

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

КАФЕДРА ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для курсового проектирования
на тему
**«РАСЧЕТ ВОЗДУХООБМЕНА
ОБЩЕСТВЕННЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ»**
по дисциплине «Вентиляция»

*для студентов специальности
1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана
воздушного бассейна» для всех форм обучения,
слушателей ИПКиП специальности
1-70 04 71 «Теплогазоснабжение, вентиляция
и охрана воздушного бассейна»*

Брест 2023

УДК 697.911 (075.8)

Настоящие методические указания для выполнения разделов курсовых проектов по вентиляции общественных и промышленных зданий, связанных с расчетом воздухообмена, составлены в соответствии с программой курса «Вентиляция» для студентов специальности 1–70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» всех форм обучения, слушателей ИПКиП специальности 1–70 04 71 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна».

В работе использованы действующие нормативные документы, изложены объем работы и последовательность выполнения и примеры расчетов.

Составители: С. Р. Сальникова, старший преподаватель,
Е. В. Ключева, старший преподаватель,
Н. Н. Шпендик, доцент.

Рецензент: эксперт отдела экспертизы инженерного обеспечения управления
экспертизы проектно-сметной документации дочернего
республиканского унитарного предприятия «Госстройэкспертиза
по Брестской области» Ю. Н. НОВИК

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Понятие о воздухообмене, расчет и выбор	4
1.1 Законы сохранения массы воздуха, тепловой энергии и массы вредных веществ	5
1.2 Расчет расхода и температуры приточного воздуха	5
2 Расчет воздухообмена помещений общественных зданий	9
3 Пример расчета воздухообмена помещения общественного здания (конференц-зал)	12
4 Расчет воздухообмена промышленных зданий	16
4.1 Расчет количества воздуха, удаляемого местными отсосами.....	22
4.2 Расчет количества воздуха, удаляемого общеобменной вентиляцией	23
4.3 Воздушные души	24
4.4 Воздушные завесы.....	24
4.5 Баланс воздухообменов.....	24
5 Примеры расчета воздухообмена промышленных зданий	25
5.1 Участок технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей	25
5.2 Деревообрабатывающий цех	30
5.3 Кузнечно-прессовый цех.....	32
5.4 Цех ремонтно-механический.....	34
5.5 Цех механический. Сварочное отделение.....	35
Литература	39

1 Понятие о воздухообмене, расчет и выбор

Под воздухообменом подразумевают такое количество вентиляционного воздуха, которое обеспечивает в помещении нормальное метеорологическое и санитарно-гигиеническое состояние воздушной среды для людей и технологии производства, т. е. это 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.

По своему характеру вредные выделения в помещениях могут быть различными. Так, избытки теплоты более интенсивны в теплый и переходный периоды года, в холодное же время количество их значительно уменьшается. Такие вредные вещества, как пыль, пары и газы, могут поступать в помещения непрерывно и относительно в постоянном количестве или же периодически по мере выполнения тех или иных производственных операций. 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.

В помещении воздухообмен создают за счет использования гравитационных сил, сил ветра или применением механических общеобменных и местных систем вентиляции.

Одной из важнейших задач при проектировании системы вентиляции является определение минимального воздухообмена, при котором может быть достигнут требуемый результат. Этот минимально требуемый воздухообмен обычно называют *требуемым воздухообменом*.

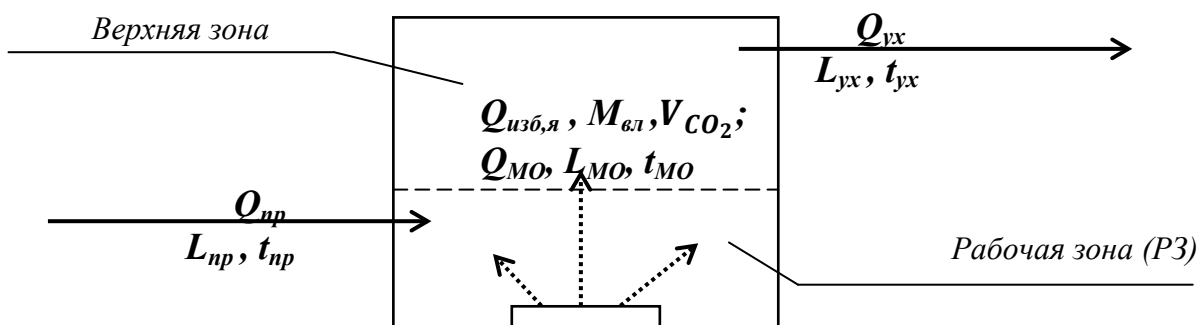


Рисунок 1 – Схема организации воздухообмена в помещении

Для расчета требуемого воздухообмена необходимо знать лишь условия в помещении и на его границе: параметры воздуха при выпуске его в помещение, внутри помещения и при удалении его из помещения, а также количество

выделяющихся вредностей. Параметры наружного воздуха и на отдельных стадиях обработки его в приточной камере не принципиальны – при расчете требуемого воздухообмена рассматривается исключительно само помещение.

При расчете требуемого воздухообмена предполагается стационарный режим вентиляции, при котором все выделяющиеся вредности удаляются из помещения вместе с удаляемым воздухом. При этом не происходит накапливания вредностей в помещении, и значения концентраций вредностей и температур имеют постоянное значение, не изменяющееся во времени [9].

