

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

РАСЧЕТ

воздухообмена общественных и промышленных зданий

Методические указания для выполнения курсовых проектов
по дисциплине «Вентиляция» специальности I 70 04 02
«Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»

Авторы Пилюшенко В.П.
Борухова Л.В.

Минск 2003

УДК 697.958

Методические указания предназначены для студентов специальности I 70 04 02 — «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» и могут быть использованы при выполнении разделов курсовых проектов, связанных с определением количества воздуха, подаваемого в помещения в различные периоды года.

В работе приведены конкретные примеры расчета воздухообмена помещений различного назначения с применением современного учебно-справочного материала.

Составители В.П.Пилушенко
Л.В.Борухова

Рецензенты: Б.А.Кленовский
Е.О.Мищенко

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
1. ПОНЯТИЕ О ВОЗДУХООБМЕНЕ, РАСЧЕТ И ВЫБОР	4
2. РАСЧЕТ ВОЗДУХООБМЕНА ПОМЕЩЕНИЙ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ.....	9
3. ПРИМЕР РАСЧЕТА ВОЗДУХООБМЕНА ПОМЕЩЕНИЯ (ЗАЛА ЗАСЕДАНИЙ) ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ	11
4. РАСЧЕТ ВОЗДУХООБМЕНА ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ.....	16
5. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ВОЗДУХООБМЕНА ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ	24
5.1. Участок технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей.....	24
5.2. Цех обработки древесины	33
5.3. Кузнечно-прессовый цех.....	35
5.4. Ремонтно-механический цех	37
5.5. Сварочное отделение	39
5.6. Термический цех	42
ЛИТЕРАТУРА	46

1. ПОНЯТИЕ О ВОЗДУХООБМЕНЕ, РАСЧЕТ И ВЫБОР

Воздухообменом называется частичная или полная замена воздуха, содержащего вредности, чистым атмосферным воздухом.

Расчет воздухообмена включает выбор схемы организации воздухообмена, способа подачи и удаления воздуха и определении расхода приточного воздуха, необходимого для поглощения избыточной теплоты, влаги, вредных веществ.

Воздухообмены называют по виду вредностей, для разбавления которых они предназначены: воздухообмен по избыткам явной теплоты, по влаговыведениям, по борьбе с вредными газами.

Расчетный воздухообмен должен обеспечивать нормируемые параметры воздуха в рабочей зоне помещения в теплый, холодный периоды и в переходных условиях.

В основе расчета воздухообмена по количеству вредностей лежат законы сохранения массы воздуха, тепловой энергии и вредных веществ для отдельного помещения.

Рис.1. Схема организации воздухообмена в помещении

Законы сохранения массы воздуха, тепловой энергии
и массы вредных веществ

$$G = G_{м.о} + G_{yx} ; \quad (1)$$

$$\sum Q_{изб} + Q_{np} = Q_{м.о} + Q_{yx} ; \quad (2)$$

$$m_i + m_{np} = m_{м.о} + m_{yx} , \quad (3)$$

где $G, G_{м.о}, G_{yx}$ — расход приточного воздуха, удаляемого местными отсосами и общеобменной вентиляцией, кг/ч;
 $\sum Q_{изб}$ — избытки явной теплоты, Вт.

Избытки явной теплоты — остаточные количества явной теплоты (за вычетом теплопотерь), поступающие в помещение при расчетных параметрах наружного и внутреннего воздуха.

$Q_{np}, Q_{м.о}, Q_{yx}$ — тепловой поток, поступающий в помещение с приточным воздухом, удаляемый местными отсосами и общеобменной вентиляцией, Вт.

m_i — масса каждого из вредных веществ, выделяющихся в помещении, мг/ч.

Совместное решение уравнений (1)-(3) дает выражение для определения величины воздухообмена L для ассимиляции избыточной теплоты и разбавления вредных веществ до нормативных значений.

Расчет расхода приточного воздуха производится в соответствии с п.4.42-4.60 и обязательным приложением 17 СНиП 2.04.05-91 /1/.

РАСЧЕТ РАСХОДА И ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА

1. Расход приточного воздуха L , м³/ч, для системы вентиляции и кондиционирования следует определять расчетом и принимать больший из расходов, требуемых для обеспечения:

- а) санитарно-гигиенических норм в соответствии с п. 2;
- б) норм взрывопожарной безопасности в соответствии с п. 3.

2. Расход воздуха следует определять отдельно для теплого и холодного периодов года и переходных условий, принимая большую из величин, полученных по формулам (4) — (10), (при плотности приточного и удаляемого воздуха, равной 1,2 кг/м³):

- а) по избыткам явной теплоты:

$$L = L_{м.о} + \frac{3,6 \sum Q_{изб} - c L_{м.о} (t_{м.о} - t_{np})}{c(t_{yx} - t_{np})} \quad (4)$$

Тепловой поток, поступающий в помещение от прямой и рассеянной солнечной радиации, следует учитывать при проектировании:

вентиляции, в том числе с испарительным охлаждением воздуха, для теплого периода года;

кондиционирования — для теплого и холодного периодов года и для переходных условий;

- б) по массе выделяющихся вредных или взрывоопасных веществ:

$$L = L_{м.о} + \frac{m_i - L_{м.о} (q_{м.о} - q_{np})}{q_{yx} - q_{np}} \quad (5)$$

При одновременном выделении в помещении нескольких вредных веществ, обладающих эффектом суммации действия, воздухообмен следует определять суммируя расходы воздуха, рассчитанные по каждому из этих веществ:

в) по избыткам влаги (водяного пара):

$$L = L_{м.о} + \frac{M - 1,2L_{м.о} (d_{м.о} - d_{нр})}{1,2(d_{yx} - d_{нр})} \quad (6)$$

Для помещений с избытком влаги следует проверять достаточность воздухообмена для предупреждения образования конденсата на внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций при расчетных параметрах B наружного воздуха в холодный период года;

г) по избыткам полной теплоты:

$$L = L_{м.о} + \frac{3,6 \sum Q_{полн} - 1,2L_{м.о} (I_{м.о} - I_{нр})}{1,2(I_{yx} - I_{нр})} ; \quad (7)$$

д) по нормируемой кратности воздухообмена:

$$L = V_n n ; \quad (8)$$

е) по нормируемому удельному расходу приточного воздуха:

$$L = Fk ; \quad (9)$$

$$L = Nm , \quad (10)$$

где $L_{м.о}$ — расход воздуха, удаляемого из обслуживаемой или рабочей зоны помещения системами местных отсосов, и на технологические нужды, $\text{м}^3/\text{ч}$.

$\sum Q_{изб.}$, $\sum Q_{полн}$ — избыточный явный и полный тепловой потоки в помещении, Вт;

c — теплоемкость воздуха, равная $1,2 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$;

$t_{м.о}$ — температура воздуха, удаляемого системами местных отсосов и на технологические нужды, °C ;

t_{yx} — температура воздуха, удаляемого из помещения за пределами обслуживаемой или рабочей зоны, °C ;

$t_{нр}$ — температура воздуха, подаваемого в помещение, °C ;

M — избытки влаги в помещении, г/ч;

$d_{м.о}$ — влагосодержание воздуха, удаляемого системами местных отсосов и на технологические нужды, г/кг;

d_{yx} — влагосодержание воздуха, удаляемого из помещения за пределами обслуживаемой или рабочей зоны, г/кг;

$d_{нр}$ — влагосодержание воздуха, подаваемого в помещение, г/кг;

$I_{м.о}$ — удельная энтальпия воздуха, удаляемого системами местных отсосов и на технологические нужды, $\text{кДж}/\text{кг}$;

I_{yx} — удельная энтальпия воздуха, удаляемого из помещения за пределами обслуживаемой или рабочей зоны, $\text{кДж}/\text{кг}$;

$I_{нр}$ — удельная энтальпия воздуха, подаваемого в помещение, $\text{кДж}/\text{кг}$;

m_i — расход каждого из вредных или взрывоопасных веществ, поступающих в воздух помещения, мг/ч;

$q_{м.о.}$, q_{yx} — концентрация вредного или взрывоопасного вещества в воздухе, удаляемом соответственно из обслуживаемой или рабочей зоны помещения и за ее пределами, мг/м³;

q_{np} — концентрация вредного или взрывоопасного вещества в воздухе, подаваемом в помещение, мг/м³;

V_n — объем помещения, м³; для помещений высотой 6 м и более следует принимать $V_n = 6F$;

F — площадь помещения, м²;

N — число людей (посетителей), рабочих мест, единиц оборудования;

n — нормируемая кратность воздухообмена, ч⁻¹;

k — нормируемый расход приточного воздуха на 1 м² пола помещения, м³/(ч·м²);

m — нормируемый удельный расход приточного воздуха на 1 чел., м³/ч, на 1 рабочее место, на 1 посетителя или единицу оборудования.

Параметры воздуха $t_{м.о.}$, $d_{м.о.}$, $I_{м.о.}$ следует принимать равными расчетным параметрам в обслуживаемой или рабочей зоне помещения $t_{р.з.}$, $d_{р.з.}$, $I_{р.з.}$, а $q_{м.о.}$ — равной ПДК в рабочей зоне помещения.

3. Расход воздуха для обеспечения норм взрывопожарной безопасности следует определять по формуле (5).

При этом в формуле (5) $q_{м.о.}$ и q_{yx} следует заменить на $0,1 q_g$, мг/м³ (где q_g — нижний концентрационный предел распространения пламени по газо-, паро- и пылевоздушной смеси).

4. Расход воздуха $L_{возд.от}$, м³/ч, для воздушного отопления, не совмещенного с вентиляцией, следует определять по формуле

$$L_{возд.от} = L_{м.о.} + \frac{3,6Q_{м.н}}{c(t_{np} - t_{р.з.})} \quad (11)$$

где $Q_{м.н}$ — тепловой поток для отопления помещения, Вт;

t_{np} — температура подогретого воздуха, °С, подаваемого в помещение, определяется расчетом.

Наиболее сложным при расчетах воздухообмена является установление связи между температурой приточного t_{np} и температурой удаляемого из помещения воздуха t_{yx} .

Правильный выбор $\Delta t = t_{yx} - t_{np}$ имеет большое значение для создания необходимых условий в помещении и для выбора вентиляционного оборудования. При увеличении значений Δt уменьшается расход приточного воздуха, и следовательно, снижаются затраты на устройство систем и расходы тепловой и электрической энергии.

Расход приточного воздуха, подаваемого в помещения при расчете по формулам (4)-(7) определяется исходя из того, что параметры воздуха, удаляемого из помещения, равны

температура, °С

$$t_{yx} = t_{np} + K_t (t_{p.з} - t_{np}), \quad (12)$$

влажносодержание, г/кг

$$d_{yx} = d_{np} + K_d (d_{p.з} - d_{np}), \quad (13)$$

концентрация вредных веществ, мг/м³

$$q_{yx} = q_{np} + K_q (ПДК - q_{np}), \quad (14)$$

Коэффициенты воздухообмена K_t , K_d , K_q следует принимать по нормативным документам для конкретных производств, по экспериментальным данным натурных или лабораторных исследований, находить расчетным путем.

При выборе способа подачи воздуха следует отдавать предпочтение системам, имеющим наибольшую величину коэффициента воздухообмена.

Температуру воздуха °С, удаляемого из верхней зоны помещения, с некоторыми допущениями можно определять по выражениям

$$t_{yx} = t_{np} + \frac{t_{p.з} - t_{np}}{m}, \quad (15)$$

$$t_{yx} = t_{p.з} + \beta(H - 2), \quad (16)$$

где m — температурный симплекс, учитывающий долю избыточной теплоты, которая воздействует на температуру воздуха в рабочей зоне;

β — температурный градиент, учитывающий повышение температуры воздуха по высоте помещения на каждый метр выше рабочей зоны;

H — высота помещения, м.

