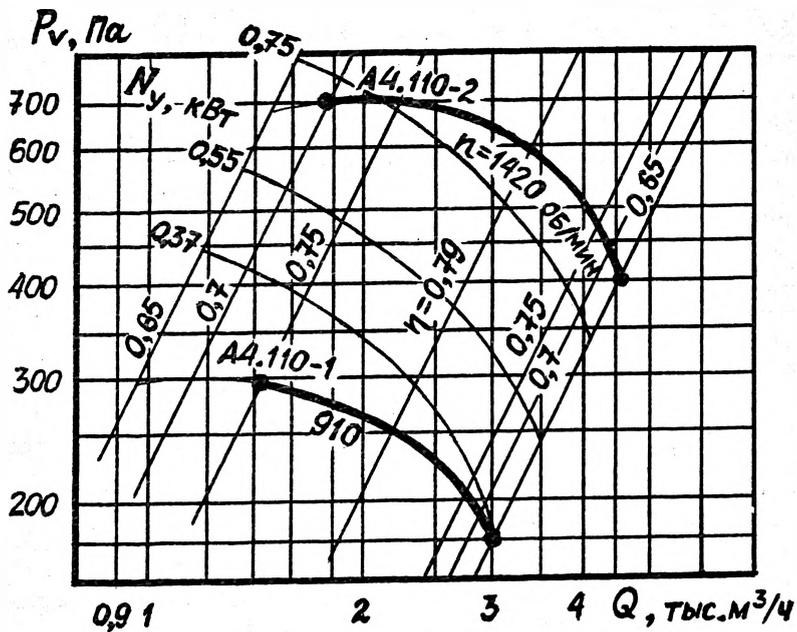


Рис. 11.1

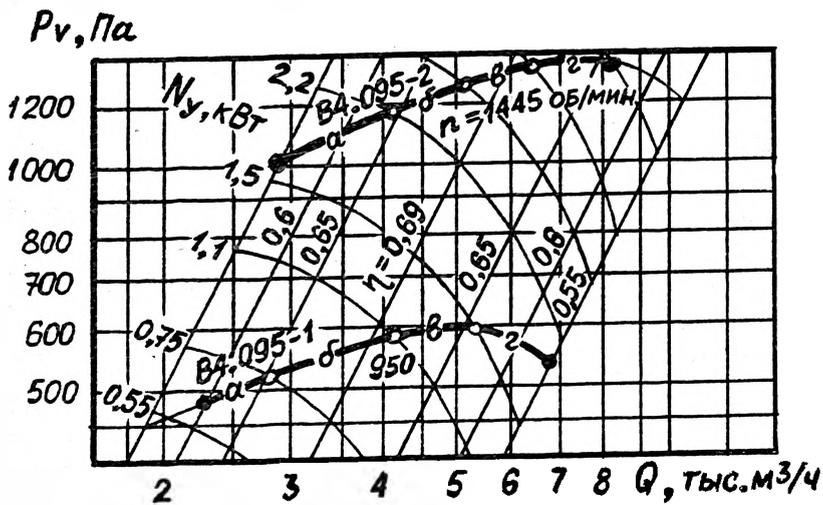


Рис. 11.2

1. Вентилятор В-Ц4-70 № 4 с диаметром рабочего колеса  $1,1 D_{\text{ном}}$ , частотой вращения  $n = 1420$  об/мин (вторая характеристика по возрастанию частот вращения) и двигателем мощностью  $N_y = 0,75$  кВт условно обозначается А4.110-2.

Данный пример иллюстрируется рис. 11.1, на котором приведена индивидуальная аэродинамическая характеристика вентилятора В-Ц4-70 № 4 с колесом диаметром  $D = 1,1 D_{\text{ном}}$ . Рабочие характеристики вентилятора указаны для тех частот, на которых он эксплуатируется (первая для  $n = 910$  об/мин и вторая для  $n = 1420$  об/мин).

2. Вентилятор В-Ц14-46 № 4 с диаметром рабочего колеса  $0,95 D_{\text{ном}}$ , частотой вращения  $n = 950$  об/мин (первая характеристика) и двигателем мощностью  $N_y = 1,1$  кВт условно обозначается В4.095-16.