1.1 Законы сохранения массы воздуха, тепловой энергии и массы вредных веществ

$$G = G_{м.о} + G_{ух}; \quad (1.1)$$

$$\Sigma Q_{изб} + Q_{пр} = Q_{м.о} + Q_{ух}; \quad (1.2)$$

$$m_i + m_{пр} = m_{м.о} + m_{ух}, \quad (1.3)$$

где G – расход приточного воздуха, кг/ч;

$G_{м.о}$ – расход воздуха удаляемого местными отсосами, кг/ч;

$G_{ух}$ – расход воздуха удаляемого общеобменной вентиляцией, кг/ч;

$\Sigma Q_{изб}$ – избытки явной теплоты, Вт;

$Q_{пр}$ – тепловой поток, поступающий в помещение с приточным воздухом, Вт;

$Q_{м.о}$ – тепловой поток, удаляемый местными отсосами, Вт;

$Q_{ух}$ – тепловой поток, удаляемый общеобменной вентиляцией, Вт;

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

Избытки явной теплоты $Q_{изб}$ – остаточные количества явной теплоты (за вычетом теплопотерь), поступающие в помещение при расчетных параметрах наружного и внутреннего воздуха.

Совместное решение уравнений (1.1)...(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. 7.4 и приложением Н [1].

1.2 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 (п. 5 [1]);
- б) норм взрывопожарной безопасности [1].

2. Расход воздуха следует определять отдельно для теплого и холодного периодов года и переходных условий, принимая большую из величин, полученных по формулам (1.4)...(1.10), (при плотности приточного и удаляемого воздуха, равной 1,2 кг/м³):

а) по избыткам явной теплоты:

$$L = L_{\text{м.о.}} + \frac{3,6 \cdot \sum Q_{\text{изб}} - c \cdot L_{\text{м.о.}} \cdot (t_{\text{р.з.}} - t_{\text{пр}})}{c \cdot (t_{\text{ух}} - t_{\text{пр}})}. \quad (1.4)$$

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:

$$L = L_{\text{м.о.}} + \frac{m_i - c \cdot L_{\text{м.о.}} \cdot (q_{\text{м.о.}} - q_{\text{пр}})}{c \cdot (q_{\text{ух}} - q_{\text{пр}})}. \quad (1.5)$$

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):

$$L = L_{\text{м.о.}} + \frac{M - 1,2 \cdot L_{\text{м.о.}} \cdot (d_{\text{р.з.}} - d_{\text{пр}})}{1,2 \cdot (d_{\text{ух}} - d_{\text{пр}})}. \quad (1.6)$$

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

г) по избыткам полной теплоты:

$$L = L_{\text{м.о.}} + \frac{3,6 \cdot \sum Q_{\text{полн}} - c \cdot L_{\text{м.о.}} \cdot (I_{\text{р.з.}} - I_{\text{пр}})}{c \cdot (I_{\text{ух}} - I_{\text{пр}})}; \quad (1.7)$$

д) по нормируемой кратности воздухообмена:

$$L = V_n n; \quad (1.8)$$

е) по нормируемому удельному расходу приточного воздуха:

$$L = F k ; \quad (1.9)$$

$$L = N m , \quad (1.10)$$

где $L_{м.о}$ – расход воздуха, удаляемого из обслуживаемой или рабочей зоны помещения системами местных отсосов, и на технологические нужды, м³/ч;

$\Sigma Q_{изб.}$ – избыточный явный тепловой потоки в помещение, Вт;

$\Sigma Q_{полн}$ – избыточный полный тепловой потоки в помещение, Вт;

c – теплоемкость воздуха, равная 1,2 кДж/(м³·°С);

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

$t_{ух}$ – температура воздуха, удаляемого из помещения за пределами обслуживаемой или рабочей зоны, °С;

t_{np} – температура воздуха, подаваемого в помещение, °С;

M – избытки влаги в помещении, г/ч;

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

$d_{ух}$ – влагосодержание воздуха, удаляемого из помещения за пределами обслуживаемой или рабочей зоны, г/кг;

d_{np} – влагосодержание воздуха, подаваемого в помещение, г/кг;

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

$I_{ух}$ – удельная энтальпия воздуха, удаляемого из помещения за пределами обслуживаемой или рабочей зоны, кДж/кг;

I_{np} – удельная энтальпия воздуха, подаваемого в помещение, кДж/кг;

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

$q_{м.о}$ – концентрация вредного или взрывоопасного вещества в воздухе, удаляемом из обслуживаемой или рабочей зоны помещения, мг/м³;

$q_{ух}$ – концентрация вредного или взрывоопасного вещества в воздухе, удаляемом за пределами обслуживаемой или рабочей зоны помещения, 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 $V_n = 6 \cdot F$;

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 человека в 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 (1.5).

При этом в формуле (1.5) $q_{м.о}$ и q_{yx} следует заменить на $0,1 \cdot q_g$, 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

$$L_{возд.от} = L_{м.о.} + \frac{3,6 \cdot Q_{м.н} - c \cdot L_{м.о.}}{c \cdot (t_{np} - t_{p.з})}, \quad (1.11)$$

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 (1.4)...(1.7), определяется исходя из того, что параметры воздуха, удаляемого из помещения, равны:

– температура, °С

$$t_{yx} = t_{np} + K_t (t_{p.з} - t_{np}); \quad (1.12)$$

– влагосодержание, г/кг

$$d_{yx} = d_{np} + K_d (d_{p.з} - d_{np}); \quad (1.13)$$

– концентрация вредных веществ, мг/м³

$$q_{yx} = q_{np} + K_q (ПДК - q_{np}). \quad (1.14)$$

Коэффициенты воздухообмена K_b , K_d , K_q следует принимать по нормативным документам для конкретных производств, по экспериментальным данным натуральных или лабораторных исследований, находить расчетным путем (таблицы 4.1–4.3) [7].