2. РАСЧЕТ ВОЗДУХООБМЕНА ПОМЕЩЕНИЙ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Основными вредностями, выделяющимися в помещениях общественных зданий, являются избыточная теплота, влага и углекислый газ. Как правило, местных отсосов, а значит и удалений воздуха из рабочей зоны в этих помещениях нет. Уравнения (4), (5), (6) для определения расхода приточного воздуха, м³/ч в помещениях общественных зданий упрощаются

$$L = \frac{3,6 \sum Q_{изб}}{c\rho(t_{yx} - t_{np})}, \quad (17)$$

$$L = \frac{m_i}{q_{yx} - q_{np}}, \quad (18)$$

$$L = \frac{M}{1,2(d_{yx} - d_{np})}, \quad (19)$$

Для общественных зданий при высоте помещений менее 4 м можно принимать $t_{yx} = t_{p.з}, d_{yx} = d_{p.з}, q_{yx} = q_{np}$

Температуру приточного воздуха в теплый период принимают равной расчетной для проектирования вентиляции t_H^A /1/, /3/.

Для переходных условий расчетная температура наружного воздуха $t_n = 8^\circ\text{C}$ /1/. Считается, что в этот период системы вентиляции не потребляют ни тепла ни холода, а температура приточного воздуха с учетом нагрева его в вентиляторе и воздуховодах $t_{np} = t_n + 0,001 \cdot P$, где P — полное давление развиваемое вентилятором, Па.

Поскольку в установках приточной вентиляции применяются в основном вентиляторы низкого давления ($P \leq 1000$ Па), то, с достаточным для инженерных расчетов приближением, можно считать в переходный период

$$t_{np} = 8 + 0,001 \cdot 1000 = 9^\circ\text{C}.$$

Температура t_{np} проверяется расчетом воздухораспределения /7/, на допустимое отклонение от нормируемой температуры в рабочей зоне в соответствии с п.2.10 и приложением 7 /1/.

Опыт проектирования вентиляции общественных зданий показывает, что подавать воздух с $t_{np} = 9^\circ\text{C}$ неприемлемо из-за невыполнения условий $\Delta t_x \leq \Delta t_{норм.}$ при температуре в помещении 18°C и более.

Ориентировочно (при выполнении курсового проекта) для общественных зданий t_{np} можно принимать $11—13^\circ\text{C}$. В холодный период t_{np} для общественных зданий принимается как и для переходных условий.

Если в помещение поступает теплота и влага одновременно, расчет количества воздуха L , м³/ч, подаваемого в помещение, производится с помощью $I-d$ диаграммы. Чаще это делается при проектировании кондиционирования воздуха.

При одновременном выделении в воздух помещения нескольких газов и паров, не обладающих однонаправленным действием (теплота, влага, углекислый газ и др.) количество воздуха при расчете общеобменной вентиляции принимается по той вредности, которая требует наибольшего объема воздуха.

Если в помещение поступают вредные газы однонаправленного действия (например, пары растворителей — ацетона, спирта, бензина и т.д.) расчет общеобменной вентиляции надлежит вести путем суммирования объемов воздуха, необходимых для разбавления каждого вещества в отдельности.

Выбор расчетного воздухообмена

После расчета воздухообмена необходимо произвести анализ полученной производительности системы общеобменной вентиляции в разные периоды года.

Для систем вентиляции с механическим побуждением выбор расчетного воздухообмена производят, рассматривая три периода года. В практике проектирования вентиляции встречаются разнообразные варианты принятого воздухообмена. Рассмотрим некоторые случаи.

1. Открывание окон и проветривание помещения не допускается или окна отсутствуют (чистые помещения, здание расположено в загрязненном районе). В этом случае принимается больший из полученных расчетом воздухообменов для холодного, теплого периодов года и переходных условий.
2. В помещение возможно проветривание (аэрация) в теплый период года. Это большинство помещений промышленных и общественных зданий. Производительность приточной вентиляции в этом случае принимается по большему воздухообмену в переходный или холодный периоды. Производительность вытяжной системы принимается равной большему из требуемых воздухообменов для трех периодов года. Обычно приточная система рассчитывается по переходному периоду, а вытяжная — по летнему. Летом, при открытых нижних фрамугах окон, эта вытяжная система обеспечит необходимый приток наружного воздуха. В переходный и холодный периоды производительность вытяжной системы следует уменьшать в соответствии с расчетным воздухообменом /10/, /11/.

В холодный период года производительность приточной системы вентиляции обычно принимают такой же, как и в переходный.

3. ПРИМЕР РАСЧЕТА ВОЗДУХООБМЕНА ПОМЕЩЕНИЯ (ЗАЛА ЗАСЕДАНИЙ) ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ

Определить воздухообмен для разбавления явной избыточной теплоты, влаги и углекислого газа в зале заседаний на 80 мест, находящемся в административно-бытовом корпусе. Здание находится в г.Минске. Теплопоступление за счет солнечной радиации $Q_p = 2000$ Вт. Зал заседаний имеет 3 окна, высота помещения 3,6 м, площадь 110 м^2 . Раздача воздуха осуществляется настилающимися на потолок компактными струями.

1. Параметры наружного и внутреннего воздуха.

В соответствии с /1/, /3/ температуру и энтальпию наружного воздуха для проектирования вентиляции принимаем по параметрам «А» для теплого периода года и «Б» для холодного периода, что для г.Минска составит:

$$\begin{array}{ll} \text{летом } t_H^A = 21,2 \text{ }^\circ\text{C}; & I_H = 49,8 \text{ кДж/кг}; \\ \text{зимой } t_H^B = -24 \text{ }^\circ\text{C}; & I_H = -24,3 \text{ кДж/кг}. \end{array}$$

В переходный период $t_H = 8 \text{ }^\circ\text{C}$, $I_H = 22,5 \text{ кДж/кг}$, /1/.

По приложению 1 СНиП 2.04.05.91 температуру воздуха в зале заседаний в теплый период года принимаем на $3 \text{ }^\circ\text{C}$ выше, чем t_H^A , т.е.

$$t_{p.z.} = 21,2 + 3 = 24,2 \text{ }^\circ\text{C}, \text{ относительная влажность внутреннего воздуха } \varphi_{\text{в}} \leq 65\%.$$

В холодный и переходный периоды $t_{\text{г}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi_{\text{г}} = 60 \%$.

2. Определение поступлений явной теплоты, влаги и углекислого газа в помещение зала заседаний.

Теплый период года.

В этот период теплота поступает от людей и солнечной радиации. Теплопоступления от одного человека в состоянии покоя при $t_{\text{г}} = 24,2 \text{ }^\circ\text{C}$, $q_{\text{яв.}} = 66$ Вт /6/. Тогда от 80 человек

$$Q_{\text{л.}} = 66 \cdot 80 = 5280 \text{ Вт.}$$

Суммарные теплопоступления в теплый период года

$$\sum Q_{\text{яв}}^{\text{тепл}} = Q_{\text{л.}} + Q_p = 5280 + 2000 = 7280 \text{ Вт.}$$

Влаговыведение одним человеком в состоянии покоя при $t_{\text{г}} = 24,2 \text{ }^\circ\text{C}$ $m = 48$ г/ч /6/, всего от 80 человек $M = 48 \cdot 80 = 3840$ г/ч.

Выделение углекислого газа (CO_2) человеком в состоянии покоя $q = 40$ г/ч /13/, тогда от 80 человек

$$m_{\text{CO}_2} = 40 \cdot 80 = 3200 \text{ г/ч.}$$

Холодный и переходный периоды.

В эти периоды теплота в помещение поступает от людей и освещения. При $t_e = 18^\circ\text{C}$ и в состоянии покоя от одного человека поступает явной теплоты $q_{яв} = 102$ Вт, тогда от 80 человек

$$Q_{л.} = 102 \cdot 80 = 8160 \text{ Вт.}$$

Теплопоступления от искусственного освещения определяем по формулам, приведенным в /11/, /12/

$$Q_{осв.} = E \cdot F \cdot q_{осв.} \cdot \eta_{осв.},$$

где E — освещенность, $E = 200$ лк /5/,

F — площадь помещения, $F = 110 \text{ м}^2$.

Для люминесцентных источников прямого света $q_{осв.} = 0,074 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ лк}}$ /8/,

для подвешенных светильников $\eta_{осв.} = 1$ /9/.

$$Q_{осв.} = 200 \cdot 110 \cdot 0,074 \cdot 1 = 1630 \text{ Вт.}$$

Суммарные теплопоступления в холодный и переходный периоды

$$\Sigma Q_{изб.} = 8160 + 1630 = 9790 \text{ Вт.}$$

Влаговыведение одним человеком в состоянии покоя и при $t_e = 18^\circ\text{C}$, $m = 36$ г/ч /6/, от 80 человек

$$M_{вл} = 36 \cdot 80 = 2880 \text{ г/ч.}$$

Поступление углекислого газа такое же, как и в теплый период года

$$m_{CO_2} = 3200 \text{ г/ч.}$$

3. Расчет воздухообмена для трех периодов года.

В соответствии с формулой (17) воздухообмен L , $\text{м}^3/\text{ч}$, для разбавления избыточной теплоты в теплый период

$$L = \frac{7280 \cdot 3,6}{1 \cdot 1,2 \cdot (24,2 - 21,2)} = 7280 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

То же в холодный и переходный периоды, принимая из опыта проектирования аналогичных помещений $t_{np} = 13^\circ\text{C}$

$$L = \frac{9790 \cdot 3,6}{1 \cdot 1,2 \cdot (18 - 13)} = 5870 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Воздухообмен для разбавления избыточной влаги L , м³/ч, (формула 19)

$$L = \frac{M_{\text{вл}}}{\rho \cdot (d_{\text{р.з.}} - d_{\text{нр.}})}$$

$d_{\text{р.з.}}$ и $d_{\text{нр.}}$ г/кг с.в. определяем по $I-d$ диаграмме.

Для теплого периода

при $t_{\text{в}} = 24,2$ °С и $\varphi_{\text{в}} = 65$ % $d_{\text{р.з.}} = 12,8$ г/кг с.в.;

при $t_{\text{н}}^{\text{А}} = 21,2$ °С; $I_{\text{н}} = 49,8$ кДж/кг, $d_{\text{нр.}} = 10,1$ г/кг с.в.

Для переходного периода

при $t_{\text{в}} = 18$ °С и $\varphi_{\text{в}} = 60$ % $d_{\text{р.з.}} = 8$ г/кг с.в.;

при $t_{\text{н}} = 8$ °С; $I_{\text{н}} = 22,5$ кДж/кг, $d_{\text{нр.}} = 4,5$ г/кг с.в.

Для холодного периода при $t_{\text{в}} = 18$ °С и $\varphi_{\text{в}} = 60$ % $d_{\text{р.з.}} = 8$ г/кг с.в.;

при $t_{\text{н}}^{\text{Б}} = -24$ °С; $I_{\text{н}} = -24,3$ кДж/кг, $d_{\text{нр.}} = 0,3$ г/кг с.в.

Находим воздухообмен для разбавления избыточной влаги:

теплый период
$$L = \frac{3840}{1,2 \cdot (12,8 - 10,1)} = 1190 \text{ м}^3 / \text{ч},$$

переходные условия
$$L = \frac{2880}{1,2 \cdot (8 - 4,5)} = 690 \text{ м}^3 / \text{ч},$$

холодный период
$$L = \frac{2880}{1,2 \cdot (8 - 0,8)} = 330 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Воздухообмен L_{CO_2} , м³/ч, для разбавления углекислого газа (18).

$$L = \frac{m_{\text{CO}_2}}{q_{\text{yx}} - q_{\text{нр.}}}$$

Для помещений с кратковременным пребыванием людей

$q_{\text{yx}} = q_{\text{р.з.}} = 3,7$ г/м³; для крупных городов $q_{\text{нр.}} = 0,91$ г/м³ /11/.

