

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
**Государственное образовательное учреждение**  
высшего профессионального образования  
**ИВАНОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ТЕКСТИЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ**  
**(ИГТА)**

Кафедра безопасности жизнедеятельности

**Методические указания к выполнению расчетной части БЖД дипломных  
проектов студентов специальности 170700 (все формы обучения)**

**Иваново 2005**

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения специальности 170700, выполняющих раздел «Безопасность и экологичность» дипломных проектов. Указания составлены с учетом того, что студенты этой специальности не изучают курс «Вентиляция, кондиционирование и отопление»

Составители: проф., к.т.н. В.Я. Маринич  
доц., к.т.н. М.Д. Ларионова

Научный редактор: доц. К.т.н. В.И. Яницкая

## **Определение производительности вентиляционных систем в помещении**

Параметры микроклимата оказывают непосредственное влияние на тепловое самочувствие человека и его работоспособность.

Для поддержания параметров микроклимата на уровне, необходимом для обеспечения комфортности и жизнедеятельности, применяют вентиляцию помещений, где человек осуществляет свою деятельность. Оптимальные параметры микроклимата обеспечиваются системами кондиционирования воздуха, а допустимые параметры – обычными системами вентиляции и отопления.

Вентиляцией называется организованный и регулированный воздухообмен в помещении, целью которого является обеспечение требуемых параметров воздушной среды в рабочей зоне данного помещения.

Кондиционирование воздуха - автоматическое поддержание в закрытых помещениях всех или отдельных параметров воздуха (температуры, относительной влажности, чистоты, скорости движения) на определённом уровне с целью обеспечения главным образом оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей, ведения технологического процесса.

Кондиционирование воздуха, согласно СНиП 2.04.05-91\*, подразделяется на три класса:

I - для обеспечения метеорологических условий, требуемых для технологического процесса, при допускаемых отклонениях за пределами расчётных параметров в среднем 100 ч/г при круглосуточной работе или 70 ч/г при односменной работе в дневное время;

II - для обеспечения оптимальных санитарных или технологических норм при допускаемых отклонениях в среднем 250 ч/г при круглосуточной работе или 175 ч/г при односменной работе в дневное время;

III - для обеспечения допускаемых метеорологических условий, если они не могут быть обеспечены вентиляцией, или промежуточных условий между допускаемыми и оптимальными нормами при экономическом обосновании; допускаемые

отклонения в среднем 450 ч/г при круглосуточной работе или 315 ч/г при односменной работе в дневное время;

Системы кондиционирования, как правило, снабжаются средствами для очистки воздуха от пыли, бактерий и запахов; подогрева, увлажнения и осушения его; перемещения, распределения и автоматического регулирования температуры воздуха, его относительной влажности, а иногда и средствами регулирования газового состава и ионосодержания воздуха; а также - средствами дистанционного управления и контроля. Системы кондиционирования больших общественных зданий должны обслуживаться комплексными автоматизированными системами управления.

Основной задачей расчета вентиляции любого помещения является определение количества подаваемого в помещение свежего воздуха и количества удаляемого из помещения загрязненного воздуха. Удаляемый воздух может быть загрязнен избыточным количеством влаги, теплоты, вредных паров, - газов и т.п. Между подаваемым количеством приточного воздуха и удаляемым воздухом должен соблюдаться определенный баланс в зависимости от особенностей технологического процесса в помещении.

### **1. Определение количества вентиляционного воздуха при общеобменной вентиляции**

Для случая общеобменной вентиляции и выделения в помещении вредных веществ в виде паров или газов (углекислый газ, окись углерода и др.) количество подаваемого в помещение приточного воздуха определяется по формуле:

$$L_{np} = \frac{M}{K_2 - K_1}, \quad \text{м}^3/\text{ч}$$

где  $M$  - количество выделяемых вредных веществ,  $\text{м}^2/\text{ч}$ ;

$K_2$  - предельно допустимая концентрация вредного вещества,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ ;

$K_1$  - концентрация вредного вещества в приточном воздухе,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ .

При наличии в помещении избытков тепла количество приточного воздуха определяется из выражения:

$$L_{np} = \frac{Q_{изб}}{c(t_{yx} - t_{np})\rho}, \quad \text{м}^3/\text{ч}$$

где  $Q_{изб}$  - теплоизбытки помещения, Вт;

$c$  - теплоемкость 1 кг воздуха, кДж/кг $^{\circ}$ с

$t_{yx}$  - температура удаляемого из помещения воздуха,  $^{\circ}$ с;

$t_{np}$  - температура приточного воздуха,  $^{\circ}$ с;

$\rho$  - плотность воздуха, кг/м $^3$ ;

Температура удаляемого из помещения воздуха ( $t_{yx}$ ) определяется из выражения:

$$t_{yx} = t_{pz} + a(H - 2)^{\circ}\text{с}$$

где  $t_{pz}$  - температура воздуха в рабочей зоне,  $^{\circ}$ с;

$a$  - градиент температуры по высоте помещения,  $^{\circ}$ с/м ( $\approx 0,5$   $^{\circ}$ с/м);

$H$  - расстояние от пола до центра вытяжных отверстий, м.

При наличии в помещении избытков влаги количество приточного воздуха определяется из аналогичного выражения:

$$L_{np} = \frac{G_{вл}}{(d_2 - d_1)\rho}, \quad \text{м}^3/\text{ч}$$

где  $G_{вл}$  - количество выделяющейся в помещении влаги, г/ч;

$d_2$  и  $d_1$  абсолютное влагосодержание соответственного удаляемого и приточного воздуха, г/кг.