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:

$$t_{yx} = t_{np} + \frac{t_{p.z} - t_{np}}{m}; \quad (1.15)$$

$$t_{yx} = t_{p.z} + \beta (H_n - H_{p.z}), \quad (1.16)$$

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_n – высота помещения, м;

$H_{p.z}$ – высота рабочей зоны в помещении: $H_{p.z} = 2$ м (люди стоят); $H_{p.z} = 1,5$ м (для дошкольных учреждений и для помещений, в которых люди работают сидя).

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 удаления воздуха из рабочей зоны в этих помещениях нет. Уравнения (1.4), (1.5), (1.6) для определения расхода приточного воздуха, м³/ч, в помещениях общественных зданий упрощаются [9]:

а) по избыткам явной теплоты

$$L = \frac{3,6 \cdot \sum Q_{изб}}{c \cdot (t_{yx} - t_{np})}; \quad (2.1)$$

б) по массе выделяющихся вредных или взрывоопасных веществ

$$L = \frac{m_i}{q_{yx} - q_{np}}; \quad (2.2)$$

в) по избыткам влаги (водяного пара)

$$L = \frac{M}{1,2 \cdot (d_{yx} - d_{np})}; \quad (2.3)$$

где m_i – избытки углекислого газа, выделяемого от людей, находящихся в помещении, л/ч. Определяется по таблице 2.1 и умножается на количество людей [9,13];

q_{yx} – содержание CO₂ в воздухе, удаляемом из помещения, л/м³; (q_{yx} – представляет собой предельно-допустимую концентрацию (ПДК) CO₂ в воздухе помещения) (таблица 2.2);

q_{np} – содержание CO₂ в приточном воздухе, л/м³, (таблица 2.2).

Таблица 2.1 – Выделения человеком (мужчиной) углекислого газа CO_2 m_i , г/ч, влаги M г/ч, явной Q и полной теплоты $Q_{полн.}$, Вт [9,10,13]

Температура окружающего воздуха, °С	Выделения	Категория работы			
		Покой	Легкая	Средней тяжести	Тяжелая
10	m_i , г/ч	40	45	60	90
	Q , Вт	140	150	165	200
	$Q_{полн.}$, Вт	165	180	215	290
15	M , г/ч	30	40	70	135
	Q , Вт	120	120	135	165
	$Q_{полн.}$, Вт	145	160	210	290
20	M , г/ч	30	55	110	185
	Q , Вт	90	100	105	130
	$Q_{полн.}$, Вт	120	150	205	290
25	M , г/ч	40	75	140	240
	Q , Вт	60	65	70	95
	$Q_{полн.}$, Вт	95	145	200	290
30	M , г/ч	60	115	185	295
	Q , Вт	40	40	40	50
	$Q_{полн.}$, Вт	95	145	200	290
30	M , г/ч	75	150	230	355

Примечание – для женщин в расчетах вводится коэффициент $k = 0,85$, для детей – $k = 0,75$ на все выделения

Таблица 2.2 – Содержание CO_2 во внутреннем $q_{вх}$ и наружном воздухе $q_{пр}$ [9]

Наименование	$q_{вх}$ – (ПДК CO_2)	
	л/м ³	г/м ³
В местах постоянного пребывания людей (жилые комнаты)	1,0	1,8
В местах периодического пребывания людей (учреждения)	1,25	2,3
То же, кратковременного пребывания	2,0	3,0
В детских комнатах и больницах	0,7	1,16
Месторасположение здания	$q_{пр}$ (содержание в приточном воздухе)	
	л/м ³	г/м ³
В сельской местности	0,33	0,6
В малых городах	0,4	0,73
В больших городах	0,5	0,91

Температура воздуха, удаляемого из верхней зоны помещения, определяется по формуле (1.16). Градиент температур β выбирают по таблице 2.3, в зависимости от удельных избытков явной теплоты в помещении $q_{явн.}$, Вт/м³ [10].

Таблица 2.3 – Градиент температур

Удельные избытки явной теплоты, Вт/м ³	более 23	11,5-23	менее 11,5
Градиент β , °С/м	0,8-1,5	0,3-1,2	0-0,5

Примечание – меньшие значения принимаются в холодный период, большие – в теплый период

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 $t_n = 8$ °С [1]. Считается, что в этот период системы вентиляции не потребляют ни тепла, ни холода, а температура приточного воздуха определяется 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:

$$t_{np} = 8 + 0,001 \cdot 1000 = 9$$
 °С.

При температуре приточного воздуха $t_{np} = 9$ °С, как показывает опыт проектирования вентиляции общественных зданий, сложно обеспечить нормируемые параметры воздуха в рабочей зоне помещения. На стадии расчета воздухораспределения для соблюдения допустимого отклонения температуры воздуха в приточной струе от нормируемой температуры воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне необходимо увеличить температуру воздуха на выходе их воздухораспределителя. Таким образом, ориентировочно (при выполнении курсового проекта) для общественных зданий t_{np} можно принимать 11...13 °С [9]. В дальнейшем значение t_{np} может быть уточнено с последующим пересчетом воздухообмена по результатам проверки параметров приточной струи на входе ее в обслуживаемую зону помещения. 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, потребных для разбавления каждого вещества в отдельности.

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 проек-

тирования вентиляции встречаются разнообразные варианты принятого воздухообмена.

Если открывание окон и проветривание помещения не допускается или окна отсутствуют (чистые помещения, здание расположено в загрязненном районе), принимается больший из полученных расчетом воздухообменов для холодного, теплого периодов года и переходных условий.

В большинстве промышленных и общественных зданий в теплый период года допускается возможность проветривания (аэрации) помещений. 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 общественного здания (конференц-зал)

Определить воздухообмен для разбавления явной избыточной теплоты, влаги и углекислого газа в конференц-зале на 80 мест, находящемся в административном корпусе. Здание находится в г. Минске. Теплопоступление за счет солнечной радиации $Q_{p.} = 2000$ Вт. Зал 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.