Для любого периода года воздухообмен для разбавления углекислого газа

$$L = \frac{3200}{(3,7 - 0,91)} = 1150 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Результаты расчета воздухообменов сводим в таблицу.

Воздухообмен м ³ /ч	Периоды года		
	теплый	переходный	холодный
Теплота	7280	5870	5870
Влага	1190	690	330
СО ₂	1150	1150	1150

Анализ данной таблицы показывает, что наибольший воздухообмен получается для разбавления избыточной теплоты в теплый период года — 7280 м³/ч.

При наличии в помещении окон производительность общеобменной вентиляции по притоку и вытяжке допустимо принять большей из полученных для переходного или холодного периодов /10/. В нашем случае за расчетный воздухообмен принимаем $L = 5870 \text{ м}^3/\text{ч}$ для разбавления явной избыточной теплоты в переходный и холодный периоды.

Иногда при выборе расчетного воздухообмена может встретиться вариант, когда большее количество воздуха необходимо для разбавления СО₂. Например, пусть для разбавления СО₂ требуется $L = 6500 \text{ м}^3/\text{ч}$. Из формулы (17) при известном $\sum Q_{изб}^{яв} = 9790 \text{ Вт}$, (переходный и холодный периоды) $t_{yx} = t_{p.з.} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$, необходимо пересчитать температуру приточного воздуха

$$t_{np.} = t_{p.з.} - \frac{\sum Q_{изб} \cdot 3,6}{c \cdot \rho \cdot L_{CO_2}} = 18 - \frac{9790 \cdot 3,6}{1 \cdot 1,2 \cdot 6500} = 13,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Как правило, одна приточная вентиляционная установка обслуживает помещение в переходный и зимний или в летний, переходный и зимний периоды, поэтому, выбрав расчетный воздухообмен, следует уточнить температуру приточного воздуха в другие периоды (например, холодный). Это необходимо для определения теплопроизводительности калориферной установки.

Воздухообмен по нормативной кратности, определение общего воздухообмена для проектируемого общественного здания

Для большинства помещений общественных зданий воздухообмен определяют по его нормативной кратности:

$$L = nV,$$

где L — расчетный воздухообмен помещений, м³/ч;
 n — нормативная кратность воздухообмена, 1/ч;
 V — объем помещения, м³.

Значение n по притоку и вытяжке зависит от назначения помещения и приводится в соответствующих главах /4 и др./

Для каждого этажа при коридорной системе или для группы помещений на этаже, выходящих в общий коридор необходимо определить суммарные воздухообмены по притоку и вытяжке, Разницу между суммарной вытяжкой и притоком (дисбаланс) следует подавать в общий коридор или удалять из коридора при избыточном притоке. Результаты расчета воздухообмена заносятся в таблицу 1.

Таблица 1

№ помещения	Название помещения	Объем, м ³	Кратность воздухообмена, 1/ч		Расчетный воздухообмен, м ³ /ч		Размеры решеток, мм		Размеры каналов, мм	
			приток	вытяжка	приток	вытяжка	приток	вытяжка	приток	вытяжка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		Итого 1-ый этаж			1800	2100				
Дисбаланс 2100-1800 = 300 м ³ /ч подается в коридор 1 этажа										
			Итого 2-ой этаж		1200	1400				
Дисбаланс 1400-1200 = 200 м ³ /ч подается в коридор 2 этажа										
По двум этажам					3000	3500				

В данном примере производительность приточной системы принимается 3500 м³/ч, из них 3000 м³/ч подается в помещения 1 и 2 этажа в соответствии с графикой 6, оставшиеся 500 м³/ч подаются в коридоры 1 и 2 этажа в соответствии с дисбалансом.

4. РАСЧЕТ ВОЗДУХООБМЕНА ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

Расчет воздухообмена включает выбор схемы организации воздухообмена, способа подачи и удаления воздуха и определение расхода приточного воздуха, подаваемого в помещение.

Воздухообмен должен быть организован таким образом, чтобы обеспечить нормируемые параметры воздуха (температуру, скорость, относительную влажность) и требования по предельному содержанию вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений.

При выборе схемы организации воздухообмена следует руководствоваться требованиями СНиП /1, 2/, а также действующими ведомственными нормами и рекомендациями.

Подача воздуха в производственные помещения осуществляется в соответствии с требованиями п.4.54-п.4.57 СНиП /1/ и рекомендуется в рабочую зону.

Удаление воздуха из помещений согласно п.4.58 СНиП /1/ следует предусматривать из наиболее загрязненных зон или там, где воздух имеет наибольшую температуру и энтальпию.

При выделении пылей и аэрозолей удаление воздуха предусматривается из нижней зоны. Максимальный эффект достигается при минимальных удалениях воздуха из нижней зоны, т.е. через местные отсосы и на технологические нужды, а весь остальной воздух — из верхней зоны.

В производственных помещениях с выделениями вредных или горючих газов и паров необходимо удалять из верхней зоны не менее однократного воздухообмена в час, а помещениях высотой более 6 м — не менее 6 м³/ч на 1 м² площади помещения.

Расход воздуха для вентиляции помещений промышленных зданий определяется после расчета теплотерь и теплопоступлений, составления теплового баланса и выбора системы отопления, определения количества влаги, вредных и взрывоопасных газов, поступающих в рабочую зону, нахождения расхода воздуха на местные отсосы от технологического оборудования, выбора организации воздухообмена.

Расход приточного воздуха определяют для теплого, холодного периодов и переходных условий для ассимиляции избыточной теплоты, влаги, вредных газов и паров, принимая большую из величин, полученных по формулам (4)...(10).

Расход приточного воздуха L , м³/ч, для ассимиляции избыточной явной теплоты определяют по формуле (4) с учетом того, что $t_{м.о} = t_{р.з}$

$$L = L_{м.о} + \frac{3,6 \cdot \sum Q_{изб} - c \cdot L_{м.о} (t_{р.з} - t_{нр.})}{c \cdot (t_{yx} - t_{нр.})}$$

Температура уходящего воздуха t_{yx} , °С определяется из выражений (12), (15), (16)

$$t_{yx} = t_{нр} + K_t (t_{р.з} - t_{нр})$$

$$t_{yx} = t_{np} + \frac{t_{p.з} - t_{np}}{m},$$

$$t_{yx} = t_{np} + \beta(H - 2).$$

Значения коэффициента воздухообмена K_t ; симплекса m , температурного градиента β на основании данных /2, 12, 13/ приведены в таблицах 2-6.

При расчете воздухообмена промышленных зданий предпочтительнее использовать коэффициенты K_t и K_q .

Таблица 2

Значения коэффициента воздухообмена K_t для расчета температуры и K_q для расчета концентраций вредных и взрывоопасных газов и паров в верхней зоне помещений со значительными избытками теплоты при подаче воздуха непосредственно в рабочую зону или наклоненными струями в направлении рабочей зоны

Помещения с избытками теплоты (явной) более 23 Вт/м ³	K_t	K_q
Кузнечно-прессовые, печные пролеты сталеплавильных, рельсопрокатных цехов, склады горячего металла, цехи эмалирования	2,0	2,7
Термические	1,9	2,6
Сушильные	1,8	2,5
Литейные	1,7	2,3
Доменные и кузнечные	1,6	2,2
Прокатные	1,5	2,1
Компрессорные	1,4	1,9
Цехи вулканизации и производства изделий из пластмасс	1,3	1,8

Таблица 3

Значение коэффициентов воздухообмена K_t и K_q для помещений с незначительными избытками явной теплоты

Подача воздуха	Значение коэффициентов K_t и K_q при кратности воздухообмена, 1/ч					
	3-5		5-10		10 и более	
	K_t	K_q	K_t	K_q	K_t	K_q
Непосредственно в рабочую зону	1,3	1,85	1,2	1,4	1,05	1,15
Наклоненными струями в направлении рабочей зоны:						
с высоты не более 4 м	1,15	1,4	1,1	1,2	1	1,1
с высоты более 4 м	1	1,2	1	1,1	1	1,05
сосредоточенно, выше рабочей зоны	0,95	1,1	1	0,95	1	1
сосредоточенно, выше рабочей зоны с использованием направляющих сопел	1	1	1	1	1	1
сверху вниз:						
настилающимися струями	0,95	1,1	1	1,05	1	1
коническими струями	1,05	1,1	1	1,05	1	1
плоскими струями	1,1	1,2	1,05	1,1	1	1

Таблица 4

Расчетные значения коэффициента K_t

Способ подачи воздуха	Место удаления воздуха общеобменной вентиляции	Доля тепловыделений в рабочую зону, $q_{p.z.}$	K_t
Непосредственно в рабочую зону	Из верхней зоны	1	1
		0,7	1,4
		0,5	2
Наклонными струями в направлении рабочей зоны с высоты 4 м от пола	То же	1	1
		0,7	1,2
		0,5	1,3
То же, более 4 м	— " —	1	1
		0,7	1
		0,5	1,2
Выше рабочей зоны:			
настилающимися и ненастилающимися струями	Вне зоны непосредственного воздействия струи	1	1,1
		0,7	1,15
		0,5	1,2
плоскими или компактными и веерными струями	В зоне непосредственного воздействия струи	1	0,9
		0,5	0,85
настилающимися струями	То же, при $h/F_{стр}$:	10	0,8
		20	0,9
		30	0,95
ненастилающимися струями	Из верхней зоны	1	0,85
		0,7	0,95
		0,5	1

Значения коэффициента m /12/

Таблица 5

Помещения	Коэффициент
1	2
Печные пролеты	0,5
Разливочные пролеты	0,4
Конвертерные пролеты	0,4
Плавильные цехи электрокорунда и карбада	
Отделение плавки	0,3
Отделение остывания и разборки печей	0,5
Отделение копрового дробления и разборки	0,5
Электротермическое отделение	0,4
Отделение разборки и отделение охлаждения	0,6
Химические заводы	
Насосные и компрессорные	0,8
Сушильные отделения	0,5
Печные отделения	0,5...0,6
Аппаратные отделения	0,6
Фильтровальные отделения	0,5
Сернокислые цехи	0,4
Реакторные отделения	0,35
Стеклоплавильные цехи	0,6
Цехи травления и металлопокрытий, машинные отделения	0,5
Электромеханические заводы	
Обмоточно-укладочные цехи	0,6
Цехи пропитки	0,6
Испытательная станция	0,6
Прокатные цехи	
Машинные залы станов, пролеты замедленного охлаждения	0,6
Помещение нагревательных печей	0,6
Помещение прокатных станов	0,5...0,6
Модельные и деревообрабатывающие цехи	
Ремонтно-строительные цехи	
Станочно-заготовительные и сборочные отделения	0,6

1	2
Заточные отделения	0,5
Остывочные помещения у сушильных камер	0,5
Алюминиевые заводы	
Электролизные цехи	0,7...0,8
Цехи кальцинации	0,5...0,6
Металлообрабатывающие заводы	
Чугунолитейные цехи с рассеянным режимом	0,5
смесеприготовительное отделение	0,6
отделение формовки и сушки стержней	0,5
плавильно-заливочное отделение	0,5
отделение выбивки форм и стержней	0,5
обрубно-очистные отделения	0,6
отделение отжига литья	0,7
комплексно-механизированные участки литейного про-	0,5
Цехи литья по выплавляемым моделям	
отделения приготовления моделей	0,6
отделение выплавки моделей, прокалки форм, заливки	0,5
отделение приготовления наполнительных смесей, фор-	0,5
отделение выварки отливок и щелочи	0,5
генераторные отделения	0,6
Конвейерные литейные	0,5
Смешанные литейные	0,4
Выбивные отделения	0,4
Термические цехи	0,45
Кузнечные и кузнечно-прессовые цехи	0,4
Газогенераторные	0,6
Стале- и меднолитейные	0,5
Литейные алюминия	0,4
Цехи:	
механические, холодной обработки металлов, механо- сборочные	0,7
Токарно-шлифовальные отделения	0,7
Отделение координатно-расточных станков	0,8
Отделение производства редукторов газовых турбин	0,8

1	2
Цехи сварных конструкций:	
заготовительное отделение	0,7
механические отделения	0,7
сборочно-сварочные отделения	0,6
Пищевые предприятия	
Пекарные залы хлебозаводов	0,6
Варочные отделения	0,6
Заводы общего приборостроения	
Механосборочные цехи и испытательные стенды	0,7
Центральные заводские лаборатории	
Литейные	0,5
Металлообрабатывающие и металлографические	0,6
Термические	0,5
Вычислительные центры	0,8

Примечания. 1. Значения коэффициента m даны для схемы вентиляции снизу вверх.