Из графика индивидуальной аэродинамической характеристики вентилятора В-Ц14-46 № 4 (рис. 11.2) видно, что первой рабочей характеристике соответствует большой диапазон мощности, и поэтому для различных участков характеристики целесообразно использовать разные двигатели. В данном случае для обеспечения проектных значений  $Q$  и  $p_v$  используется один из четырех двигателей мощностью от 2,2 до 0,75 кВт.

## 11.2. ВЫБОР ВЕНТИЛЯТОРОВ И ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Индивидуальные аэродинамические характеристики вентиляторов одной серии объединяются в сводный график. Принят следующий порядок выбора вентиляторов:

на сводных графиках вентиляторов (рис. 3-6 раздаточного материала "Производственная вентиляция") находят точку пересечения координат  $Q - p_v$ , причем значение  $p_v$  уточняется по ближайшей лежащей выше рабочей характеристике. Полученная точка со значениями  $Q$  и  $p_v$  принимается за рабочую точку вентилятора;

на графиках индивидуальных характеристик (см. рис. 11.1 и 11.2) по полученной "рабочей точке" находят полное обозначение (с учетом индекса мощности) вентилятора;

по полученному обозначению вентилятора в табл. 10 раздаточного материала находят тип и параметры электродвигателя.

(На сводных графиках рабочие характеристики показаны в границах, рекомендуемых по энергетическим показателям. В графиках индивидуальных характеристик эти участки выделены утолщенной линией.)

При выборе вентилятора следует стремиться к тому, чтобы заданным значениям  $Q$  и  $p_v$  соответствовал наиболее выгодный режим работы, при котором  $\eta \geq 0,85 \eta_{max}$ . Это особенно важно в случае, если заданным  $Q$  и  $p_v$  соответствует несколько вентиляторов.

Пример подбора вентилятора. Подобрать вентилятор при  $Q = 3500 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $p_v = 540 \text{ Па}$ .

1. По сводным графикам (см.рис. 3-6 раздаточного материала) определяют рабочую характеристику, ближе всего расположенную к этим параметрам (в данном случае таких характеристик две - А4.110-2 и В4.095-1).

2. На графиках индивидуальных характеристик (см.рис.11.1 и 11.2) находят значения  $\eta$ , соответствующие выбранному режиму работы, и отношения  $\delta = \eta / \eta_{max}$ . Так как отношения близки между собой (для А4.110-2  $\delta = 0,79$ )  $0,79 = 0,99$ , для В4.095-1  $\delta = 0,68/0,69 = 0,98$ ), дальнейший выбор связан с анализом прочих технико-экономических характеристик.

3. Исходя из полученного обозначения по табл. 10 раздаточного материала определяют тип двигателя - 4А80А4 и его установочную мощность  $N_y = 1,1 \text{ кВт}$ .

При выборе электродвигателя в необходимых случаях учитывается форма его исполнения, зависящая от состояния воздушной среды.

В сухих малозапыленных помещениях, не содержащих в воздухе агрессивных газов и взрывоопасных веществ, устанавливаются защищенные двигатели. К ним относятся, например, двигатели серии 4А закрытого обдуваемого исполнения 1Р44 (см. табл.10 раздаточного материала "Производственная вентиляция") и защищенного исполнения 1Р23. Эти же двигатели устанавливаются в пыльных помещениях с легкоудаляемой и неэлектропроводной пылью, а также вне зданий, под крышей.

В помещениях, содержащих взрывоопасные соединения, применяются во взрывобезопасном исполнении серии МА-140, ТАГ.

В пыльных, влажных помещениях, содержащих агрессивные газы, а также при установке на открытом воздухе применяются обдуваемые двигатели исполнения А02, А0Л2.

## 12. РАСЧЕТ РАССЕЙВАНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ

При вентиляционных выбросах предусматривается рассеивание в атмосфере остаточного количества вредных веществ. Под рассеиванием примеси обычно понимают совместное действие процессов переноса и диффузии. Перенос связан со скоростью

ветра  $U$ , а диффузия – с турбулентностью воздушных масс в атмосфере. Выбросы из одиночного точечного источника распространяются по ветру в виде факела. Степень разбавления выброса атмосферным воздухом зависит от расстояния  $X$ , пройденного выбросом от источника до данной точки. Приземная концентрация вредных примесей растет вдоль оси факела от точки касания факела поверхности земли, достигая максимума  $C = C_m$ , мг/м<sup>3</sup>, на некотором расстоянии  $X_m$ , от источника выброса при скорости ветра, соответствующей опасной величине  $U_m$ , м/с. При дальнейшем удалении от источника выброса концентрация вредных примесей уменьшается. Расчет концентрации вредных веществ, выбрасываемых промышленными источниками загрязнения атмосферы, проводится согласно [18]. Используя указанные нормы, можно рассчитать приземные разовые концентрации вредных веществ в двухметровом слое над поверхностью земли для неблагоприятных метеорологических условий.