Температуру воздуха в конференц-зале в теплый период года принимаем на $3 \text{ }^\circ\text{C}$ выше, чем t_H^A , $t_{p.3} = 21,2 + 3 = 24,2 \text{ }^\circ\text{C}$, относительная влажность внутреннего воздуха $\varphi_v \leq 65\%$ [1, 15].

В холодный и переходный периоды $t_e = 18 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi_e = 60 \%$.

Таблица 3.1 – Расчетные параметры наружного воздуха для трех периодов года

Для г. Минска Параметры наружного воздуха	Периоды года		
	Тёплый	Холодный	Переходные условия
Температура наружного воздуха t_n , $^\circ\text{C}$	$t_H^A = 21,2$	$t_H^B = -24$	$t_H = 8$
Энтальпия наружного воздуха I_n , кДж/кг	$I_H^A = 49.8$	$I_H^B = -24.3$	$I_H = 22.5$

Таблица 3.2 – Расчетные параметры внутреннего воздуха для трех периодов года

Допустимые параметры внутреннего воздуха	Периоды года		
	Тёплый	Холодный	Переходные условия
Температура внутреннего воздуха $t_{p,з}$, °C	24,2	18	18
Относительная влажность внутреннего воздуха $\phi_{в}$, %	≤ 65	≤ 60	≤ 60

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

Теплый период

В этот период теплота поступает от людей и солнечной радиации. Теплопоступления от одного человека в состоянии покоя при $t_g = 24,2$ °C, $q_{яв.} = 66$ Вт [7]. Тогда от 80 человек:

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

Суммарные теплопоступления в теплый период года:

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

Влаговыделение одним человеком в состоянии покоя при $t_g = 24,2$ °C $m = 48$ г/ч [7], всего от 80 человек:

$$M = 48 \cdot 80 = 3840 \text{ г/ч.}$$

Выделение углекислого газа (CO₂) человеком в состоянии покоя $q = 40$ г/ч [13], тогда от 80 человек:

$$m_{CO_2} = 40 \cdot 80 = 3200 \text{ г/ч.}$$

Холодный и переходный периоды

В эти периоды теплота в помещение поступает от людей и освещения. При $t_g = 18$ °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 [6];

F – площадь помещения, $F = 110$ м².

Для люминесцентных источников прямого света $q_{осв.} = 0,074 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ лк})$, для подвешенных светильников $\eta_{осв} = 1$ [6, 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 $t_g = 18 \text{ }^\circ\text{C}$, $m = 36 \text{ г/ч}$ [7], 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 (2.1) воздухообмен L , $\text{м}^3/\text{ч}$, для разбавления избыточной теплоты в теплый период:

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

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

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

Воздухообмен для разбавления избыточной влаги L , $\text{м}^3/\text{ч}$, (формула 2.3)

$$L = \frac{M_{вл}}{\rho \cdot (d_{p.з} - d_{np})'}$$

где $d_{p.з.}$ и $d_{np.}$ с.в. г/кг определяем по I-d диаграмме.

Для теплого периода:

при $t_g = 24,2 \text{ }^\circ\text{C}$ и $\varphi_g = 65 \%$ $d_{p.з.} = 12,8 \text{ г/кг с. в.}$;

при $t_H^A = 21,2 \text{ }^\circ\text{C}$ и $I_H = 49,8 \text{ кДж/кг}$; $d_{np.} = 10,1 \text{ г/кг с. в.}$

Для переходного периода

при $t_g = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ и $\varphi_g = 60 \%$ $d_{p.з.} = 8 \text{ г/кг с. в.}$;

при $t_H = 8 \text{ }^\circ\text{C}$ и $I_H = 22,5 \text{ кДж/кг}$; $d_{np.} = 4,5 \text{ г/кг с. в.}$

Для холодного периода:

при $t_g = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ и $\varphi_g = 60 \%$ $d_{p.з.} = 8 \text{ г/кг с. в.}$;

при $t_H^B = -24 \text{ }^\circ\text{C}$ и $I_H = -24,3 \text{ кДж/кг}$; $d_{np.} = 0,8 \text{ г/кг с.в.}$

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} , $\text{м}^3/\text{ч}$, для разбавления углекислого газа (2.2):

$$L = \frac{m_{CO_2}}{q_{yx} - q_{np}}.$$

Для помещений с кратковременным пребыванием людей:

$$q_{yx} = q_{p.z.} = 3,7 \text{ г}/\text{м}^3;$$

для крупных городов $q_{np.} = 0,91 \text{ г}/\text{м}^3$ [11].

Для любого периода года воздухообмен для разбавления углекислого газа:

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

Таблица 3.2 – Результаты расчета воздухообменов

Воздухообмен, $\text{м}^3/\text{ч}$	Периоды года		
	Тёплый	Переходные условия	Холодный
Теплота	7280	5870	5870
Влага	1190	690	330
CO ₂	1150	1150	1150

Анализ данной таблицы показывает, что наибольший воздухообмен получается для разбавления избыточной теплоты в теплый период года – $7280 \text{ м}^3/\text{ч}$.

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 CO₂. Например, пусть для разбавления CO₂ требуется $L = 6500 \text{ м}^3/\text{ч}$. Из формулы (2.1) при

известном $\sum Q_{изб}^{яв} = 9790$ Вт (переходный и холодный периоды), $t_{yx} = t_{p.з.} = 18$ °С, необходимо пересчитать температуру приточного воздуха:

$$t_{np} = t_{p.з.} - \frac{3,6 \cdot \sum Q_{изб}}{c \cdot \rho \cdot L_{co_2}} = 18 - \frac{3,6 \cdot 9790}{1 \cdot 1,2 \cdot 6500} = 13,5 \text{ °С},$$

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.