2. При струйной (сосредоточенной) подаче воздуха в верхнюю зону помещений, значение коэффициента m рекомендуется принимать равным 0,8 для всех цехов и отделений.

Таблица 6

Значение температурного градиента β /12/

Тепловое напряжение Вт/м ³	Расчетные значения температурного градиента β для промышленных зданий при высоте помещения H , м									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
15	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
23	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,4	0,35	0,3	0,3
46	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,35
70	1,0	0,9	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,5	0,4
93	1,0	0,9	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,5	0,4
116	0,8	0,7	0,7	0,65	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,35
174	0,65	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,4	0,35

Чем больше значения K_t , тем меньше расход приточного воздуха.

Как отмечалось выше, наибольшее значение K_t имеет при подаче воздуха непосредственно в рабочую зону затухающими в ней струями и при удалении большей части его из верхней зоны. При прочих способах подачи и удаления воздуха K_t имеет тенденцию к уменьшению. Таким образом, коэффициент воздухообмена трактуется как параметр, влияющий на расходы теплоты и холода в помещении и необходимый для определения количества приточного воздуха.

В соответствии с требованиями СНиП /1/ в помещениях с избытками явной теплоты и в помещениях, в которых тепловыделения сопровождаются выделением

влаги и вредных веществ, воздух следует подавать системами вентиляции с механическим побуждением непосредственно в рабочую зону. Подачей воздуха в рабочую зону считается также подача струями, направленными вертикально вниз из воздухораспределителей, расположенных на уровне не более 6 м от пола, а также наклонными и горизонтальными струями на уровне не более 4 м /2/.

При определении расхода наружного воздуха для вентиляции с целью ассимиляции избытков явной теплоты в помещении при переходных условиях температуру приточного воздуха можно принимать равной 9 °С.

Однако необходимо произвести расчет подачи струи (воздухораспределение) по существующим методикам /7/ и проверить соответствует ли температура в приточной струе на входе в рабочую зону нормируемым параметрам.

Для промышленных зданий допустимое отклонение температуры в приточной струе от нормируемой температуры воздуха в рабочей зоне составляет (приложение 7 /1/):

- при ассимиляции избытков теплоты в помещении $\Delta t = t_{p.z} - t_{np} = 2^\circ \text{C}$;
- при восполнении недостатков теплоты в помещении $\Delta t = t_{p.z} - t_{np} = -5^\circ \text{C}$.

Расход приточного воздуха при ассимиляции вредных газов и паров L , м³/ч определяется по формуле (5)

$$L = L_{m.o} + \frac{m_i - L_{m.o} (q_{m.o} - q_{np})}{q_{yx} - q_{np}} .$$

Концентрация вредных веществ в воздухе, уходящем из помещения q_{yx} , мг/м³, находится по формуле (14)

$$q_{yx} = q_{p.z} + K_q (ПДК - q_{p.z}) .$$

Коэффициент воздухообмена для вредных веществ K_q приведен в табл. 2,3.

При определении воздухообмена по формулам (4) и (5) может быть так, что в числителе дроби получится отрицательное число, формулы теряют смысл, т.к. расход приточного воздуха будет меньше расхода воздуха, удаляемого местными отсосами. Это означает, что местными отсосами удаляется такое количество воздуха, компенсации которого $L_{np} = L_{m.o}$ достаточно для ассимиляции теплоты и вредных веществ. В этом случае расход приточного воздуха, м³/ч, следует принять

$$L_{np} = L_{m.o} + L_{yx} .$$

Расход уходящего воздуха, м³/ч, в помещениях с выделением вредных или горючих газов согласно п.4.58 /1/

$$L_{yx} = V_n, \tag{20}$$

а для помещений высотой более 6 м

$$L_{yx} = 6 \cdot F, \quad (21)$$

где F — площадь помещения, м^2 ;
 V_n — объем помещения, м^3 .

Зная расход приточного воздуха, необходимо уточнить его температуру, $^{\circ}\text{C}$, из формулы (4)

$$t_{np.} = \frac{L_{м.о} \cdot c \cdot t_{п.з.} + L_{yx} \cdot c \cdot t_{yx} - 3,6 \sum Q_{изб}}{c \cdot L_{np.}}. \quad (22)$$

При одновременном поступлении в воздух помещения теплоты, вредных веществ следует принимать большую из величин полученных по формулам (4), (5). При этом, если в помещение поступает несколько видов вредных веществ, не обладающих суммацией действия, расход приточного воздуха (по массе выделяющихся вредных веществ) следует принимать по большему из полученных результатов (по определяющей вредности) для каждого из веществ. Если в воздух помещения выделяется несколько видов вредных веществ однонаправленного действия, следует суммировать расходы приточного воздуха, полученные для каждого из веществ в отдельности.

5. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ВОЗДУХООБМЕНА ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

5.1. Участок технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей

Рассчитать воздухообмен в цехе технического обслуживания и текущего ремонта грузовых автомобилей с карбюраторным двигателем. Рабочий объем цилиндров двигателя $I = 6,5$ л, мощность 150 л.с. (бензин не этилированный). Одновременно обслуживаются три автомобиля. Выхлопные трубы автомобилей оборудуются шланговыми отсосами. Количество воздуха, удаляемого шланговым отсосом от одного автомобиля мощностью от 120 до 180 л.с. — $500 \text{ м}^3/\text{ч} / 14/$, от трех автомобилей будет $1500 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Количество приточного и вытяжного воздуха для осмотровых канав, прямиков и тоннелей принято исходя из расчета их десятикратного воздухообмена и составляет $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Общее количество воздуха, удаляемого из рабочей зоны $L_{м.о.} = 1500 + 1000 = 2500 \text{ м}^3/\text{ч}$.

В помещении имеется достаточное количество окон для проветривания в теплый период. Работа средней тяжести II а.

Теплый период.

Температуру приточного воздуха принимаем по параметрам «А» $t_{np} = 21^\circ\text{C}$. В соответствии с приложением 2 СНиП 2.04.05-91, для работы средней тяжести II а, температуру рабочей зоны принимаем на 4°C выше $t_{np.}$, т.е. $t_{p.z.} = 25^\circ\text{C}$ (допустимые параметры). Суммарные явные теплопоступления составляют $Q_{я} = 20000 \text{ Вт}$, или $Q_{я} = 20000 \cdot 3,6 = 72000 \text{ кДж/ч}$. Объем цеха $V = 2400 \text{ м}^3$, высота — 6 м. В соответствии с /14/ в помещениях технического обслуживания и текущего ремонта подвижного состава удаление воздуха системами общеобменной вентиляции следует предусматривать из верхней и нижней зон поровну с учетом вытяжки из смотровых канав, а подачу приточного воздуха — рассредоточено в рабочую зону и в смотровые каналы. При таком способе подачи, принимая в первом приближении кратность воздухообмена в пределах 5-10 1/ч, по таблице 3 принимаем $K_t = 1,2$; $K_q = 1,4$ (как для кратности 5-10).

По формуле (4) с учетом формулы (12) определяем расход приточного воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$

$$L = L_{m.o} + \frac{3,6 \cdot \Sigma Q_{изб} - c \cdot L_{m.o} (t_{p.z.} - t_{np.})}{c \cdot K_t \cdot (t_{p.z.} - t_{np.})}, \quad (23)$$

$$L = 2500 + \frac{72000 - 1,2 \cdot 2500(25 - 21)}{1,2 \cdot 1,2 \cdot (25 - 21)} = 12916.$$

$$\text{Кратность воздухообмена } K = \frac{12916}{2400} = 5,4, \text{ значит коэффициенты } K_t \text{ и } K_q$$

выбраны правильно.

Переходные условия.

В соответствии с СНиП 2.04.05-91 $t_{p.z.} = 18^\circ\text{C}$. Температура наружного воздуха $t_n^{nep} = 8^\circ\text{C}$, приточного $t_{np.} = 8 + 1 = 9^\circ\text{C}$. Избытки явной теплоты $\Sigma Q_{изб} = 18000 \text{ Вт}$ или 65000 кДж/ч , $K_t = 1,2$; $K_q = 1,4$ (подача воздуха в рабочую зону) /2/.

В переходный период воздух в помещения рекомендуется подавать организованно приточными установками с механическим побуждением. При этом минимальная производительность приточной установки должна равняться количеству воздуха, удаляемого местными отсосами.

По формуле (23) определим расход приточного воздуха для переходного периода

$$L = 2500 + \frac{65000 - 1,2 \cdot 2500(18 - 9)}{1,2 \cdot 1,2(18 - 9)} = 5430 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Холодный период года.

Температура воздуха в рабочей зоне принимается как и для переходного периода $t_{p.з} = 18^\circ\text{C}$. Из теплового баланса, составленного с учетом работы отопления $\Sigma Q_{изб} = 6000$ кДж/ч. В холодный период года при незначительных избытках явной теплоты (до 5 Вт/м^3) допускается принимать $t_{yx} - t_{p.з} = 0,5 - 1^\circ\text{C}$. Пусть в нашем случае $t_{yx} = 19^\circ\text{C}$, $t_n^B = -24^\circ\text{C}$.

Производительность приточной установки рекомендуется принимать по переходному периоду /10/. Искомой величиной является температура приточного воздуха $t_{np.}$, которую определяем из уравнения тепловоздушного баланса.

Теплоизбытки и содержание теплоты в приточном воздухе, кДж/ч	Теплодефициты и содержание теплоты в удаляемом воздухе, кДж/ч
$\Sigma Q_{изб} = 6000$	$Q_{м.о} = L_{мо} \cdot c \cdot \rho \cdot t_{p.з} =$ $= 2500 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 18 = 54000$
$Q = L_{np} \cdot c \cdot \rho \cdot t_{np} = 5430 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot t_{np.}$	$Q_{yx} = L_{yx} \cdot c \cdot \rho \cdot t_{yx} =$ $= 2930 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 19 = 66804$
ИТОГО: $6000 + 6516 t_{np.}$	120804

Решив уравнение баланса относительно $t_{np.}$ получим

$$t_{np.} = \frac{120804 - 6000}{6516} = 17,6^\circ\text{C}$$

Температуру приточного воздуха так же можно определить по формуле (22)

$$t_{np.} = \frac{L_{м.о} \cdot c \cdot t_{p.з.} + L_{yx} \cdot c \cdot t_{yx} - 3,6 \Sigma Q_{изб}}{c \cdot L_{np}} =$$

$$= \frac{2500 \cdot 1,2 \cdot 18 + 2930 \cdot 1,2 \cdot 19 - 6000}{1,2 \cdot 5430} = \frac{54000 + 66804 - 6000}{6516} = 17,6^\circ\text{C}$$

В помещениях технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей, кроме тепловыделений, имеется значительное поступление в рабочую зону окиси углерода при въезде, выезде и регулировке автомобилей. Время этих операций принимают по данным технологов и из литературных источников /14/.

Пусть заправка и выезд автомобиля из цеха — 1 мин., въезд и маневрирование автомобиля при установке на место — 1 мин. Испытание и регулирование на стенде — 8 минут. В последнем случае в связи с наличием шлангового отсоса прорыв отработанных газов в помещение следует принимать 10 % /14/.