Максимальная концентрация вредных примесей  $C_m$ , мг/м<sup>3</sup>, для выбросов газовой смеси и пыли из одиночного точечного источника с круглым устьем при упомянутых условиях определяется по формуле

$$C_m = \frac{AMFmn\eta}{H^2 \sqrt[3]{Q_1 \Delta T}}, \quad (12.1)$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы (распределения температуры атмосферного воздуха по высоте от уровня земли);  $M$  – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с ( $M = C_1 Q_1 / 10^3$ ,  $C_1$  – концентрация вредного вещества в устье источника);  $F$  – коэффициент учета скорости оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;  $m, n$  – коэффициенты учета условий выхода газовой смеси из устья источника выброса;  $H$  – высота источника выброса над уровнем земли, м;  $\eta$  – коэффициент учета влияния рельефа местности (в случае ровной местности  $\eta = 1$ );  $\Delta T$  – разность температур выбрасываемой газовой смеси  $T_r$  и окружающего атмосферного воздуха  $T_b$ , °C;  $Q_1$  – расход газовой смеси, определяемый производительностью вентиляционной системы, м<sup>3</sup>/с.

Средняя скорость выхода газовой смеси из устья источника выброса  $w_0$ , м/с, рассчитывается по формуле

$$w_0 = \frac{4Q_1}{\pi D^2}, \quad (12.2)$$

где  $D$  – диаметр устья источника выброса, м.

С целью улучшения рассеивания газовой струи без увеличения высоты трубы  $H$  применяют сужающиеся насадки из расчета  $w_0 = 16 \div 18$  м/с. При решении вопроса о целесообразности применения сужающегося насадка рассчитывают  $w_0$  такую, чтобы  $C_M$  не превышала ПДК, а также учитывают дополнительное аэродинамическое сопротивление и энергетические затраты.

Необходимая высота выбросного устройства  $H$  определяется из условия, чтобы концентрация  $C_M$  не превышала ПДК. Строительство высоких труб для вентиляционных и технологических выбросов допускается в исключительных случаях. Их, как правило, сооружают над кровлей. Коэффициент  $A$  зависит от территориального расположения источника (для Московской, Тульской, Рязанской, Владимирской, Калужской и Ивановской областей  $A$  принимается равным 140).

Значения коэффициента  $F$  составляют:

а) для газообразных смесей и мелкодисперсных аэрозолей (пыли, золы и т.п.), скорость упорядоченного соединения которых практически равна нулю,  $F = 1$ ;

б) для мелкодисперсных аэрозолей (кроме указанных выше) при среднем эксплуатационном коэффициенте очистки выбросов не менее 90%  $F = 2$ ; от 75 до 90%  $F = 2,5$ ; менее 75% и при отсутствии очистки  $F = 3$ .

Коэффициенты  $m, n$  рассчитываются исходя из параметров  $f, v_M, v'_M, f_e$ :

$$f = 1000 \frac{w_0 D}{H^2 \Delta T}; \quad v_M = 0,65 \sqrt[3]{\frac{Q_1 \Delta T}{H}}; \quad (12.3)$$

$$v'_M = 1,3 \frac{w_0 D}{H}; \quad f_e = 800 (v'_M)^3. \quad (12.4)$$

Коэффициент  $m$  определяется в зависимости от  $f$  (рис.7 раздаточного материала "Производственная вентиляция").

Для вычисления  $m$  при  $f_p < f < 100$  принимается  $f = f_e$ .

Коэффициент  $n$  при  $f < 100$  рассчитывается в зависимости от параметра  $v_M$  (рис. 8 раздаточного материала "Производственная вентиляция").

Для вычисления  $n$  при  $f \geq 100$  принимается  $v_M = v'_M$ .

Случаи холодных выбросов ( $\Delta T = 0$ ) и предельно малых опасных скоростей ветра рассматриваются в работе [7].