Если в одном и том же помещении выделяется одновременно несколько веществ, количество приточного воздуха определяют из условия удаления каждого вредного вещества. Большую из определенных величин  $L_{np}$  принимают за расчетную.

Зная количество приточного воздуха  $L_{np}$  определяют кратность воздухообмена:

$$K_p = L_{np} / V, \quad \text{обм/ч}$$

где  $V$  - объем вентилируемого помещения, м $^3$ .

## Примеры расчета

### 1.1 Объем помещения 1750 м<sup>3</sup>.

Определить объем подаваемого в помещение воздуха и кратность воздухообмена если известно, что технологический процесс сопровождается выделением  $G_{\text{выд}}$  окиси углерода (CO), предельно допустимая концентрация которого  $K_2 = 90$  г/м<sup>3</sup>. В помещении работает  $N$  человек, каждый из которых выделяет по 68 г/ч углекислого газа (CO<sub>2</sub>), предельно допустимая концентрация которого составляет  $K_2 = 1,5$  г/м<sup>3</sup>. Концентрация указанных вредностей в наружном воздухе (приточном) составляет  $K_1 = 0$ .

Расчет:

Количество выделяющегося в помещении газа CO<sub>2</sub>

$$M(\text{CO}_2) = 68 \cdot 20 = 1360 \text{ г/ч}$$

Количество приточного воздуха из условия борьбы с окисью углерода определяем по выражению ( $K_1 = 0$ )

$$L_{np} = \frac{M_{co}}{K_2 - K_1} = \frac{1360}{90 - 0} = 1511,1 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Количество приточного воздуха из условия борьбы с углекислым газом

$$L_{np} = \frac{1360}{1,5} = 906,7 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Принимаем большую величину  $L_{np} = 1511,1$  м<sup>3</sup>/ч.

Кратность воздухообмена

$$K_p = L_{np} / V = 1511,1 / 1750 = 0,86 \text{ ед/ч}$$

Для осуществления такой кратности необходимо установить типовой кондиционер типа КДЦ 31,5.

### 1.2 Вариант расчета

В зале заседания организации собралось 100 человек. Объем помещения 2000 м<sup>3</sup>. Рассчитать через сколько времени T после начала собрания необходимо включить приточно-вытяжную вентиляцию, учитывая следующие данные:

Таблица 1.

**Количество углекислоты, выделяемой одним человеком**

Характер выполняемой	Количество CO <sub>2</sub> , выделяемого	
	г/ч	л/ч
1. Взрослые		
- при тяжелой физической	68	45
- при легкой физической	45	30
- в состоянии покоя	35	23
2. Дети до 12 лет	18	12

Таблица 2

**Допустимые концентрации углекислоты в помещениях**

Назначение помещения	Допустимая концентрация	
	г/кг	л
Жилые дома	1,5	1
Больницы	1,0	0
Кратковременного пребывания людей (залы)	3,0	2,0

Таблица 3

**Ориентировочные уровни содержания углекислоты в наружном воздухе**

Характер местности	Содержание CO <sub>2</sub>	
	г/м <sup>3</sup>	л/м <sup>3</sup>
Сельская местность	0,6	0,4
Поселки городского типа	0,7	0,47
Города	0,9	0,6

В помещениях значительного объема возможно начинать работу приточно-вытяжной вентиляции не сразу, а после того, как

концентрация вредности допустимого предела  $K$ , т.е. через промежуток времени  $T$  (час)

$$T = \frac{V(K_1 - K_0)}{M}, \text{ ч} \quad (1)$$

Расчет

Количество  $\text{CO}_2$ , выделяющегося в помещении

$$M(\text{CO}_2) = 100 \cdot 23 - 2300 \text{ л/ч}$$

из выражения (1) определим

$$T = \frac{2000(2 - 0,6)}{2300} = 1,21 \text{ часа} \approx 73 \text{ мин.}$$

Варианты для выполнения расчета

№	Количество людей, находящихся в помещении (чел.)	Объем помещения, м <sup>3</sup>	Количество выделяемой в помещении окиси углерода (CO), г/ч	Характер выполняемой работы
1	2	3	4	5
1	100	2100	750	Легкая
2	90	2050	650	Тяжелая
3	80	1800	700	Тяжелая
4	110	2200	650	Легкая
5	125	2400	800	Тяжелая
6	95	2250	850	Легкая
7	130	2450	900	Легкая
8	85	2300	770	Тяжелая
9	140	2550	830	Легкая
10	135	2500	900	Тяжелая

## 2. Расчет системы вентиляции сборочного цеха

Исходные данные: количество работников – 10 человек, основная технологическая операция – паечные работы.

### Расчёт выделения вредных веществ и влаги.

#### Влаговыведения.

Количество влаги, выделяемой работающими :

$$W = n \cdot w, \text{ где}$$

$n$  - число людей в помещении ;

$w$  - влаговыведения от одного человека .