Количество окиси углерода G , кг/ч, выделяющейся при работе автомобилей с карбюраторными двигателями, определяют по формуле

$$G = 15 \cdot (0,6 + 0,8 \cdot B) \frac{P}{100} \cdot \frac{\tau}{60} n,$$

где n — число автомобилей, находящихся в работе, $n = 3$;

B — рабочий объем цилиндров двигателя, л, $B = 6,5$;

P — массовое содержание вредных веществ в отработавших газах, %.

$P = 6\%$ — при заводке и регулировании; $P = 4\%$ — при маневрировании, въезде и выезде /14/;

τ — время работы двигателя, мин.

$$\text{Выезд из помещения } G = 15 \cdot (0,6 + 0,8 \cdot 6,5) \frac{4}{100} \cdot \frac{1}{60} \cdot 3 = 0,170 \text{ кг/ч}.$$

$$\text{Въезд в помещение } G = 15 \cdot (0,6 + 0,8 \cdot 6,5) \frac{4}{100} \cdot \frac{1}{60} \cdot 3 \cdot 0,4 = 0,07 \text{ кг/ч}.$$

При въезде автомобиля на G_k вводится понижающий коэффициент $0,4/14/$. Поступление CO при регулировании двигателя с учетом работы шлангового отсоса (10%).

$$G = 15 \cdot (0,6 + 0,8 \cdot 6,5) \frac{6}{100} \cdot \frac{8}{60} \cdot 3 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ кг/ч}.$$

Всего выделяется окиси углерода при одновременной работе 3-х автомобилей

$$G = 0,170 + 0,07 + 0,2 = 0,44 \text{ кг/ч}.$$

Воздухообмен L , м³/ч, для разбавления этого количества окиси углерода определяем из формулы (5) с учетом формулы (14) и того, что $q_{м.о} = q_{р.з}$.

$$L = L_{м.о} + \frac{G - L_{м.о} (q_{р.з} - q_{нр.})}{K_q (q_{р.з} - q_{нр.})}. \quad (24)$$

При этом: $L_{м.о} = 2500 \text{ м}^3/\text{ч}$; $K_q = 1,4$; $q_{р.з} = 20 \text{ мг}/\text{м}^3$; $q_{нр.} = 5 \text{ мг}/\text{м}^3 / 14/$, тогда

$$L = 2500 + \frac{0,44 \cdot 10^6 - 2500 \cdot (20 - 5)}{1,4(20 - 5)} = 21670 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Кратность воздухообмена $\frac{21670}{2400} \approx 9$, коэффициенты K_t и K_q не меняются.

Как видим, воздухообмен для разбавления CO больше, чем для разбавления теплоты. Принимаем его за расчетный, т.е. $L = 21670 \text{ м}^3/\text{ч}$. Этот расход воздуха подается в рабочую зону, а удалять воздух рекомендуется /14/ в равных количествах из рабочей и верхней зон, т.е. $L_{р.з} = L_{yx} = 10835 \text{ м}^3/\text{ч}$. Зная $L = 21670 \text{ м}^3/\text{ч}$, уточним температуру в рабочей зоне в теплый период.

Формулу (23) запишем в следующем виде:

$$L = L_{м.о} + \frac{3,6 \cdot \Sigma Q_{изб} - c \cdot L_{м.о} \Delta t}{c \cdot K_t \cdot \Delta t} \quad (25)$$

где $\Delta t = t_{р.з.} - t_{нр.}$,

тогда $L \cdot c \cdot K_t \cdot \Delta t = L_{м.о} \cdot c \cdot K_t \cdot \Delta t + 3,6 \Sigma Q_{изб} - c \cdot L_{м.о} \cdot \Delta t$

$$21670 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot \Delta t = 10835 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot \Delta t + 72000 - 1,2 \cdot 10835 \cdot \Delta t$$

$$31,2 \cdot \Delta t = 14,6 \cdot \Delta t + 72 - 13 \cdot \Delta t ; \Delta t = 2,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

отсюда $t_{р.з.} = t_{нр.} + \Delta t = 21 + 2,5 = 23,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

Как видим при воздухообмене $L = 21670 \text{ м}^3/\text{ч}$ в рабочей зоне будет более благоприятная температура (была принята $t_{р.з.} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$).

Переходные условия.

Из формулы (25), принимая $L = 21670 \text{ м}^3/\text{ч}$; $L_{р.з.} = 10835 \text{ м}^3/\text{ч}$; $K_t = 1,2$; $t_{р.з.} = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$ находим $\Delta t = t_{р.з.} - t_{нр.}$. При этом $\Sigma Q_{изб} = 65000 \text{ кДж}/\text{ч}$

$$\Delta t = \frac{65}{31,2} \cong 2 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad \text{тогда } t_{нр.} = 18 - 2 = 16 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Холодный период.

Из формулы (25), принимая $L = 21670 \text{ м}^3/\text{ч}$; $L_{p.з.} = 10835 \text{ м}^3/\text{ч}$; $K_t = 1,2$;

$$t_{p.з.} = 18 \text{ }^\circ\text{C}, \Sigma Q_{изб} = 6000 \text{ кДж/ч, находим } \Delta t = t_{p.з.} - t_{np}, \Delta t = \frac{6}{31,2} \cong 0,2^\circ\text{C},$$

тогда $t_{np} = 18 - 0,2 \approx 17,8 \text{ }^\circ\text{C} \approx 18 \text{ }^\circ\text{C}$.

Дополнительно вентилирования верхней зоны не требуется, т.к. удаляется отсюда $L_{yx} = 10835 \text{ м}^3/\text{ч}$ — это примерно пятикратный воздухообмен.

Определяем расход теплоты на калориферы приточной установки по формуле

$$Q_k = L \cdot \rho \cdot c (t_k - t_n),$$

где L_ρ — расчетный воздухообмен или производительность приточной установки, $\text{м}^3/\text{ч}$;

ρ — плотность воздуха, $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$;

t_k — конечная температура нагреваемого воздуха
($t_k = t_{np} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$);

t_n — начальная температура нагреваемого воздуха
($t_n = t_n^B = -24 \text{ }^\circ\text{C}$);

$$Q = 21670 \cdot 1,2 \cdot 1 (18 + 24) = 1092170 \text{ кДж/ч}.$$

Описание работы системы вентиляции участка

В летнее и зимнее время удаление воздуха из верхней зоны в количестве $L_{в.з.} = 10835 \text{ м}^3/\text{ч}$ обеспечивают четыре крышных вентилятора № 4, которые установлены в покрытии. Количество воздуха, удаляемого из рабочей зоны, так же составляет $L = 10835 \text{ м}^3/\text{ч}$, при этом из смотровых ям удаляется $L = 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ отдельной вытяжной системой В-1 с механическим побуждением. От выхлопных труб автомобилей удаляется $1500 \text{ м}^3/\text{ч}$ (по $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ от каждого) шланговыми отсосами системами ВЕ-1, ВЕ-2, ВЕ-3 с естественным побуждением (вытяжные трубы с диаметром 100 мм). Остальное количество воздуха $L = 10835 - 2500 = 8335 \text{ м}^3/\text{ч}$ удаляется системой общеобменной вентиляции В-2. Вытяжные патрубки (отрезок воздуховода, затянутый сеткой) устанавливаются на высоте 1 м от пола.

Общее количество приточного воздуха $L = 21670 \text{ м}^3/\text{ч}$. Из этого числа $20670 \text{ м}^3/\text{ч}$ подается в рабочую зону через эжекционные панельные воздухораспределители ВЭПш, установленные на высоте 1,5 м от пола, а $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ подается в смотровые ямы через решетки типа РВ.

Приточная камера располагается на площадке на отметке + 3,5 м, там же установлен и калорифер.

Воздухозаборные решетки металлические типа СТД 5289 установлены в наружной стене на отметке +4,0 м. Приточная установка П-1 в цехе ТООИТР автомобилей работает круглогодично.

Рассчитать воздухообмен участка технического обслуживания и ремонта (ТООИТР) автомобилей с дизельным двигателем.

В данном помещении проходит обслуживание дизельный автомобиль МАЗ-500 (один автомобиль) мощностью 210 л.с. Согласно СНиП «Предприятия по обслуживанию автомобилей» при работе дизельного двигателя выделяются следующие вредности: окись углерода, окись азота, альдегиды.

Время работы двигателя: въезд на пост — 0,4 минуты, выезд — 0,3 минуты, разогрев — 1 минута (можно 0,5 мин.), регулировка на стенде — 10 минут. Количество вредностей G , кг/ч, выделяющихся при работе одного автомобиля с дизельным двигателем, определяется по формуле

$$G = (160 + 13,5B) \frac{P}{100} \cdot \frac{T}{60}$$

где B — рабочий объем цилиндров двигателя, л (МАЗ-500, $B = 11,5$ л, $N = 210$ л.с.)

P — массовое содержание вредностей в отработавших газах, %;

T — время работы двигателя, мин.

Таблица 7

Массовое содержание вредностей P в отработавших газах

Двигатели	Массовое содержание вредностей в %, P		
	СО	окислы азота	альдегиды
Карбюраторные	6/4		
Дизельные	0,07/0,05	0,007/0,009	0,05/0,035

Примечания. 1. В числителе указано массовое содержание вредностей при заводке, разогреве и регулировке двигателя, в знаменателе — при маневрировании, въезде и выезде из помещения. Массовое содержание вредностей, выделяющихся при въезде авто в помещение, должно приниматься для карбюраторных — 0,4; дизельных — 0,55 массового содержания вредностей, указанного в знаменателе.

Въезд. Количество окиси углерода CO , кг/ч, при $P = 0,05$; $T = 0,4$ мин., понижающем коэффициенте — 0,55.

$$G = (160 + 13,5 \cdot 11,5) \cdot \frac{0,05 \cdot 0,55}{100} \cdot \frac{0,4}{60} = 0,00058 \text{ кг/ч} = 0,58 \text{ г/ч}.$$

Выезд: $P = 0,05$; $T = 0,3$ мин.

$$G = (160 + 13,5 \cdot 11,5) \cdot \frac{0,05}{100} \cdot \frac{0,3}{60} = 0,00078 \text{ кг/ч} = 0,78 \text{ г/ч}.$$

Разогрев: $P = 0,07$; $T = 1$ мин.

$$G = (160 + 13,5 \cdot 11,5) \cdot \frac{0,07}{100} \cdot \frac{1}{60} = 0,0037 \text{ кг/ч} = 3,7 \text{ г/ч}.$$

Регулировка: $P = 0,07$; $T = 10$ мин.

$$G = (160 + 13,5 \cdot 11,5) \cdot \frac{0,07}{100} \cdot \frac{10}{60} = 0,036 \text{ кг/ч} = 3,6 \text{ г/ч}.$$

Для отвода выхлопных газов при регулировке автомобиля устраиваются отсосы с гибким шлангом $d = 200$ мм для дизельных двигателей, $d = 100$ мм для карбюраторных. При размещении в помещении не более 5 постов допускается проектировать шланговые отсосы с естественным побуждением (для автомобилей мощностью не более 180 л.с.). При этом в помещение прорывается примерно 10 % газов. При мощности двигателя 120-180 л.с. шланговым отсосом удаляется 500 м³/ч воздуха (180-240 л, 650 м³/ч). При регулировке с учетом работы шлангового отсоса (наш случай) $G = 0,036 \cdot 0,10 = 0,0036$ кг/ч = 3,6 г/ч.