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

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

$$L = n \cdot V,$$

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 приложении Е [5].

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 [9].

4 Расчет воздухообмена промышленных зданий

Воздухообмен производственных помещений 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.

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

При выборе схемы организации воздухообмена следует руководствоваться требованиями строительных норм [1], а также действующими ведомственными нормами и рекомендациями.

Подача воздуха в производственные помещения осуществляется в соответствии с требованиями п. 7.5 [1] и рекомендуется в рабочую зону.

Удаление воздуха из помещений следует предусматривать из наиболее загрязненных зон или там, где воздух имеет наибольшую температуру и энтальпию [1].

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 (1.4)...(1.10).

Расход приточного воздуха L , м³/ч, для ассимиляции избыточной явной теплоты определяют по формуле (1.4) с учетом того, что $t_{м.о} = t_{р.з}$.

Температура уходящего воздуха t_{yx} , °С определяется из выражений (1.12), (1.15), (1.16).

Значения коэффициента воздухообмена K_i ; симплекса m , температурного градиента β на основании данных [12, 13] приведены в таблицах 4.1...4.5.

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

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 приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Значение коэффициентов воздухообмена K_t и K_q для помещений со значительными избытками теплоты

Помещения с избытками теплоты (явной) более 23 Вт/м ³	K_t	K_q
Кузнечно-прессовые, печные пролеты сталеплавильных, рельсо-прокатных 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 4.2 – 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
Наклонными 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 4.3 – Расчетные значения коэффициента K_t

Способ подачи воздуха	Место удаления воздуха общеобменной вентиляцией	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	то же	1	1
		0,7	1,2
		0,5	1,3
То же, более 4 м	то же	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

Таблица 4.4 – Значения коэффициента m [12]

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
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 производства	0,5

Продолжение таблицы 4.4

1	2
Цехи литья по выплавляемым моделям	
отделения приготовления моделей	0,6
отделение выплавки моделей, проковки форм, заливки	0,5
отделение приготовления наполнительных смесей, формовки и выбивки стержней	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, механосборочные	0,7
Токарно-шлифовальные отделения	0,7
Отделение координатно-расточных станков	0,8
Отделение производства редукторов газовых турбин	0,8
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 t даны для схемы вентиляции снизу вверх.
2. При струйной (сосредоточенной) подаче воздуха в верхнюю зону помещений, значение коэффициента t рекомендуется принимать равным 0,8 для всех цехов и отделений.

Таблица 4.5 – 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 строительных норм [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 [7, 9].

При определении расхода наружного воздуха для вентиляции с целью ассимиляции избытков явной теплоты в помещении при переходных условиях температуру приточного воздуха определяют $t_{np.} = t_n + 1$ °С. Температура наружного воздуха для переходного периода принимаем по [3]. При $t_n = 8$ °С, температура приточного воздуха принимают равной $t_{np.} = 8 + 1 = 9$ °С.

Однако необходимо произвести расчет подачи струи (воздухораспределение) по существующим методикам [8, 9] 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 В [1]):

— при ассимиляции избытков теплоты в помещении

$$\Delta t = t_{p.z} - t_{np} = 2 \text{ } ^\circ\text{C};$$

— при восполнении недостатков теплоты в помещении

$$\Delta t = t_{p.z} - t_{np} = -5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Расход приточного воздуха при ассимиляции вредных газов и паров L , м³/ч определяется по формуле (1.5).

Концентрация вредных веществ в воздухе, уходящем из помещения q_{yx} , мг/м³, находится по формуле (1.14).

Коэффициент воздухообмена для вредных веществ K_q приведен в таблицах 4.1, 4.2.

При определении воздухообмена по формулам (1.4) и (1.5) 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

$$L_{np} = L_{м.о} + L_{yx}.$$

Расход уходящего воздуха L_{yx} , м³/ч, в помещениях с выделением вредных или горючих газов должен быть не менее однократного воздухообмена в час [9]

$$L_{yx} = V_n, \quad (4.1)$$

а для помещений высотой более 6 м

$$L_{yx} = 6 \cdot F, \quad (4.2)$$

где F – площадь помещения, м²;
 V_n – объем помещения, м³.

Зная расход приточного воздуха, необходимо уточнить его температуру, °С, из формулы (1.4)

$$t_{np} = \frac{L_{м.о} \cdot c \cdot t_{п.з.} + L_{yx} \cdot c \cdot t_{yx} - 3,6 \cdot \sum Q_{изб}}{c \cdot L_{np}}. \quad (4.3)$$

При одновременном поступлении в воздух помещения теплоты, вредных веществ следует принимать большую из величин полученных по формулам (1.4), (1.5). 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.

4.1 Расчет количества воздуха, удаляемого местными отсосами

В процессе изучения технологического проекта уточняется оборудование, снабжаемое местными отсосами (сплошными укрытиями, шкафами, зонтами, панелями, бортовыми отсосами, окрасочными камерами, кожухами и т. д.). Количество воздуха, удаляемое местными отсосами, зависит от его конструкции, размеров и характера вредностей. Поэтому перед расчетом следует наметить конструкцию и габаритные размеры местного отсоса. При этом необходимо применять рекомендованные конструкции, приведенные в специальной литературе. Общие принципы проектирования местных отсосов изложены в следующей литературе: раздел 2.2.3 [9], глава 4 [12], раздел 5 [13].

Требуемые количества воздуха определяются на основании: нормативных данных; по скорости всасывания в отверстиях приемника, укрытия; по кратности

воздухообмена в укрытии; по объему воздуха, подтекающего с конвективной струей вредностей и т. д.