Согласно справочных данных \* (работа физическая лёгкая) имеем  $w(20^\circ\text{C}) = 104 \text{ г/ч} \Rightarrow$

$$W = 10 \cdot 104 = 1040 \text{ г/ч} .$$

#### Газовыведения.

Необходимо учесть газовыведения при технологической операции “пайка”, а также выделение  $\text{CO}_2$  персоналом

$$\text{Выделение } \text{CO}_2 \text{ персоналом} = 45 \text{ г/ч} \cdot 10 = 450 \text{ г/ч}.$$

Технологическое газовыведение:

Наименование технол. операции	Марка припоя	Выделяю щеея вредное вещество	Единица измерения	Количество
Пайка единичных мелких изделий электропаяльниками ручного типа, мощностью 20 - 60 Вт .	ПОС-30	свинец	г/с на 1 пост	$7,5 \cdot 10^{-6}$

$$7,5 \cdot 10^{-6} \cdot 3600 \cdot 10 = 0,27 \text{ г/ч} .$$

## Расчёт выделений тепла.

### Тепловыделения от людей.

В расчётах используется явное тепло, т.е. тепло, воздействующее на изменение температуры воздуха в помещении. Считается, что женщина выделяет 85 % тепловыделений взрослого мужчины.

$$93,2 \text{ Вт (20}^\circ\text{C)} \cdot 10 = 932 \text{ Вт.}$$

### Тепловыделения от солнечной радиации.

Для остеклённых поверхностей :

$$Q_{\text{ост.}} = F_{\text{ост.}} \cdot q_{\text{ост.}} \cdot A_{\text{ост.}}, \text{ Вт,}$$

где  $F_{\text{ост.}}$  - площадь поверхности остекления,  $\text{м}^2$  ;

$q_{\text{ост.}}$  - тепловыделения от солнечной радиации,  $\text{Вт/м}^2$ , через  $1\text{м}^2$  поверхности остекления (с учётом ориентации по сторонам света) ;

$A_{\text{ост.}}$  - коэффициент учёта характера остекления .

Окна с двойным остеклением с металлическими переплётами, ориентация остекления на восток при географической широте  $55^\circ$   
 $\Rightarrow q_{\text{ост.}} = 200 \text{ Вт/м}.$

Двойное остекление в одной раме  $\Rightarrow A_{\text{ост.}} = 1,15 .$

$$Q_{\text{ост.}} = 12 \cdot 200 \cdot 1,15 = 2760 \text{ Вт} .$$

### Тепловыделения от источников искусственного освещения.

$$Q_{\text{осв.}} = N_{\text{осв.}} \cdot \eta, \text{ Вт, где}$$

$N_{\text{осв.}}$  - мощность источников освещения, Вт ;

$\eta$  - коэффициент теплопотерь (0,9 - для ламп накаливания, 0,55 - для люминесцентных ламп).

$$Q_{\text{осв.}} = 600 \cdot 0,55 + 1000 \cdot 0,9 = 1230 \text{ Вт} .$$

### Тепловыделения от оборудования.

Электропаяльники ручного типа мощностью 40 Вт  $\Rightarrow$

$$Q_{\text{об.}} = 10 \cdot 40 = 400 \text{ Вт} .$$

## Определение потребного воздухообмена.

Необходимый расход воздуха определяется вредными факторами, вызывающими отклонение параметров воздушной среды в рабочей

зоне от нормируемых (поступление вредных веществ, влаги, избытков теплоты).

Потребный воздухообмен при поступлении вредных веществ  
в воздух рабочей зоны.

Количество воздуха, необходимое для разбавления концентраций вредных веществ до допустимых :

$$G = \frac{B}{q_2 - q_1}, \text{ м}^3/\text{ч}, \text{ где}$$

$B$  - количество вредных веществ, выделяемых в помещение за 1 час, г/ч ;

$q_1, q_2$  - концентрации вредных веществ в приточном и удаляемом воздухе, г/м<sup>3</sup>,  $q_2$  принимается равной ПДК для рассматриваемого вещества (свинец и его неорганические соединения -  $0,1 \cdot 10^{-4}$  г/м<sup>3</sup>, класс опасности - I).

$$G = \frac{0,27}{0,1 \cdot 10^{-4}} = 27000 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$G_{\text{общ.}} = G \cdot 10 = 270000 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

### 3. Расчет местной системы вентиляции .

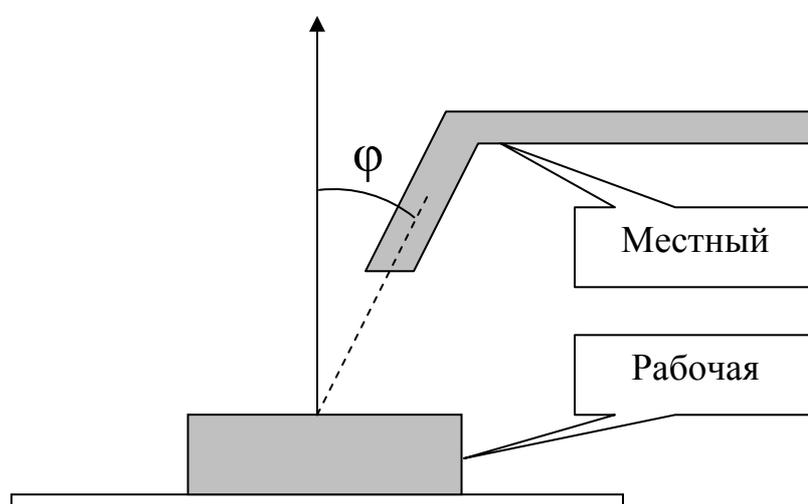
В рассмотренном случае целесообразно применить систему местных отсосов, что значительно снизит воздухообмен.