Опасная скорость ветра  $u_M$  на уровне флюгера, т.е. обычно на высоте 10 м от поверхности земли, в случае  $f < 100$  составляет:

$$u_m = 0,5 \text{ при } v_M \leq 0,5; \\ u_m = v_M \text{ при } 0,5 < v_M \leq 2; \quad (12.5)$$

$u_m = v_m(1+0,12\sqrt{f})$  при  $v_m > 2$ .  
 При  $f \geq 100$ :

$$\begin{aligned} u_m &= 0,5 \text{ при } v'_m \leq 0,5; \\ u_m &= v'_m \text{ при } 0,5 < v'_m \leq 2; \\ u_m &= 2,2 v'_m \text{ при } v'_m > 2. \end{aligned} \quad (12.6)$$

Расстояние  $X_M$ , м, от источника выброса, соответствующее концентрации вредных примесей  $C_M$ , определяется по формуле

$$X_M = \frac{5-F}{4} dH, \quad (12.7)$$

где  $d$  при  $f < 100$  составляет:

$$\begin{aligned} d &= 2,48(1+0,28\sqrt[3]{fe}) \text{ при } v'_m \leq 0,5; \\ d &= 4,95 v'_m(1+0,28\sqrt[3]{f}) \text{ при } 0,5 < v'_m \leq 2; \\ d &= 7\sqrt{v'_m}(1+0,28\sqrt[3]{f}) \text{ при } v'_m > 2. \end{aligned} \quad (12.8)$$

При  $f > 100$ :

$$\begin{aligned} d &= 5,7 \text{ при } v'_m \leq 0,5; \\ d &= 11,4 v'_m \text{ при } 0,5 < v'_m \leq 2; \\ d &= 16\sqrt{v'_m} \text{ при } v'_m > 2. \end{aligned} \quad (12.9)$$

Если скорость ветра  $u$  отличается от опасной скорости ветра  $u_m$ , то соответствующая максимальная приземная концентрация вредных примесей  $C_M$  и при неблагоприятных метеорологических условиях составит, мг/м<sup>3</sup>,

$$C_{M_u} = r C_M, \quad (12.10)$$

где  $r$  – коэффициент, определяемый в зависимости от  $u/u_m$  (рис. 9 раздаточного материала "Производственная вентиляция").

Концентрация вредных примесей  $C_{M_u}$  определяемая по формуле (12.10), достигает максимального значения на расстоянии  $X_{M_u}$ , м, от источника выброса;

$$X_{M_u} = \rho X_M, \quad (12.11)$$

где  $\rho$  – коэффициент, зависящий от отношения  $u/u_m$  (см. рис. 9 раздаточного материала "Производственная вентиляция").

Приземная концентрация в атмосфере вредных веществ  $C_x$ , мг/м<sup>3</sup>, по оси факела выбросов на различных расстояниях от источника выброса при опасной скорости ветра  $u_m$  вычисляется по формуле

$$C_x = S_1 C_M, \quad (12.12)$$

где  $S_1$  – коэффициент, зависящий от отношения  $x/x_m$  и коэффициента  $F$  (рис. 10 раздаточного материала "Производственная вентиляция").

Аналогично рассчитывается значение  $C_x$  при скоростях ветра  $u$ , отличных от  $u_m$ , и неблагоприятных метеорологических условиях. По формулам (12.10) и (12.11) определяются значения  $C_{M_u}$  и  $X_{M_u}$ . В зависимости от отношения  $x/x_{M_u}$  (см.

рис. 10 раздаточного материала "Производственная вентиляция") находят значение  $S_1$ , а затем по (12.12) — значение  $C_{x_2}$ .

Приземная концентрация вредных веществ  $C_y$ , мг/м<sup>3</sup>, на расстоянии, м, перпендикулярном оси факела выброса, вычисляется по формуле  $C_y = S_2 C_M$ , где  $S_2$  — коэффициент, зависящий от скорости ветра  $u$ , м/с, и отношения  $y/x$  по значению аргумента  $t_y$ :

$$\begin{aligned} t_y &= \frac{u y^2}{x^2} && \text{при } u \leq 5; \\ t_y &= \frac{5 y^2}{x^2} && \text{при } u > 5. \end{aligned} \quad (12.13)$$

(рис. 11 раздаточного материала "Производственная вентиляция").