Общее количество CO , поступающей в рабочую зону

$$\Sigma G = 0,58 + 0,78 + 3,7 + 3,6 = 8,66 \text{ г/ч} = 0,00864 \text{ кг/ч} = 8640 \text{ мг/ч}.$$

Окислы азота:

$$\text{въезд } G = (160 + 13,5 \cdot 11,5) \cdot \frac{0,009 \cdot 0,55}{100} \cdot \frac{0,4}{60} = 0,0001 \text{ кг/ч} = 0,1 \text{ г/ч};$$

$$\text{выезд } G = (160 + 13,5 \cdot 11,5) \cdot \frac{0,009}{100} \cdot \frac{0,3}{60} = 0,00014 \text{ кг/ч} = 0,14 \text{ г/ч};$$

$$\text{разогрев } G = (160 + 13,5 \cdot 11,5) \cdot \frac{0,007}{100} \cdot \frac{1}{60} = 0,00036 \text{ кг/ч} = 0,36 \text{ г/ч};$$

регулировка $G = (160 + 13,5 \cdot 11,15) \cdot \frac{0,007}{100} \cdot \frac{10 \cdot 0,1}{60} = 0,00036 \text{ кг/ч} = 0,36 \text{ г/ч}$.

Окислы азота:

$$\Sigma G = 0,1 + 0,14 + 0,36 + 0,36 = 0,96 \text{ г/ч} = 960 \text{ мг/ч}$$

Альдегиды:

въезд $G = (160 + 13,5 \cdot 11,15) \cdot \frac{0,035 \cdot 0,55}{100} \cdot \frac{0,4}{60} = 0,0004 \text{ кг/ч} = 0,4 \text{ г/ч}$;

выезд $G = (160 + 13,5 \cdot 11,15) \cdot \frac{0,035}{100} \cdot \frac{0,3}{60} = 0,00054 \text{ кг/ч} = 0,54 \text{ г/ч}$;

разогрев $G = (160 + 13,5 \cdot 11,15) \cdot \frac{0,05}{100} \cdot \frac{1}{60} = 0,0026 \text{ кг/ч} = 2,6 \text{ г/ч}$;

регулировка $G = (160 + 13,5 \cdot 11,15) \cdot \frac{0,05}{100} \cdot \frac{10}{60} \cdot 0,10 = 0,0026 \text{ кг/ч} = 2,6 \text{ г/ч}$.

$$\Sigma G = 0,4 + 0,54 + 2,6 + 2,6 = 6,14 \text{ г/ч} = 6140 \text{ мг/ч}$$

Определяем расход воздуха L , м³/ч, необходимый для разбавления вредных по формуле (24).

При этом, как и в предыдущем случае $K_q = 1,4$ (таблица 3 при воздухообмене 5-10 л/ч), $q_{p.z.} =$ ПДК вредных в рабочей зоне, мг/м³.

Для окиси углерода $q_{p.z.} = 20$ мг/м³, $q_{np.} = 5$ мг/м³, $G = 8640$ мг/ч, по формуле (24)

$$L = 2500 + \frac{8640 - 2500 \cdot (20 - 5)}{1,4 \cdot (20 - 5)}$$

Анализ числителя второго слагаемого данной формулы показывает, что из рабочей зоны воздухом местных отсосов удаляется больше CO, чем поступает. Уточняем из формулы (24)

$\Delta q = q_{p.з} - q_{np}$; а отсюда найдем $q_{p.з}$, мг/м³.

При этом $L = L_{м.о.} = 2500$ м³/ч.

$$1,4 \cdot \Delta q \cdot 2500 = 1,4 \cdot \Delta q \cdot 2500 + 8640 - 2500 \cdot \Delta q; \Delta q = \frac{8640}{2500} \approx 3,5 \text{ мг/м}^3.$$

Отсюда $q_{p.з} = q_{np} + \Delta q = 5 + 3,5 = 8,5$ мг/м³.

Окислы азота: $q_{p.з.} = 5$ мг/м³, $q_{np.} = 0,035$ мг/м³, $G = 960$ мг/ч, тогда из формулы (24) $\Delta q = 1,5$ мг/м³, а $q_{p.з} = 1,53$ мг/м³, при этом $L = L_{м.о.} = 2500$ м³/ч.

Альдегиды $q_{p.з.} = 0,5$ мг/м³, $q_{np.} = 0,035$ мг/м³, $G = 6140$ мг/ч, тогда по формуле (24)

$$L = 2500 + \frac{6140 - 2500 \cdot (0,5 - 0,035)}{1,4 \cdot (0,5 - 0,035)} = 10000 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Воздухообмен для разбавления избыточной теплоты в данном цехе рассчитывается аналогично предыдущему примеру. За расчетный воздухообмен принимается больший из всех полученных.

5.2. Цех обработки древесины

Рассчитать воздухообмен в цехе обработки древесины.

Расчетная наружная температура зимой $t_n^B = -26$ °С, летом $t_n^A = 21$ °С. Суммарная производительность местных отсосов $L_{м.о} = 20000$ м³/ч. Объем цеха $V = 4700$ м³, высота 6 м. Поступление влаги и вредных веществ незначительны. Приточный воздух подается сверху-вниз перфорированными воздухораспределителями, установленными на высоте 5,5 м, удаление воздуха местными отсосами из рабочей зоны, а общеобменной вентиляцией из верхней зоны. Из-за наличия эффективных местных отсосов у деревообрабатывающих станков поступление пыли в рабочую зону незначительно.

Теплый период.

Исходные данные: избытки явной теплоты $\Sigma Q_{изб} = 300000$ кДж/ч, $t_{p.з.} = 25$ °С (работа средней тяжести, категория Па). Считая, что подача воздуха в теплый период через нижние фрамуги окон есть подача в рабочую зону, принимаем по таблице 3 $q_t = 1,2$ (кратность воздухообмена 5-10 1/ч).

По формуле (23) определяем расход приточного воздуха

$$L = L_{м.о} + \frac{3,6 \cdot \Sigma Q_{изб} - c \cdot L_{м.о} (t_{п.з.} - t_{np.})}{c \cdot K_t (t_{п.з.} - t_{np.})} =$$

$$= 20000 + \frac{300000 - 1,2 \cdot 20000(25 - 21)}{1,2 \cdot 1,2(25 - 21)} = 55420 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Кратность воздухообмена $K = \frac{46740}{4700} = 9,9$.

При этом 20000 м³/ч забирается из нижней зоны местными отсосами, а 35420 м³/ч из верхней зоны, например, крышными вентиляторами. Приточный воздух в теплый период будет поступать в цех через нижние фрамуги окон за счет разрежения, создаваемого вытяжными установками.

Переходный период.

Исходные данные: избытки явной теплоты $\Sigma Q_{изб} = 250000$ кДж/ч, $t_{п.з.} = 18^\circ\text{C}$, $t_{np} = 9^\circ\text{C}$, $L_{м.о} = 20000$ м³/ч, $K_t = 1,2$ (таблица 3), подача воздуха сверху вниз с высоты до 6 м считается подачей в рабочую зону.

По формуле (23) определяем расход приточного воздуха

$$L = 20000 + \frac{250000 - 1,2 \cdot 20000(18 - 9)}{1,2 \cdot 1,2(18 - 9)} = 22620 \text{ м}^3 / \text{ч} .$$

В переходный период воздух в помещения рекомендуется подавать организованно, приточными установками. Для данного цеха $L = 22620$ м³/ч.

Кратность воздухообмена $K = \frac{22620}{4700} = 4,8$

Расход воздуха, удаляемого из верхней зоны

$$L_{yx} = 22620 - 20000 = 2620 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Холодный период.

Недостатки явной теплоты в рабочее время при работающей системе дежурного отопления $Q = 120000$ кДж/ч. Количество приточного воздуха принимаем по переходному периоду $L_{np} = 22620$ м³/ч. Так как теплоизбытки отсутствуют $t_{yx} = t_{п.з.} = 18^\circ\text{C}$. Искомой величиной является t_{np} .

$$t_{np.} = \frac{L_{m.o} \cdot c \cdot t_{p.z.} + L_{yx} \cdot c \cdot t_{yx} - 3,6 \sum Q_{изб}}{c \cdot L_{np}} =$$

$$= \frac{20000 \cdot 1,2 \cdot 18 + 2620 \cdot 1,2 \cdot 18 + 120000}{1,2 \cdot 22620} = \frac{432000 + 56600 + 120000}{27144} = 22,4^\circ \text{C}.$$

Как видим, приточный воздух перегрет для компенсации недостающей теплоты.

Определяем расход теплоты на калориферы

$$Q_k = 22620 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot [22,4 - (-26)] = 1313770 \text{ кДж/ч}.$$

Кратное описание системы вентиляции.

В летнее время удаление воздуха из верхней зоны ($L = 35420 \text{ м}^3/\text{ч}$) обеспечивают шесть крышных осевых вентилятора № 5, которые устанавливаются в покрытии. Остальное количество воздуха удаляется из рабочей зоны местными отсосами от технологического оборудования ($L_{m.o} = 20000 \text{ м}^3/\text{ч}$). Приток в теплый период естественный через нижние фрамуги окон. В переходный и зимний периоды удаление воздуха $L_{yx} = 2620 \text{ м}^3/\text{ч}$ из верхней зоны обеспечивает один крышный вентилятор (остальные отключаются), из нижней зоны — местные отсосы. Приточный воздух в количестве $22620 \text{ м}^3/\text{ч}$ нагревается в калорифере и подается сверху вниз через перфорированные воздухопроводы равномерной раздачи типа ВПК-2, смонтированные на высоте 5 м. Приточная камера расположена на специальной площадке на отметке +3,5 м. Воздухозаборные решетки металлические, типа СТД 5289, устанавливаются в наружной стене на отметке +4,0 (скорость воздуха в живом сечении решетки 4-5 м/с. Вентилятор вытяжной аспирационной установки смонтирован снаружи, очистка воздуха от пыли осуществляется в циклоне «Гипродревпрома», установленном на расстоянии 10 м от здания.

5.3. Кузнечно-прессовый цех

Расчитать воздухообмен в кузнечно-прессовом цехе размером 42x24 м, высотой 6 м. Расчетная наружная температура зимой $t = -25^\circ \text{C}$, летом $t_n^A = 21^\circ \text{C}$. Суммарная производительность местных отсосов $L_{m.o} = 15000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Поступления вредных веществ незначительны. Приточный воздух в теплый период поступает естественным путем через открытые фрамуги окон за счет разрежения, создаваемого вытяжной вентиляцией. В переходный и зимний периоды приточный воздух подается в рабочую зону частично через решетки типа ВР, установленные на высоте 1,5 м, а частично, через перфорированные воздухопроводы равномерной раздачи ВПК-1 на высоте 5,5 м. Удаление воздуха общеобменной вентиляцией из верхней зоны и местными отсосами из рабочей зоны.

Теплый период.

Избытки явной теплоты $\Sigma Q_{изб} = 540000$ кДж/ч (работа средней тяжести, категория II б) $t_{p.з.} = 25$ °С. Удельные избытки явной теплоты в данном цехе

$$q_{уд} = \frac{\Sigma Q_{изб}}{V \cdot 3,6} = \frac{540000}{6000 \cdot 3,6} = 25 \text{ Вт} / \text{м}^3.$$

При $q > 23$ Вт/м³ помещение считается со значительными теплоизбытками /10/. По таблице 2 $K_t = 2,0$. По формуле (23) расход приточного воздуха

$$L = L_{м.о} + \frac{\Sigma Q_{изб} - c \cdot L_{м.о} (t_{p.з.} - t_{np.})}{c \cdot K_t (t_{p.з.} - t_{np.})} = 15000 + \frac{540000 - 1,2 \cdot 15000(25 - 21)}{1,2 \cdot 2(25 - 21)} =$$

$$= 15000 + 48750 = 63750 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Расход воздуха $L = 48750$ м³/ч будет удаляться из верхней зоны крышными вентиляторами. Приточный воздух $L = 63750$ м³/ч будет поступать в цех через нижние фрамуги окон.