При удалении вредностей непосредственно у места их выделения достигается наибольший эффект действия вентиляции, т.к. при этом не происходит загрязнения больших объемов воздуха и можно удалить малыми объемами воздуха выделяемые вредности. При наличии местных отсосов объем приточного воздуха принимается равным объему вытяжки (минус 5% для исключения возможности перетекания загрязнённого воздуха в соседние помещения).

В качестве приточной системы будем использовать общеобменную вентиляцию, а в качестве вытяжной - местную.

## Расчёт местной вентиляции (вытяжной).

### Воздухообмен при поступлении вредных веществ в воздух рабочей зоны.



Угол несоосности  $\varphi$  между осями факела вредностей и отсоса принят величиной  $20^\circ$  из конструктивных соображений. Расход воздуха для отсоса, удаляющего тепло и газы, пропорционален характерному расходу воздуха в конвективном потоке, поднимающемся над источником:

$$L_{отс.} = L_0 \cdot K_{\Pi} \cdot K_B \cdot K_T, \quad \text{где}$$

$L_0$  - характерный расход,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$K_{\Pi}$  - безразмерный множитель, учитывающий влияние геометрических и режимных параметров, характеризующих систему “источник - отсос”;

$K_B$  - коэффициент, учитывающий скорость движения воздуха в помещении;

$K_T$  - коэффициент, учитывающий токсичность вредных выбросов.

$$L_0 = 310 \cdot [Q \cdot (s + d)^5]^{1/3}, \quad \text{где}$$

$Q$  - конвективная теплоотдача источника (40 Вт);

$s$  - параметр, имеющий размерность длины, м;

$d$  - эквивалентный диаметр источника (0,003 м).

$$s = 0,5 \cdot (x_0 + y_0 + \sqrt{x_0^2 + y_0^2}), \quad \text{где}$$

$x_0$  - расстояние в плане от центра источника до центра отсоса (0,2 м);

$y_0$  - расстояние по высоте от центра источника до центра отсоса (0,4 м);

$$s = 0,5 \cdot (0,2 + 0,4 + \sqrt{0,2^2 + 0,4^2}) = 0,52 \text{ м}.$$

$$L_0 = 310 \cdot [40 \cdot (0,52 + 0,003)^5]^{1/3} = 360 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

$$K_{\Pi} = (0,15 + 0,043 \varphi) [1 - 0,25(1 - 0,32 \varphi) D^2], \quad \text{где}$$

$\varphi$  - в радианах:  $20^\circ = 0,35 \text{ рад}$ ;

$$D = \frac{4,17 \cdot D_{\text{экв.}}}{s + d}, \quad \text{где}$$

$D_{\text{экв.}}$  - эквивалентный диаметр отсоса (0,15 м).

$$D = \frac{4,17 \cdot 0,15}{0,52 + 0,003} = 1,2.$$

$$K_{\Pi} = (0,15 + 0,043 \cdot 0,35) [1 - 0,25(1 - 0,32 \cdot 0,35) 1,2^2] = 0,11.$$

$$K_B = 1 + 20,8 \cdot v_B \cdot \sqrt[3]{\frac{d^2}{y_0 \cdot Q}}, \quad \text{где}$$

$v_B$  - подвижность воздуха в помещении - СН 245-71  $\Rightarrow$  0,2 м/с).

$$K_B = 1 + 20,8 \cdot 0,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,003^2}{0,4 \cdot 40}} = 1,03.$$

Коэффициент  $K_T$  определяется в зависимости от параметра  $C$ :

$$C = \frac{3600 \cdot M}{L_{\text{отс.1}} \cdot (\text{ПДК} - q_{\text{пр.}})}, \quad \text{где}$$

$M$  - расход вредного вещества ( $7,5 \cdot 10^{-3}$  мг/с);

$L_{\text{отс.1}}$  - расход воздуха отсосом при  $K_T = 1$ ;

$\text{ПДК}$  - предельно-допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны ( $0,01 \text{ мг/м}^3$ );

$q_{\text{пр.}}$  - концентрация вредного вещества в приточном воздухе,  $\text{мг/м}^3$ .

$$L_{\text{отс.1}} = L_0 \cdot K_{\Pi} \cdot K_B = 360 \cdot 0,11 \cdot 1,03 = 40,8 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

$$C = \frac{3600 \cdot 7,5 \cdot 10^{-3}}{40,8 \cdot (0,01 - 0)} = 66, \quad K_T = 1,5.$$

$$L_{\text{отс.}} = 40,8 \cdot 1,5 = 61,2 \approx 65 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

$$L_{\text{сист.}} = 65 \cdot 10 = 650 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

## 4. Определение поверхности нагрева отопительных приборов.

### 4.1 Общие сведения о системах отопления

Основными элементами любой системы отопления являются генератор тепла, нагревательные приборы и теплопроводы (каналы и трубопроводы).

В генераторе тепла происходит сжигание топлива, а выделяемое при этом тепло передается теплоносителю, т.е. среде, переносящей тепло от генератора к нагревательным приборам. Нагревательные приборы передают полученное от генератора тепло воздуху помещения. По теплопроводам теплоноситель перемещается от генератора тепла к нагревательным приборам.