Окончательно концентрация вредных веществ в точке с координатами  $x, y$  в системе координат с осью  $X$ , направленной вдоль оси факела, при скорости ветра  $u$  и неблагоприятных метеорологических условиях определяется по формуле

$$C_{x,y} = r C_M S_1 S_2. \quad (12.14)$$

Приземная концентрация вредных веществ  $C$  в любой точке местности при наличии  $N$  источников выбросов рассчитывается как сумма концентраций вредных веществ от отдельных источников при заданных направлении и скорости ветра

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_N, \quad (12.15)$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_N$  — концентрации вредных веществ соответственно от первого, второго, ...  $N$ -го источников, расположенных с наветренной стороны при рассматриваемом направлении ветра.

При определении параметров выброса от одиночного источника требуется, чтобы

$$C_M + C_\Phi \leq \text{ПДК}_{\text{раз}}, \quad (12.16)$$

где  $C_\Phi$  — фоновые концентрации примеси;  $C_M$  — максимальная разовая предельно допустимая концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест по [3].

Для зон санитарно-защитной охраны курорта, крупных санаториев, домов отдыха и зон отдыха городов правая часть неравенства (12.16) принимается равной  $0,8 \text{ ПДК}_{\text{раз}}$ .

Если источников вредных выбросов несколько, расчет приземных концентраций начинается с вычисления для всех источников по каждому веществу максимальных концентраций  $C_M$  ( $C_{M1}, C_{M2}, \dots, C_{MN}$ ) и опасных скоростей ветра  $u_M$  ( $u_{M1}, u_{M2}, \dots, u_{MN}$ ). При расчетах средневзвешенная опасная скорость ветра  $u_{MC}$  для группы  $N$  источников находится по формуле

$$u_{mc} = \frac{u_{M1}C_{M1} + u_{M2}C_{M2} + \dots + u_{MN}C_{MN}}{C_{M1} + C_{M2} + \dots + C_{MN}}$$

Отдельно для каждого вещества определяются значения  $C_{M_i}/u = u_{mc}$  и  $x_{M_i}/u = u_{mc}$ . Если по рассматриваемому веществу сумма  $C_{M_i}/u = u_{mc}$  удовлетворяет неравенству (12.16), дальнейшие расчеты проводятся главным образом для фактической оценки уровня загрязнения воздуха.

В воздухе, поступающем в помещения производственных и административно-бытовых зданий через приемные устройства и открываемые окна и проемы, концентрация вредных веществ не должна превышать 0,3 ПДК вредных веществ для рабочей зоны производственных помещений.

Для расчета концентрации вредных веществ в наружном воздухе на входе в приемное устройство от источника, находящегося вне зоны аэродинамической тени, можно воспользоваться формулой распределения концентрации  $C_z$ , мг/м<sup>3</sup>, на различных высотах  $z$ , м, над подстилающей поверхностью при

$x < x_{M_i}$ :

$$C_z = r C_M s_z s_2. \quad (12.17)$$

Значения  $C_M$ ,  $r$ ,  $s_2$  определяются по формуле (12.1) и рис. 9 и 11 раздаточного материала "Производственная вентиляция".

$s_z$  рассчитывается по параметрам  $b_1$  и  $b_2$  (рис. 12 раздаточного материала "Производственная вентиляция"):

при  $b_1 < 1$

$$s_z = s_1(b_1) \frac{1 + 0,1(b_2 - 1)^2}{b_1^3 + 0,1(b_2 - 1)^2} \left[ 1 + \frac{(b_2 + 0,2)(b_1^3 - 1)}{b + (b_2 + 0,2)(1 + 0,1(b_2 - 1)^2)} \right]; \quad (12.18)$$

при  $b_1 > 1$

$$s_z = s_1(b_1), \quad (12.19)$$

где  $b_1 = x/x_{M_i}$ ;  $b_2 = \frac{z}{(1+5d_2)H}$ ;

$$d_2 = 0,06 \cdot v_M \sqrt[3]{f}/u + 0,034(v_M/u)^5$$

при  $f < 100$ ; (12.20)

$$d_2 = 0,28 v_M'/u + 0,034(v_M'/u)^5$$

при  $f \geq 100$ . (12.21)