Расчеты выполняются подробно с написанием расчетной формулы и значений величин, входящих в формулу. Для некоторых видов технологического оборудования в литературе, специализированной по видам производства, приведены практические данные о количестве отсасываемого вентиляционного воздуха.

Ниже приведена литература, которой рекомендуется пользоваться при проектировании различных местных отсосов.

Вытяжные зонты: стр. 88 [12]; стр. 78 [13].

Зонты-козырьки у проемов промышленных печей: стр. 97 [9]; стр. 93 [12].

Вытяжные зонты для кузнечных горнов: стр. 90 [12]; стр. 79 [13].

Панели равномерного всасывания: стр. 97 [12]; стр. 85 [13].

Бортовые и кольцевые отсосы: стр. 94 [9]; стр. 99 [12]; стр. 80 [13].

Вытяжные шкафы: стр. 98 [9]; стр. 84 [12]; стр. 76 [13].

Активированные местные отсосы: стр. 108 [12]; стр. 86 [13].

Кожухи-воздухоприемники для станков: абразивных, полировальных, металлообрабатывающих, для обработки хрупких материалов: стр. 93 [9]; стр. 130 [12]; стр. 77 [13]. При сварочных работах стр. 113 [12]; при окрасочных работах: стр. 115 [12].

Укрытия пылящего оборудования: стр. 74 [13].

Местные отсосы от деревообрабатывающих станков: стр. 135 [13].

Результаты расчетов сводятся в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Местные отсосы от технологического оборудования

Характеристика местного отсоса		Производительность вытяжки, м ³ /ч		Обозначение системы
оборудование	местный отсос	на единицу оборудования	всего	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
				В 1
Суммарная производительность:				

4.2 Расчет количества воздуха, удаляемого общеобменной вентиляцией

Общеобменная вентиляция устраивается в случае невозможности удаления вредностей при помощи местных отсосов, а также в дополнение к местным отсосам для разбавления поступающих в помещение вредностей до допустимых пределов. Общие указания по организации воздухообменов приведены в справочнике раздел 6.1 [13]. Рекомендуемые дополнительно к местным отсосам кратности общеобменной вентиляции, в зависимости от вида производства, приведены в литературе [13].

Следует стремиться организовать общеобменную вентиляцию так, чтобы воздух удалялся из зоны с максимальной концентрацией вредностей.

Для цехов с избыточным тепловыделением значения коэффициента *m* приведено в таблице 5.2 [12]. Расчет общеобменной вентиляции при избыточных

тепловыделениях необходимо производить для теплого, переходного и холодного периодов года. В тех случаях, когда естественный приток в холодный период недопустим, количество вентиляционного воздуха, подаваемого механической вентиляцией, определяется по переходному периоду.

При газовых вредностях количество вентиляционного воздуха определяется по расчету на разбавление вырывающихся газов и паров до предельно допустимой концентрации, а также по практическим данным. Предельно-допустимые концентрации вредностей указаны в [15].

Из приведенных выше сведений следует, что расчет воздухообменов можно произвести только после того, как решена схема вентиляции данного помещения. В связи с этим рекомендуется предварительно нанести на планах и разрезах в эскизном виде основные решения: воздуховоды с вытяжными и приточными отверстиями в них; вытяжные шахты, дефлекторы; крышные вентиляторы; фонари; открывающиеся створки оконных проемов и т. д. Одновременно с этим решается местная приточная вентиляция при помощи воздушных душей, а также воздушные завесы у наружных ворот и проемов.

4.3 Воздушные души

При решении вопроса об устройстве воздушных душей в производственных помещениях необходимо руководствоваться требованиями норм п. 7.9 [1]. Требуемая для расчета интенсивность теплового облучения на рабочих местах принимается по таблице 4.7 [13]. Расчет воздушных душей производится по методу П. В. Участкина. Этот метод позволяет получить наиболее экономичное решение. В ряде случаев целесообразно применять воздушное душирование по способу ниспадающего потока. Расчет воздушных душей по указанному методу приведен в справочнике, раздел 4.2 [13].

4.4 Воздушные завесы

Устройство и расчет воздушных завес выполняется в соответствии с указаниями норм п. 7.7 [1], разделом 2.2.6 [9] и с разделом 4.1 [13]. По результатам расчета подбираются агрегаты унифицированных воздушно-тепловых завес и выписываются их характеристики.

4.5 Баланс воздухообменов

В результате решения схемы вентиляции, а также расчета воздухообмена, создаваемого местной и общеобменной вентиляцией, составляется вентиляционный баланс помещений. Баланс составляется для холодного, переходного и теплого периодов отдельно по каждому помещению. Величины воздухообменов составляют в кг/ч и м³/ч, которые требуются для последующих расчетов. При переводе массовых количеств воздуха в объемные следует объемную массу воздуха учитывать при действительной температуре, а не принимать во всех случаях одинаковой.

Таблица воздухообменов приведена на стр. 90 [13].

5 Примеры расчета воздухообмена промышленных зданий

5.1 Участок технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей

Необходимо произвести расчет воздухообмена в цехе технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей с карбюраторным двигателем мощностью 190 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 180 до 240 л.с. – 650 м³/ч [14], от трех автомобилей будет 1950 м³/ч.

Количество приточного и вытяжного воздуха для осмотровых канав, прямых и тоннелей принято, исходя из расчета их десятикратного воздухообмена, и составляет 1250 м³/ч.

Общее количество воздуха, удаляемого из рабочей зоны

$$L_{м.о.} = 1950 + 1250 = 3200 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

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» $t_H^A = t_{np} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$. В соответствии с приложением Г [1], для работы средней тяжести II а, температуру рабочей зоны принимаем на 4 °С выше t_{np} , т. е. $t_{p.з.} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ (допустимые параметры).