Системы отопления подразделяют на местные и центральные. В местной системе отопления генератор тепла, нагревательные приборы и теплопередающие поверхности конструктивно объединены в одном устройстве. Примерами местного отопления может служить комнатная печь, электронагреватели и т.п.

Центральными системами отопления называются системы, в которых генератор тепла (например, котел) находится вне отапливаемого помещения, а теплоноситель к местам потребления подается по трубопроводам.

В зависимости от вида теплоносителя центральные системы отопления подразделяют на системы водяного, парового, воздушного и комбинированные.

В системах большой протяженностью, как правило, применяют системы водяного отопления с искусственной циркуляцией воды при помощи насосов. Эти системы в качестве теплоносителя могут использовать воду с температурой до  $100^{\circ}\text{C}$  и высокотемпературную воду (с температурой более  $100^{\circ}\text{C}$ ).

К нагревательным приборам, применяемых в системах центрального отопления, относятся чугунные и стальные радиаторы, чугунные ребристые трубы, стальные и чугунные конвекторы, бетонные отопительные панели. Более подробно об устройстве отдельных видов нагревательных приборов можно познакомиться в [Л].

Для сравнения теплотехнических качеств различных конструкций нагревательных приборов введено понятие об «эквивалентном квадратном метре» - ЭКМ. Под ЭКМ понимается условная поверхность нагревательного прибора, отдающая 505 Вт при разности средней температуры теплоносителя и воздушного помещения  $64,5^{\circ}\text{C}$  и пропуске через ЭКМ прибора 17,4 кг/ч воды. Эта разность температур отвечает наиболее общим условиям систем водяного отопления с параметрами теплоносителя  $t_{\text{нач.}}=95^{\circ}\text{C}$  и  $t_{\text{кон.}}=70^{\circ}\text{C}$  при температуре воздуха помещения  $t_{\text{в}}=18^{\circ}\text{C}$ , т.е. при

$$\Delta_t = \frac{95 + 70}{2} - 18 = 64,5^\circ \text{C}.$$

Для справки 1 ЭКМ = 1820 кДж/ч = 506 Вт

В настоящее время наибольшее распространение имеют радиаторы типа М-140 и М-140А.

В табл. 1 приведены технические характеристики таких радиаторов  
Таблица 1.1

Радиатор	Поверхность нагрева		Размер одной секции, мм			Емкость одной секции, л	Вес секции, кг
	м <sup>2</sup>	ЭКМ	высота	ширина	глубина		
М-140	0,254	0,31	500	95	140	1,43	7,6
М-140А	0,287	0,35	500	96	140	1,43	7,95

#### 4.2 Определение поверхности нагрева отопительных приборов

Тепло передается помещению через стенки нагревательного прибора; при этом внутренняя поверхность прибора, соприкасающаяся непосредственно с теплоносителем, воспринимает от него тепло, а наружная поверхность прибора, омываемая воздухом помещения, отдает тепло. Наружную поверхность прибора принято называть поверхностью нагрева.

Количество тепла, отдаваемого прибором, пропорционально поверхности нагрева, разности температур теплоносителя в приборе и омывающего его воздуха, а также коэффициенту теплоотдачи К прибора. Величина этого коэффициента зависит от вида и температуры теплоносителя, конструкции прибора и способа его установки в отапливаемом помещении. В частности, в таблице 1.2.1 приведены коэффициенты теплоотдачи для приборов М-140 и М-140А при их открытой установке и теплоносителе воде (Вт/м<sup>2</sup> °С)

Таблица 1.2.1

Нагревательный прибор	Значение К при разности средней температуры воды в приборе и температурой воздуха помещения, °С								
	От 40 до 45	От 45 до 50	От 50 до 55	От 55 до 60	От 60 до 65	От 65 до 70	От 70 до 75	От 75 до 80	Выше 80
М-140, М-140А	-	8,47	9,2	9,2	9,5	9,5	9,9	9,9	10,0

Поверхность нагрева приборов F в м<sup>2</sup> определяется по формуле

$$F = \frac{Q_{np}}{K(t_{cp} - t_g)} \beta_2 \beta_3 \text{ м}^2 \quad (1.2), \text{ где}$$

$Q_{пр}$ - количество тепла, которое должны отдать нагревательные приборы, Вт

$t_{ср}$ - средняя температура теплоносителя в приборе, °С

$t_{в}$ - температура воздуха в помещении, °С

$K$  – коэффициент теплоотдачи (по табл. 1.2.1)

$\beta_1$  – поправочный коэффициент в зависимости от числа секций в приборе

( $\beta_1=0,95$  при числе секций до 5,  $\beta_1=1$  при числе секций от 6 до 10)

$\beta_2$ = коэффициент, учитывающий остывание воды в приборе (по табл. 1.2.2)

Таблица 1.2.2

Значение коэффициента  $\beta_2$ , учитывающего остывание воды в трубопроводах при их скрытой прокладке.

Число этажей в здании	$\beta_2$ для рассчитываемого этажа					
	1	2	3	4	5	6
Двухтрубные системы с нижней разводкой.						
2	-	1,03	-	-	-	-
3	-	-	1,03	-	-	-
4	-	-	1,03	1,05	-	-
5	-	-	1,03	1,03	1,05	-
6	-	-	-	1,03	1,03	1,05
Двухтрубные системы с верхней разводкой.						
2	1,05	-	-	-	-	-
3	1,05	1,05	-	-	-	-
4	1,05	1,05	1,03	-	-	-
5	1,04	1,04	1,03	-	-	-

Примечание: при открытой прокладке трубопроводов коэффициент  $\beta_2$  принимается равным 1.