При использовании местных отсосов у конвективных источников теплоты (кузнечные, термические, сварочные и т.п. цеха) часть вредностей (10-30%) прорывается в помещение и накапливается в верхней зоне, затем, вследствие охлаждения у перекрытия и стен они опускаются вниз, загрязняя рабочую зону. Поэтому необходимо предусматривать удаление воздуха и из верхней зоны.

Этот дополнительный объем принимается не менее однократного часового воздухообмена при высоте помещения H_p до 6 м, для $H_p > 6$ м минимальное количество удаляемого воздуха из верхней зоны (под перекрытием) — 6 м³ на 1 м² площади пола помещения /1/. Объем цеха $V = 42 \cdot 24 \cdot 6 = 6000$ м³, но с учетом того, что из верхней зоны удаляется $L_{в.з.} = 48750$ м³/ч дополнительной вентиляции верхней зоны не требуется.

Переходный период.

Избытки явной теплоты $\Sigma Q_{изб} = 500000$ кДж/ч, $t_{p.з.} = 17$ °С, $t_{np.} = 9$ °С, $q = 23,2$ Вт/м³. По таблице 2 $K_t = 2,0$. По формуле (23) расход приточного воздуха

$$L = 15000 + \frac{500000 - 1,2 \cdot 15000(17 - 9)}{1,2 \cdot 2(17 - 9)} = 15000 + 18540 = 33540 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Из верхней зоны будет удаляться — 18540 м³/ч.

В переходный период воздух подается организованно, приточной установкой $L_{np} = 33540$ м³/ч.

Из верхней зоны удаляется 18540 м³/ч, значит и в переходный период не требуется дополнительной вентиляции верхней зоны.

Холодный период.

Температура воздуха в рабочей зоне $t_{p.з.} = 17^\circ\text{C}$. Избытки явной теплоты в рабочее время при отключенной системе отопления $\Sigma Q_{изб} = 250000$ кДж/ч. Расход приточного воздуха принимаем по переходному периоду, т.е. $L = 33540$ м³/ч.

Удельные избытки явной теплоты

$$q_{y\partial} = \frac{250000}{3,6 \cdot 6000} = 11,6 \text{ Вт} / \text{м}^3.$$

Это уже считается помещением с незначительными избытками явной теплоты. По таблице 3 $K_t = 1,2$. Из формулы (25)

$$L = L_{м.о} + \frac{\Sigma Q_{изб} - c \cdot L_{м.о} \Delta t}{C \cdot K_t \cdot \Delta t},$$

где $\Delta t = t_{p.з.} - t_{np.}$

$$33540 = 15000 + \frac{250000 - 1,2 \cdot 15000 \cdot \Delta t}{1,2 \cdot 1,2 \cdot \Delta t};$$

$$48300 \cdot \Delta t = 21600 \Delta t + 250000 - 18000 \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{250}{44,7} = 5,6^\circ\text{C}$$

$$t_{np.} = t_{p.з.} - \Delta t = 17 - 5,6 = 11,4^\circ\text{C}$$

Расход теплоты на калориферы

$$Q_k = 33540 \cdot 1,2 \cdot (11,4 + 25) = 1465000 \text{ кДж/ч.}$$

5.4. Ремонтно-механический цех

Рассчитать воздухообмен в ремонтно-механическом цехе размером 36x12м и высотой 8 м. Расчетная наружная температура зимой $t_H^B = -25^\circ\text{C}$, летом $t_H^A = 21^\circ\text{C}$. Суммарная производительность местных отсосов $L_{м.о} = 20000$ м³/ч. Приточный воздух в переходный и холодный периоды подается в верхнюю зону сосредоточенными не настилающимися струями из воздухораспределителей типа ВСП. В теплый период — естественным путем в рабочую зону через фрамуги окон. Теплопоступления незначительны.

Теплый период.

Исходные данные: избытки явной теплоты $\Sigma Q_{изб} = 72000$ кДж/ч, в соответствии с /1/ $t_{p.з.} = t_n^A + 4 = 21 + 4 = 25$ °С. По таблице 3, принимая кратность воздухообмена 5-10 1/ч, $K_t = 1,0$ (подача воздуха сосредоточенно, выше рабочей зоны).

По формуле (23) расход приточного воздуха

$$L = 20000 + \frac{72000 - 1,2 \cdot 20000(25 - 21)}{1,2 \cdot 1(25 - 21)}$$

Как видим, в числителе второго слагаемого получается отрицательная величина. Определяем расход воздуха для вентиляции верхней зоны. Согласно /1/ при высоте помещения больше 6 м (наш случай) из верхней зоны под перекрытием помещения необходимо удалять 6 м³/ч на 1 м² площади помещения, т.е.

$$L_{yx} = 36 \cdot 12 \cdot 6 = 2592 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Принимая расход приточного воздуха $L = L_{м.о.} + L_{yx} = 22592$ м³/ч, находим из формулы (25) величину $\Delta t = t_{p.з.} - t_{np.}$

$$72000 = 1,2 \cdot 22592 \Delta t ;$$

$$\Delta t = \frac{72000}{1,2 \cdot 22592} = 2,6^\circ \text{C}$$

$$\text{тогда } t_{p.з.} = 21 + 2,6 = 23,6^\circ \text{C}.$$

т.е. в рабочей зоне установится более комфортная температура.

$$\text{Кратность воздухообмена } K = L/V = 22592/3456 = 6,5.$$

Вентиляцию верхней зоны в количестве $L_{yx} = 2592$ м³/ч обеспечивают четыре вытяжных шахты $d = 500$ мм с дефлекторами.

Переходный период

Исходные данные: избытки явной теплоты $\Sigma Q_{изб} = 60000$ кДж/ч, $t_{p.з.} = 18$ °С, $t_{np.} = 9$ °С. В переходный период приточный воздух подается организованно в верхнюю зону через воздухораспределители ВСП. Согласно таблице 3, $K_t = 1$. Так как перепад температур $t_{p.з.} - t_{np.} = 9$ °С, больше чем в теплый период, то очевидно, что тепловой поток, удаляемый из рабочей зоны с воздухом местных отсосов больше $\Sigma Q_{изб} = 60000$ кДж/ч. Аналогично теплому периоду $L_{yx} = 2592$ м³/ч, расход приточного воздуха $L = L_{м.о.} + L_{yx} = 20000 + 2592 = 22592$ м³/ч из формулы (25).

Находим $\Delta t = \frac{60000}{1,2 \cdot 22592} = 2,2^\circ\text{C}$, тогда $t_{np} = 18 - 2,2 = 15,8^\circ\text{C}$.

Удаление воздуха из верхней зоны $L_{yx} = 2592 \text{ м}^3/\text{ч}$ осуществляется, как и в теплый период. Производительность приточной установки $L_{np} = 22592 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Холодный период

Исходные данные: $t_{p.з} = 18^\circ\text{C}$, недостатки явной теплоты при работающей постоянно системе дежурного отопления $\Sigma Q_{изб} = -60000 \text{ кДж/ч}$. Расход приточного воздуха принимаем по переходному периоду $L = 22592 \text{ м}^3/\text{ч}$. Из формулы (25) на-

ходим $\Delta t = t_{p.з} - t_{np}$, $\Delta t = \frac{-60000}{1,2 \cdot 22592} = -2,2^\circ\text{C}$,

тогда $t_{np} = t_{p.з} - \Delta t = 18 + 2,2 = 20,2^\circ\text{C}$.

Расход теплоты на калориферы

$$Q_k = L \cdot c \cdot \rho \cdot (t_{np} - t_n^B) = 22592 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot (20,2 + 25) = 1225400 \text{ кДж/ч.}$$

5.5. Сварочное отделение

Рассчитать воздухообмен в сварочном отделении завода. Размеры помещения $18 \times 24 \text{ м}$, высота 6 м , объем $V = 2600 \text{ м}^3$.

Расчетная наружная температура зимой $t_H^B = -25^\circ\text{C}$, летом $t_H^A = 21^\circ\text{C}$. В отделении установлены столы для электросварочных работ и машины для точечной сварки. Над столами установлены местные отсосы в виде панелей равномерного всасывания (ПРВ) размером 900×650 , над машинами ПРВ размером 600×650 . Общий расход воздуха удаляемый этими отсосами из рабочей зоны $L_{м.о} = 23400 \text{ м}^3/\text{ч}$. Приточный воздух в переходный и холодный периоды подается наклоненными струями в направлении рабочей зоны с высоты 4 м , в теплый период — естественным путем через открываемые фрамуги окон.

Теплый период.

Исходные данные: избытки явной теплоты $\Sigma Q_{изб} = 55000 \text{ Вт}$. В соответствии с /1/ $t_{p.з} = t_H^A + 4 = 25^\circ\text{C}$.

По таблице 3, принимая кратность воздухообмена более 10 1/ч , находим $K_t = 1,0$; $K_q = 1,1$.

По формуле (23) расход приточного воздуха

$$L = 23400 + \frac{55000 \cdot 3,6 - 1,2 \cdot 23400(25 - 21)}{1,2 \cdot 1,0(25 - 21)} = 41200 \text{ м}^3 / \text{ч} .$$

При этом 23400 м³/ч удаляются из рабочей зоны местными отсосами, а 17800 м³/ч из верхней зоны крышными вентиляторами.

Переходный период.

Исходные данные: избытки явной теплоты $\Sigma Q_{изб} = 48000$ Вт, $t_{p.з} = 18$ °С, $t_{np} = 9$ °С, $L_{м.о} = 23400$ м³/ч. Принимая $K_t = 1$ по формуле (23) определяем расход приточного воздуха

$$L = 23400 + \frac{48000 \cdot 3,6 - 1,2 \cdot 23400(18 - 9)}{1,2 \cdot 1,0(18 - 9)} .$$

Как видим, в числителе второго слагаемого получается отрицательная величина.

Определяем расход воздуха для вентиляции верхней зоны. При высоте помещения 6 м из верхней зоны необходимо удалять не менее однократного часового воздухообмена. Так как в сварочных цехах выделяется значительное количество вредных газов, а часть из них, не уловленная местными отсосами, накапливаются в верхней зоне помещения примем кратность воздухообмена для верхней зоны 1,5. Тогда $L_{yx} = 2600 \times 1,5 = 3900$ м³/ч.

Принимая расход приточного воздуха

$$L = L_{м.о} + L_{yx} = 23400 + 3900 \text{ м}^3 / \text{ч} = 27300 \text{ м}^3 / \text{ч} .$$

Находим из формулы (25) величину $\Delta t = t_{p.з} - t_{np}$

$$27300 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot \Delta t = 23400 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot \Delta t + 48000 \cdot 3,6 - 1,2 \cdot 23400 \cdot 1,2 \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{172800}{1,2 \cdot 27300} \approx 5,3^\circ \text{C} ,$$

тогда $t_{np} = t_{p.з} - \Delta t = 18 - 5,3 = 12,7^\circ \text{C}$

Холодный период.

Исходные данные: $t_{p.з} = 18^\circ\text{C}$, избытки явной теплоты при неработающей в рабочее время системе дежурного отопления $\Sigma Q_{изб} = 28000$ Вт. Расход приточного воздуха принимаем по переходному периоду $L = 27300$ м³/ч. Из формулы (25) на-

$$\text{ходим } \Delta t = t_{p.з} - t_{np} \quad \Delta t = \frac{28000 \cdot 3,6}{1,2 \cdot 27300} = 3^\circ\text{C},$$

тогда $t_{np} = t_{p.з} + \Delta t = 18 - 3 = 15^\circ\text{C}$.