Суммарные явные теплоступления составляют $Q_{я} = 20500 \text{ Вт}$, или $Q_{я} = 20500 \cdot 3,6 = 73800 \text{ кДж/ч}$.

Объем цеха $V_n = 2500 \text{ м}^3$, высота – 7 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 4.2 принимаем $K_t = 1,2$; $K_q = 1,4$ (как для кратности 5...10). По формуле (1.4) с учетом формулы (1.12) определяем расход приточного воздуха, м³/ч:

$$L = L_{м.о.} + \frac{3,6 \cdot \Sigma Q_{изб} - c \cdot L_{м.о.} (t_{p.з.} - t_{np})}{c \cdot K_t \cdot (t_{p.з.} - t_{np})}; \quad (5.1)$$

$$L = 3200 + \frac{73800 - 1,2 \cdot 3200 \cdot (25 - 21)}{1,2 \cdot 1,2 \cdot (25 - 21)} = 13790 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Кратность воздухообмена $K = 13790/2500 = 5,4$, значит коэффициенты K_t и K_q выбраны правильно.

Переходные условия

В соответствии с [1] $t_{p.з} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$.

Температура наружного воздуха $t_n = 8 \text{ }^\circ\text{C}$, приточного $t_{np.} = 8 + 1 = 9 \text{ }^\circ\text{C}$. Избытки явной теплоты $\Sigma Q_{изб} = 13500 \text{ Вт}$ или 48600 кДж/ч , $K_t = 1,2$; $K_q = 1,4$ (подача воздуха в рабочую зону).

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 (5.1) определим расход приточного воздуха для переходного периода:

$$L = 3200 + \frac{48600 - 1,2 \cdot 3200 \cdot (18 - 9)}{1,2 \cdot 1,2 \cdot (18 - 9)} = 4280 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Воздух из верхней зоны удаляется в количестве $L_{в.з} = 4280 - 3200 = 1080 \text{ м}^3/\text{ч}$. Количество воздуха, удаляемого из рабочей зоны, составляет $L = 3200 \text{ м}^3/\text{ч}$, при этом из смотровых ям удаляется $L = 1250 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Холодный период

Температура воздуха в рабочей зоне принимается как и для переходного периода $t_{p.з} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$. Из теплового баланса, составленного с учетом работы отопления $\Sigma Q_{изб} = 3700 \text{ кДж/ч}$. В холодный период года при незначительных избытках явной теплоты (до 5 Вт/м^3) допускается принимать $t_{yx} - t_{p.з} = 0,5 - 1 \text{ }^\circ\text{C}$. Пусть в нашем случае $t_{yx} = 19 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_H^B = -24 \text{ }^\circ\text{C}$.

Производительность приточной установки рекомендуется принимать по переходному периоду $L_{np} = 4280 \text{ м}^3/\text{ч}$ [10]. Воздух из верхней зоны удаляется в количестве $L_{yx} = 4280 - 3200 = 1080 \text{ м}^3/\text{ч}$. Количество воздуха, удаляемого из рабочей зоны, составляет $L = 3200 \text{ м}^3/\text{ч}$, при этом из смотровых ям удаляется $L = 1250 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Искомой величиной является температура приточного воздуха t_{np} , которую определяем из уравнения тепловоздушного баланса. Данные тепловоздушного баланса представлены в таблице 5.1.1.

Таблица 5.1.1 – Тепловоздушный баланс

Теплоизбытки с учетом работы отопления, кДж/ч	$\Sigma Q_{изб}$	3700
Содержание теплоты в приточном воздухе, кДж/ч	$Q = L_{np} \cdot c \cdot \rho \cdot t_{np}$	$4280 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot t_{np}$
ИТОГО:	«+»	$3700 + 5136 t_{np}$
Теплодефициты, кДж/ч (при удалении воздуха из рабочей зоны)	$Q_{м.о} =$ $= L_{мо} \cdot c \cdot \rho \cdot t_{p.з}$	$3200 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 18 =$ $= 69120$
Содержание теплоты в удаляемом воздухе, кДж/ч	$Q_{yx} = L_{yx} \cdot c \cdot \rho \cdot t_{yx}$	$1080 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 19 =$ $= 24624$
ИТОГО:	«-»	93744

Тогда

$$3700 + 5136 t_{np} = 93744.$$

Решив уравнение баланса относительно t_{np} , получим:

$$t_{np} = \frac{(93744 - 3700)}{5136} = 17,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температуру приточного воздуха также можно определить по формуле (4.3)

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

$$= \frac{3200 \cdot 1,2 \cdot 18 + 1080 \cdot 1,2 \cdot 19 - 3700}{1,2 \cdot 4280} = \frac{69120 + 24624 - 3700}{5136} = 17,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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 заводка 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

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

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

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

P – массовое содержание вредностей в отработавших газах, %;

$P = 6$ % – при заводке и регулировании;

$P = 4$ % – при маневрировании, въезде и выезде [14];

τ – время работы двигателя, мин.