$\beta_3$  – коэффициент, учитывающий характер установки прибора (см. табл. 1.2.3)

Таблица 1.2.3

Способ установки прибора	$\beta_3$
1. Прибор установлен у стены без ниши и перекрыт доской	1,03
2. Прибор установлен в стенной ниши	1,07
3. Прибор установлен у стены без ниши и закрыт деревянным шкафом с щелями	1,19

Средняя температура теплоносителя в приборе водяного отопления определяется по формуле

$$t = \frac{t_2 - t_0}{2} \text{ } ^\circ\text{C}$$

где  $t_2$  – температура поступающей в прибор воды в  $^\circ\text{C}$   
 $t_0$  – температура выходящей из прибора воды в  $^\circ\text{C}$

Количество тепла, которое должны отдать нагревательные приборы, принимаем равным потерям тепла через ограждающие поверхности здания.

Для теплотехнической оценки зданий и ориентировочного определения теплопотерь используют объемную тепловую характеристику здания, которая представляет собой потери тепла одного кубического метра здания при разности температур, равной  $1^\circ\text{C}$ .

$$Q_{\text{пр}} = q_{\text{т.х.}} V' \Delta t \text{ Вт}$$

где  $q_{\text{т.х.}}$  – объемная тепловая характеристика здания,  $\text{Вт}/\text{м}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$

$V'$  – объем здания по наружному объему,  $\text{м}^3$

$\Delta t = t_{\text{в}} - t_{\text{н}}$  - расчетная разность температур наружного воздуха в данной местности и температуры воздуха в помещении.

Одноэтажные здания:

- с фонарями 0,3...0,5
- с техническим чердаком 0,02...0,05

Многоэтажные здания:

- первый этаж 0,1...0,25
- верхний этаж 0,2...0,35
- промежуточные этажи 0,08...0,2

#### Варианты заданий для расчета

№ вар	Тип здания	Наружный объем здания	Температура наружного воздуха в холодный период года	Температура воздуха в помещении	Разность температур воды в приборе и температурой воздуха в помещении
1	1 <sup>й</sup> этаж многоэтажного здания	2100	-27	24	85
2	5 <sup>й</sup> этаж пятиэтажного здания	2700	-22	23	80
3	3 <sup>й</sup> этаж пятиэтажного здания	3000	-35	22	60
4	Одноэтажное здание с техническим этажом	4700	-31	23	70

5	2 <sup>й</sup> этаж четырёхэтажног о здания	3250	-27	24	65
6	1 <sup>й</sup> этаж многоэтажного здания	3100	-32	23	55
7	4 <sup>й</sup> этаж четырёхэтажног о здания	4300	-29	23	75
8	Одноэтажное здание с фонарем верхнего света	5000	-36	21	80

#### Литература.

1. СНИП 2.04.05-91\* Строительные нормы и правила. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
2. Вентиляция, отопление и кондиционирование воздуха на текстильных предприятиях. Под редакцией д.т.н., проф. В.Н. Талиева. М. Легпромбытиздат. 1985.
3. А.Н. Сканиви. Отопление. М.-1979.
4. Н.С. Сорокин. Вентиляция, отопление и кондиционирование воздуха на текстильных предприятиях. М. Легкая индустрия 1974.
5. И.Ф. Ливчак, Н.В. Иванова. Основы промышленного строительства и санитарной техники. Часть II Основы санитарной техники. М. «Высшая школа». 1984.

## 5. Расчет дефлекторов

Дефлекторами называются насадки, устанавливаемые на концах труб или шахт и имеющие целью использовать скорость ветра для отсоса воздуха в вытяжных устройствах. Существует большое количество различных конструкций дефлекторов. Наиболее распространенным в настоящее время является дефлектор конструкции ЦАГИ. Они могут быть выполнены круглой и квадратной формы. Широкое применение получил дефлектор круглой формы, т.к. благодаря симметричной форме он создает постоянное всасывание воздуха из помещения, независимо от направления ветра в горизонтальной плоскости.

Дефлектор состоит из цилиндрического патрубка, заканчивающегося диффузором. Сверху диффузор перекрыт колпаком, предупреждающим попадание в вытяжную трубу атмосферных осадков (рис. 1).

Для подбора дефлекторов пользуются аэродинамическими характеристиками, составленными ЦАГИ. (рис. 2) При построении таких характеристик на оси абсцисс откладываются относительные скорости, т.е. отношение скорости в трубе дефлектора  $V_0$  к скорости ветра:

$$\bar{V} = V_0 / V_B \quad (1)$$

На оси ординат отложены относительные давления, т.е. отношение давления дефлектора  $P_d$  к динамическому давлению ветра  $P_{вет.}$ :

$$\bar{P} = P_d / P_{вет.} = P_d / (V_{вет.}^2 \rho / 2) \quad (2)$$

Часовое количество воздуха, удаляемое дефлектором, имеющем патрубок круглого сечения диаметром  $d$ , равно:

$$L = \frac{\pi d^4}{4} V_0 3600 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (3)$$

откуда

$$d = 0.0188 \sqrt[4]{4/V_0} \text{ м} \quad (4)$$

Для определения скорости в горловине дефлектора под действием ветрового и теплового давления В.И. Ханжонковым предложены следующие формулы для круглого дефлектора ЦАГИ:

$$V_0 = \sqrt{\frac{0.4V_{вет.} + 16P_x}{1.2 + \sum \varphi + 0.07 l/d}} \quad (5)$$

где:  $V_0$  – скорость в патрубке, м/с;

$V_{вет.}$  – скорость ветра, м/с;

$P_x$  – избыточное давление в здании, мм вод. ст., вызванное разностью плотностей наружного и внутреннего воздуха и действием на здание ветра;

$\sum \varphi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений во всасывающей трубе;

$l$  – длина вытяжной трубы, м;

$d$  – диаметр патрубка, м.