Расход теплоты на калориферы

$$Q_k = L \cdot c \cdot \rho \cdot (t_{np} - t_n^B) = 27300 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot (15 + 25) = 1310400 \text{ кДж/ч.}$$

Расчет воздухообмена сварочного отделения по вредностям

В данном отделении производится электродуговая и точечная сварка небольших изделий электродами типа АНО-3. Расход электродов на один сварочный пост 1,5 кг/ч. Всего на 9 постов — 13,5 кг/ч. Согласно /12/ расход воздуха, м³/ч на 1 кг электродов АНО-3 для разбавления вредных веществ составляет: по сварочному аэрозолю 1500 м³/ч, по марганцу и его окислам 2800 м³/ч. Выбираем большее значение — 2800 м³/ч. Тогда количество воздуха для разбавления общего количества марганца и его окислов от 9 постов составит

$$L = 2800 \times 13,5 = 37800 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

От машин точечной сварки выделяется окись железа. Согласно /12/ на 50кВА номинальной мощности машины необходимо подавать 400 м³/ч воздуха. Согласно данным технологов сила сварочного тока составляет 140 А при толщине электродов 4 мм. Номинальная мощность машины точечной сварки составляет 100 кВА, тогда для 6 машин количество воздуха

$$L = 6 \cdot 400 \cdot 100/50 = 4800 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Общее количество приточного воздуха составит

$$L = 37800 + 4800 = 42600 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Этот воздухообмен больше чем в теплый период для разбавления избытков теплоты. Принимаем за расчетный воздухообмен в теплый, переходный и холодный периоды воздухообмен для разбавления вредностей, т.е. $L = 42600$ м³/ч.

При этом из рабочей зоны местными отсосами удаляется 23400 м³/ч, а 19200 м³/ч из верхней зоны пятью крышными вентиляторами. Дополнительная вентиляция верхней зоны не требуется.

Принимая в холодный период количество приточного воздуха $L = 42600$ м³/ч из формулы (25) находим

$$\Delta t = \frac{\Sigma Q_{изб}}{c \cdot L} = \frac{28000 \cdot 3,6}{1,2 \cdot 42600} = 2^{\circ}C,$$

тогда $t_{np} = t_{p.з.} - \Delta t = 18 - 2 = 16^{\circ}C$.

Расход теплоты на калориферы

$$Q_k = 42600 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot (16 + 25) = 2096000 \text{ кДж/ч.}$$

Газы и аэрозоли, образующиеся при сварочных работах, не уловленные местными отсосами, накапливаются в верхней зоне помещения и в зависимости от силы сварочного тока и диаметра электрода зависят на определенной высоте, называемой оптимальной, откуда и следует их удалять.

При силе сварочного тока 140 А эта высота 4,7 м /12/. Не рекомендуется располагать вытяжные отверстия (воздуховоды) на расстоянии более 1-2 м от оптимальной высоты. В нашем случае удаление вредностей из верхней зоны осуществляется через крышные вентиляторы, установленные в покрытии. Для более эффективного удаления вредностей, всасывающие патрубки вентиляторов удлинить на 1 м.

5.6. Термический цех

Рассчитать воздухообмен в термическом цехе размером 42x18 м, высотой 7 м, $V=5300 \text{ м}^3$. Расчетная наружная температура зимой $t_H^B = -25^{\circ}C$, летом $t_H^A = 21^{\circ}C$. Суммарная производительность местных отсосов $L_{м.о.} = 20000 \text{ м}^3/\text{ч}$. В цехе предусматривается воздушное душирование рабочих мест у закалочных печей суммарной производительностью $L_{\partial} = 30000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Поступления вредных веществ незначительны. Приточный воздух подается в рабочую зону, удаление воздуха общеобменной вентиляцией из верхней зоны.

Теплый период.

Исходные данные: избытки явной теплоты $\Sigma Q_{изб} = 170000 \text{ Вт}$ (работа средней тяжести, категория Пб), $t_{p.з.} = 25^{\circ}C$. Температура воздуха, подаваемого воздушным душем $t_{\partial} = 19^{\circ}C$ (адиабатическое охлаждение), коэффициент воздухообмена $K_t = 1,9$ (таблица 1).

Определяем температуру удаляемого воздуха

$$t_{yx} = t_{np.} + K_t (t_{p.з.} - t_{np.}) = 21 + 1,9 (25 - 21) = 28,6^{\circ}C.$$

Составим уравнение воздушного баланса

$$L_{np} + L_{\partial} = L_{m.o.} + L_{yx},$$

где L_{yx} — расход воздуха, удаляемого из верхней зоны, м³/ч.

$$L_{np} + 30000 = 20000 + L_{yx},$$

$$L_{yx} = L_{np} + 10000$$

Для нахождения расхода приточного воздуха, L_{np} , м³/ч, составим уравнение тепловоздушного баланса.

Теплоизбытки и содержание теплоты в приточном воздухе, кДж/ч	Теплодефициты и содержание теплоты в удаляемом воздухе, кДж/ч
$\Sigma Q_{изб} = 170000 \cdot 3,6 = 612000$	$Q_{m.o.} = L_{m.o.} \cdot c \cdot t_{p.з} =$ $= 20000 \cdot 1,2 \cdot 25 = 600000$
$Q_{\partial} = L_{\partial} \cdot c \cdot t_{\partial} = 30000 \cdot 1,2 \cdot 19 =$ $= 615000$	$Q_{yx} = L_{yx} \cdot c \cdot t_{yx} = (L_{np} + 10000) \cdot 1,2 \cdot 28,6$ $= 34,32 \cdot L_{np} + 343200$
$Q_{np.} = L_{np} \cdot c \cdot t_{np} = L_{np} \cdot 1,2 \cdot 21$	
ИТОГО: $1227000 + L_{np} \cdot 25,2$	$34,32 L_{np} + 943200$

Приравняв левую и правую части, находим

$$L_{np.} = \frac{283800}{9,12} = 31120 \text{ м}^3 / \text{ч} \quad ; \quad L_{yx} = 31120 + 10000 = 41120 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Таким образом, в теплый период из верхней зоны будет удаляться 41120 м³/ч воздуха. Приток в количестве 31120 м³/ч будет поступать через открытые нижние фрамуги окон естественным путем. Местные отсосы удаляют $L_{mo} = 20000$ м³/ч, за счет воздушного душирования поступает $L_{\partial} = 30000$ м³/ч.

Переходный период.

Исходные данные: избытки явной теплоты $\Sigma Q_{изб} = 120000$ Вт, $t_{p.з} = 17$ °С, $t_{np} = 9$ °С, $t_{\partial} = 20$ °С, $K_t = 1,9$ (таблица 1).

Температура воздуха, удаляемого из верхней зоны в переходный период

$$t_{yx} = t_{np} + K_t (t_{p.з.} - t_{np}) = 9 + 1,9 \cdot (17 - 9) = 24,2$$
 °С .

Составим уравнение воздушного баланса.

$$L_{np} + L_{\partial} = L_{m.o.} + L_{yx},$$

$$L_{np} + 30000. = 20000 + L_{yx},$$

$$L_{yx} = L_{np} + 10000 .$$

Для нахождения L_{np} , м³/ч, составим уравнение тепловоздушного баланса.

Теплоизбытки и содержание теплоты в приточном воздухе, кДж/ч	Теплодефициты и содержание теплоты в удаляемом воздухе, кДж/ч
$\Sigma Q_{изб} = 120000 \cdot 3,6 = 432000$	$Q_{м.о} = L_{м.о} \cdot c \cdot t_{p.з} =$ $= 20000 \cdot 1,2 \cdot 17 = 368000$
$Q_{д.} = 30000 \cdot 1,2 \cdot 20 = 720000$	$Q_{yx} = (L_{np} + 10000) \cdot 1,2 \cdot 24,2 =$ $= 29 \cdot L_{np} + 290000$
$Q_{np.} = L_{np} \cdot c \cdot t_{np} = L_{np} \cdot 10,8$	
ИТОГО: $1152000 + L_{np} \cdot 10,8$	$658000 + 29 \cdot L_{np}$

$$L_{np.} = \frac{494000}{18,2} = 27140 \text{ м}^3 / \text{ч} ;$$

$$L_{yx} = 27140 + 10000 = 37140 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Производительность приточной установки $L_{np} = 27140 \text{ м}^3 / \text{ч}$.

Из верхней зоны крышными вентиляторами удалены $L_{yx} = 37140 \text{ м}^3 / \text{ч}$.

Холодный период.

Исходные данные: Избытки явной теплоты при отключенной системе дежурного отопления $\Sigma Q_{изб} = 80000 \text{ Вт}$, $t_{д} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{p.з} = 17 \text{ }^\circ\text{C}$, L_{np} принимаем по переходному периоду $L_{np} = 27140 \text{ м}^3 / \text{ч}$, $L_{д} = 30000 \text{ м}^3 / \text{ч}$, $L_{yx} = 37140 \text{ м}^3 / \text{ч}$, $L_{м.о} = 20000 \text{ м}^3 / \text{ч}$. Температуру приточного воздуха t_{np} найдем из уравнения тепловоздушного баланса. При наличии теплоизбытков температура воздуха, удаляемого из верхней зоны можно принимать по переходному периоду $t_{yx} = 24,2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Уравнение тепловоздушного баланса.

Теплоизбытки и содержание теплоты в приточном воздухе, кДж/ч	Теплодефициты и содержание теплоты в удаляемом воздухе, кДж/ч
--	---

$\Sigma Q_{изб} = 80000 \cdot 3,6 = 288000$	$Q_{м.о} = L_{м.о} \cdot c \cdot t_{p.з} =$ $= 20000 \cdot 1,2 \cdot 17 = 368000$
$Q_{д.} = L_{д.} \cdot c \cdot t_{д} = 30000 \cdot 1,2 \cdot 20 =$ $= 720000$	$Q_{yx} = L_{yx} \cdot c \cdot t_{yx} =$ $= 37140 \cdot 1,2 \cdot 24,2 = 1078550$
$Q_{np.} = L_{np.} \cdot c \cdot t_{np} = 27140 \cdot 1,2 \cdot t_{np}$	
ИТОГО: $32568 \cdot t_{np} + 1008000$	1446550

$$t_{np} = \frac{1446550 - 1008000}{32568} = 13,5^{\circ}\text{C}.$$

Расход теплоты на калориферы приточной установки

$$Q_{к} = 27140 \cdot 1,2 \cdot (13,5 + 25) = 1253870 \text{ кДж/ч.}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.04.05-91 Отопление, вентиляция и кондиционирование. М., 1992. — 65 с.
2. Пособие 1-91 к СНиП 2.04.05-91. Расчет и распределение приточного воздуха. М., 1993. — 48 с.
3. СНБ 2.04.02-2000 Строительная климатология. Мн., 2001 — 38 с.
4. СНиП 2.08.02-89. Общественные здания и сооружения. М., 1991. — 40 с.
5. СНБ 2.04.05-98 Естественное и искусственное освещение. Мн., 1998 — 58 с.
6. Справочник проектировщика. Часть 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Книга 1, 2 / Под ред. Н.Н.Павлова и Ю.И.Шиллера. М., 1992 — 416 с.
7. Пилюшенко В.П. Расчет воздухораспределения. Методические указания по выполнению курсовых проектов по дисциплине «Вентиляция». Минск, 2001. — 38 с.
8. Хрусталева Б.М., Пилюшенко В.П. Вентиляция. Минск, 1997. — 167 с.
9. Хрусталева Б.М., Копко В.М., Пилюшенко В.П. и др. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование. Под ред. Б.М.Хрусталева. Минск, 1997.— 383 с.
10. Богословский В.Н. Отопление и вентиляция. ч.2. Вентиляция. Под ред. В.Н.Богословского. М., 1976. — 439 с.
11. Сазонов Э.В. Вентиляция общественных зданий. Воронеж, 1991. — 188 с.
12. Волков О.Д. Проектирование промышленной вентиляции. Харьков, 1989. — 239 с.
13. Торговников Б.М. и др. Проектирование промышленной вентиляции: справочник.- Киев: Будівельник, 1983. —256 с.
14. ВСН 01-89. Предприятия по обслуживанию автомобилей. Нормы проектирования., М., 1990. — 46 с.