При  $f_2 < f < 100$  принимается  $f = f_e$ , и коэффициент  $d_2$  вычисляется по формуле (12.20); при  $v_M' < 0,5$  или  $v_M' < 0,5$  в (12.20) и (12.21) соответственно принимается  $v_M' = v_M = 0,5$ . При  $x > x_{M_i}$  концентрация  $C_z$  постоянна по высоте и равна  $C_{x,y,u}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12.1.005-76. ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования. - М.: Изд-во стандартов, 1976.
2. СНиП 2.04.05-86. Отопление, вентиляция и кондиционирование. - М.: 1986.
3. СН 245-71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. - М.: Стройиздат, 1972.
4. Елинский И.И. Вентиляция и отопление гальванических и травильных цехов машиностроительных предприятий. - М.: Машиностроение, 1982.
5. Карпос А.А. Вентиляция и отопление сварочных, гальванических, окрасочных цехов. - М.: Машиностроение, 1977.
6. Кузьмин М.С., Овчинников П.А. Вытяжные и воздухораспределительные устройства. - М.: Стройиздат, 1987.
7. Методика расчета концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. - Л.: Гидрометеоздат, 1987.
8. Методические указания по конструированию местных воздухоприемников, встроенных в оборудование для пайки и лужения. - Л.: ВНИИОТ, 1980.
9. Методические рекомендации по расчету мокрых пылеуловителей. - М.: ГПИ Сантехпроект, 1976.
10. Местные отсосы. Паспорта типовых чертежей А6-45. - М.: ГПИ Сантехпроект, 1970.
11. Молчанов Б.С. Проектирование промышленной вентиляции: Пособие для проектировщиков. - М.: Стройиздат, 1970.
12. Писаренко В.Л., Рочинский М.Л. Вентиляция рабочих мест в сварочном производстве. - М.: Машиностроение, 1981.
13. Руководство по подбору рациональных вентиляторов общего назначения для санитарно-технических систем. АЗ-907. - М.: ГПИ Сантехпроект, 1984.

14. Рысин С.А. Вентиляционные установки машиностроительных заводов: Справочник. - М.: Машиностроение, 1964.
  15. Справочник по пайке / Под ред. И.С. Петрунина. - М.: Машиностроение, 1984.
  16. Справочник проектировщика. Вентиляция и кондиционирование воздуха. - М.: Стройиздат, 1977.
  17. Курсовое и дипломное проектирование по вентиляции гражданских и промышленных зданий / В.П. Титов, Э.В. Сазонов, Ю.С. Краснов, В.И. Новожилов. - М.: Стройиздат, 1985.
  18. Термические методы обезвреживания отходов / Под ред. К.К. Богушевской и К.С. Беспамятного. - Л.: Химия, 1975.
  19. Торговинков Б.М., Табачник В.Е., Ефанов Е.М. Проектирование промышленной вентиляции: Справочник. - Киев: Наукова думка, 1983.
-

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	3
1. Нормализация воздуха производственных помещений с помощью вентиляции . . . . .	3
2. Порядок расчета вентиляции производственных помещений с искусственным побуждением воздуха . . . . .	5
3. Выбор системы вентиляции и схемы организации воздухообмена . . . . .	6
4. Определение воздухообмена общеобменной вентиляции . . . . .	7
5. Местные отсосы . . . . .	18
6. Системы забора и выброса воздуха . . . . .	25
7. Воздухораспределители . . . . .	26
8. Калориферы . . . . .	26
9. Системы очистки воздуха . . . . .	28
10. Аэродинамический расчет воздуховодов . . . . .	29
11. Подбор вентиляторов . . . . .	32
12. Расчет рассеивания вентиляционных выбросов . . . . .	36
Литература . . . . .	42

---

Тем. план 1989, поз. 38

### ВЫБОР И РАСЧЕТ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Алатырцев Александр Борисович  
Бубнова Ирина Петровна  
Голованова Татьяна Винидиктовна  
Качанов Алексей Владимирович  
Курбатов Борис Евгеньевич

Редактор Е.Н. Царева  
Техн. редактор Е.А. Смирнова  
Корректор Н.В. Кузнецова  
Подписано к печати 9.02.89  
Бум. офсетная. Формат 60x84 1/16. Печать офсетная  
Усл. печ. л. 2,56 уч.-изд. л. 3,00. Тираж 600  
Зак. 2248 /2381. Цена 20 к.  
Типография издательства МАИ  
125871, Москва, Волоколамское шоссе, 4