### Параметр расчета

Из производственного помещения через круглый дефлектор ЦАГИ необходимо удалять  $1500 \text{ м}^3/\text{ч}$  воздуха при температуре  $t_b = +60^\circ\text{C}$ , наружной температурой  $t_n = +10^\circ\text{C}$ . Средняя скорость ветра в данной местности  $V_{\text{вет}} = 5 \text{ м/с}$ . Высота вытяжной трубы 4 метра.

Коэффициент местного сопротивления в помещении оси действия ветра  $P_{\text{вет}} = -0,3$  мм вод. ст.

Порядок расчета.

Так как сопротивление вытяжной трубы, как правило, составляет небольшую величину, то и значение относительного давления также бывает невелико и выражается в пределах от 0 до 0,2. Примем

$\bar{P} = P_o / P_{\text{вет}} = 0,1$ . По кривой для круглого дефлектора (рис. 2)  $V = 0,5 V_{\text{вет}} = 2,5 \text{ м/с}$ .

По выражению (4) определяем ориентировочный диаметр патрубка дефлектора:

$$d = 0,0188 \sqrt{L/V_o} = 0,0188 \sqrt{1500/2,5} = 0,46 \text{ м}$$

Находим избыточное тепловое давление:

$$P = h(\gamma_n - \gamma_b) = 4(1,248 - 1,060) = 0,752 \text{ мм вод.ст.}$$

$\gamma_n = 1,248 \text{ кг/м}^3$  – плотность наружного воздуха при температуре  $+10^\circ\text{C}$

$\gamma_b = 1,06 \text{ кг/м}^3$  – плотность внутреннего воздуха при температуре  $+60^\circ\text{C}$

Тогда избыточное суммарное давление в помещении:

$$P_x = 0,752 + (-0,3) = 0,452 \text{ мм вод.ст.}$$

Зная  $P_x$ , находим уточненную скорость по выражению:

$$V_o = \sqrt{\frac{0,4V_{\text{вет}}^2 + 16P_x}{1,2 + \sum \varphi + 0,2 l/d}} = \sqrt{\frac{0,4 * 5^2 + 16 * 0,452}{1,2 + 0,5 + 0,02 * 4/0,46}} = 3,04 \text{ м/с}$$

По уточненной скорости  $V_d$  находим уточненный диаметр патрубка дефлектора:

$$d = 0,0188 \sqrt{\frac{1500}{3,04}} = 0,42 \text{ м}$$

## Варианты заданий

№ вар	Кол-во удаляемого воздуха, м <sup>3</sup> /ч	Темпер. воздуха в цехе, °С	Темпер. наружного воздуха, °С	Скорость ветра, м/с	Высота вытяжной трубы, м	Избыточное давление в помещении, мм вод ст.
1	2	3	4	5	6	7
1	1100	50	10	5	4,0	-0,4
2	1150	55	12	6	5,0	-0,5
3	1200	60	8	7	5,5	-0,6
4	1250	65	7	8	4,5	-0,55
5	1300	70	11	9	5,0	-0,45
6	1350	55	12	8	4,0	-0,5
7	1400	60	10	5	4,5	-0,6
8	1450	50	11	7	5,5	-0,65
9	1500	70	8	5	5,0	-0,5
10	1550	60	10	7	6,0	-0,55
11	1600	55	13	8	6,5	-0,45
12	1650	65	7	5	5,0	-0,4
13	1700	60	10	6	7,0	-0,55
14	1750	55	12	9	6,5	-0,6
15	1800	60	11	6	6,0	-0,55

## 6. Расчет естественной вентиляции (аэрация)

### 1. Общие сведения

Вентиляция – организованный воздухообмен за счет теплового и ветрового напоров (естественная), или механического перемещения воздуха вентиляторами (искусственная). По направлению воздушных потоков различают вентиляцию местную приточную, местную вытяжную и общеобменную приточно-вытяжную.

Выбор эффективной системы вентиляции определяется совокупностью технологических, санитарно-гигиенических, экономических требований. Основной целью при проектировании вентиляции является расчет расхода приточного воздуха, т.е. воздуха, подаваемого в цех ( $L_{пр}$  м<sup>3</sup>/ч). Расход удаляемого (вытяжного) воздуха  $L_{уд}$  находят из уравнения воздушного баланса помещения. Если в помещении необходимо исключить проникновение в него загрязненного воздуха, то  $L_{пр} > L_{уд}$ . Если необходимо устранить распространение вредных веществ в смежные помещения, тогда  $L_{уд} > L_{пр}$ . Различие в балансе не должно превышать  $\pm 10...15\%$ .

### 2. Литература

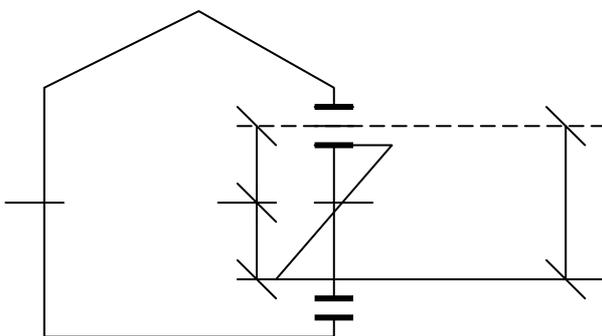
2.1. ССБТ ГОСТ 12.1.005-88 общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

2.2. Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

2.3. СНИП 2.04.05-91\* Отопление, вентиляция и кондиционирование

2.4. В. Ф. Дроздов. Отопление и вентиляция. Вентиляция. М.: Высшая школа, 1984.

### 3. Рассчитать аэрацию однопролетного цеха, определить воздухообмен и площади аэрационных проемов.



### Исходные данные

параметры наружного воздуха  $t_n$  °С,  $\rho_n$  кг/м<sup>3</sup>;

избытки явной теплоты  $Q_{изб}$ ;

высота цеха  $H$ , м;

температура воздуха в рабочей зоне  $t_{p.з.} = t_n + \Delta t_p$ ;

$m$  – опытный коэффициент выделения теплоты в рабочую зону.

#### Порядок расчета

Определяется расход воздуха для обеспечения нормируемой температуры в рабочей зоне:

$$G = \frac{mQ_{изб}}{C\Delta t_p} \quad \text{кг/с,}$$

где  $C$  – теплоемкость воздуха КДж/ кг  $^{\circ}\text{C}$ .

Температура уходящего воздуха:

$$t_{yx} = t_n + \frac{Q_{изб}}{CG} \quad ^{\circ}\text{C}$$

При условии, что нейтральная плоскость делит помещение на равные части, получаем  $h_1 = h_2$ .

Средняя температура по высоте цеха:

$$t_a = 0,5(t_{pз} + t_{yx}) \quad ^{\circ}\text{C}$$

Скорость воздуха в приточных проемах:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2h_1(\rho_n - \rho_a)g}{\rho_n}} \quad \text{м/с.}$$

Скорость воздуха в аэрационных фонарях:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2h_2(\rho_n - \rho_a)g}{\rho_a}} \quad \text{м/с.}$$

Площадь аэрационных проемов:

$$F_2 = \frac{G}{\mu v \rho_n} \quad \text{м}^2,$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода, определяемый из выражения

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\zeta}}$$

где  $\zeta$  – коэффициент местного сопротивления проемов аэрационного фонаря.

В зависимости от угла открытия створок фонаря  $\zeta \approx 5,0 \dots 8,0$

## Варианты заданий

№ варианта	Избытки явной теплоты, кВт	Температура наружного воздуха, °С	Высота цеха, м	Рабочая разность температур, °С	Коэффициент m	Коэффициент местного сопротивления вытяжного отверстия ζ
1	200	23	16	4	0,4	5,4
2	230	24	18	4	0,5	6,2
3	190	22	20	4	0,35	6,7
4	250	23	16	5	0,45	5,8
5	270	21	18	6	0,3	6,4

### Пример расчета

Параметры наружного воздуха  $t_n = 22 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\rho_n = 1,16 \text{ кг/м}^3$$

избытки явной теплоты  $Q_{изб} = 280 \text{ кВт}$ ;

высота цеха  $H = 20 \text{ м}$ ;

температура воздуха в рабочей зоне  $t_{p.z.} = t_n + \Delta t_p = 22 + 5 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Принимаем коэффициент выделения тепла в рабочую зону  $m = 0,4$ .

Количество воздуха для обеспечения заданной температуры в рабочей зоне:

$$G = \frac{m Q_{изб}}{C \Delta t_p} = \frac{0,4 \cdot 280}{1,0 \cdot 5} = 22,4 \text{ кг/с}$$

Температура уходящего воздуха:

$$t_{yx} = t_n + \frac{Q_{изб}}{CG} = 22 + \frac{280}{1,0 \cdot 22,4} = 34,5$$

Принимаем условие, что нейтральная плоскость делит помещение на равные части, т.е.  $h_1 = h_2 = 10 \text{ м}$ .

Средняя температура по высоте цеха:

$$t_a = 0,5(t_{p.z.} + t_{yx}) = 0,5(27 + 34,5) = 30,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho_a = 1,13 \text{ кг/м}^3$$

Скорость воздуха в приточных проемах:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2h_1(\rho_n - \rho_a)g}{\rho_n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10(1,16 - 1,13) \cdot 9,81}{1,13}} = 2,26 \text{ м/с}$$

Скорость воздуха в аэрационных фонарях:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2h_2(\rho_n - \rho_a)g}{\rho_a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10(1,16 - 1,13) \cdot 9,81}{1,13}} = 2,29 \text{ м/с}$$

Площадь аэрационного проема находится из уравнения

$$F_2 = \frac{G}{\mu v \rho_n} = \frac{22,4}{0,33 \cdot 2,29 \cdot 1,16} = 25,5 \text{ м}^2$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода, определяемый из выражения

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\zeta}}$$

где  $\zeta$  – коэффициент местного сопротивления проемов аэрационного фонаря.

$$\zeta = 9,2; \mu = 0,33.$$