Выезд из помещения:

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

Въезд в помещение:

$$G = 15 \cdot (0,6 + 0,8 \cdot 6,5) \cdot \frac{4}{100} \cdot \frac{1}{60} \cdot 3 \cdot 0,4 = 0,07 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} = 70 \text{ г/ч}.$$

При въезде автомобиля на G_k вводится понижающий коэффициент 0,4 [14]. Поступление СО при регулировании двигателя с учетом работы шлангового отсоса (10 %):

$$G = 15 \cdot (0,6 + 0,8 \cdot 6,5) \cdot \frac{6}{100} \cdot \frac{8}{60} \cdot 3 \cdot 0,1 = 0,2 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} = 200 \text{ г/ч.}$$

Всего выделяется окиси углерода при одновременной работе 3-х автомобилей:

$$G = 0,170 + 0,07 + 0,2 = 0,44 \text{ кг/ч} = 440 \text{ г/ч.}$$

Воздухообмен L , $\text{м}^3/\text{ч}$, для разбавления этого количества окиси углерода определяем из формулы (1.5) с учетом формулы (1.14) и того, что $q_{м.о} = q_{р.з}$. При этом: $L_{м.о} = 3200 \text{ м}^3/\text{ч}$; $K_q = 1,4$; $q_{р.з} = 20 \text{ мг/м}^3$; $q_{нр} = 5 \text{ мг/м}^3$ [14, 15], тогда

$$L = 3200 + \frac{0,44 \cdot 10^6 - 3200 \cdot (20 - 5)}{1,4 \cdot (20 - 5)} = 21870 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Кратность воздухообмена $21870/2500 = 8,7$, коэффициенты K_t и K_q не меняются.

Как видим, воздухообмен для разбавления СО больше, чем для разбавления теплоты. Принимаем его за расчетный, т. е. $L = 21870 \text{ м}^3/\text{ч}$. Этот расход воздуха подается в рабочую зону, а удалять воздух рекомендуется [14] в равных количествах из рабочей и верхней зон, т. е. $L_{р.з} = L_{yx} = 10935 \text{ м}^3/\text{ч}$. Зная $L = 21870 \text{ м}^3/\text{ч}$, уточним температуру в рабочей зоне в теплый период. Формулу (5.1) запишем в следующем виде:

$$L = L_{м.о} + \frac{3,6 \cdot \Sigma Q_{изб} - c \cdot L_{м.о} \cdot \Delta t}{c \cdot K_t \cdot \Delta t}, \quad (5.3)$$

где $\Delta t = t_{р.з} - t_{нр}$.

Тогда

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

$$21870 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot \Delta t = 10935 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot \Delta t + 73800 - 1,2 \cdot 10935 \cdot \Delta t;$$

$$31500 \cdot \Delta t = 15750 \cdot \Delta t + 73800 - 13120 \cdot \Delta t;$$

$$\Delta t = \frac{73800}{(31500 - 15750 + 13120)} = 2,55 \approx 2,6 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t = 2,6 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Отсюда

$$t_{р.з} = t_{нр} + \Delta t = 21 + 2,6 = 23,6 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Как видим при воздухообмене $L = 21870 \text{ м}^3/\text{ч}$ в рабочей зоне будет более благоприятная температура (была принята $t_{р.з} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$).

Переходные условия

Из формулы (5.3), принимая $L = 21870 \text{ м}^3/\text{ч}$; $L_{p.з.} = 10935 \text{ м}^3/\text{ч}$; $K_t = 1,2$; $t_{p.з.} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Sigma Q_{изб} = 48600 \text{ кДж/ч}$, $\Delta t = t_{p.з.} - t_{np}$, находим:

$$\Delta t = \frac{48600}{1,2 \cdot 21870} = 1,85 \approx 2 \text{ }^\circ\text{C},$$

тогда

$$t_{np} = 18 - 2 = 16 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Холодный период

Из формулы (5.3), принимая $L = 21870 \text{ м}^3/\text{ч}$; $L_{p.з.} = 10935 \text{ м}^3/\text{ч}$; $K_t = 1,2$; $t_{p.з.} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Sigma Q_{изб} = 3700 \text{ кДж/ч}$, $\Delta t = t_{p.з.} - t_{np}$, находим:

$$\Delta t = \frac{3700}{1,2 \cdot 21870} = 0,14 \approx 0,1 \text{ }^\circ\text{C},$$

тогда

$$t_{np} = 18 - 0,1 \approx 17,9 \text{ }^\circ\text{C} \approx 18 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Дополнительного вентилирования верхней зоны не требуется, т. к. удаляется оттуда $L_{yx} = 10935 \text{ м}^3/\text{ч}$ – 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 – 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 ($t_n = t_n^B = -24 \text{ }^\circ\text{C}$);

$$Q_k = 21870 \cdot 1,2 \cdot 1 (18 + 24) = 1\,102\,250 \text{ кДж/ч}.$$

Система вентиляции участка ТООИТР работает следующим образом. В летнее и зимнее время удаление воздуха из верхней зоны в количестве $L_{в.з.} = 10935 \text{ м}^3/\text{ч}$ обеспечивают четыре крышных вентилятора № 4, которые установлены в покрытии. Количество воздуха, удаляемого из рабочей зоны, также составляет $L = 10935 \text{ м}^3/\text{ч}$, при этом из смотровых ям удаляется $L = 1250 \text{ м}^3/\text{ч}$ отдельной вытяжной системой с механическим побуждением. От выхлопных труб автомобилей удаляется $1950 \text{ м}^3/\text{ч}$ (по $650 \text{ м}^3/\text{ч}$ от каждого) шланговыми отсосами. Остальное количество воздуха $L = 10935 - 3200 = 7735 \text{ м}^3/\text{ч}$ удаляется системой общеобменной вентиляции. Вытяжные патрубки (отрезок воздухопровода, затянутый сеткой) устанавливаются на высоте 1 м от пола. Общее количество приточного воздуха $L = 21870 \text{ м}^3/\text{ч}$. Из этого числа $20620 \text{ м}^3/\text{ч}$ подается в рабочую зону

через эжекционные панельные воздухораспределители ВЭПш, установленные на высоте 1,5 м от пола, а 1250 м³/ч подается в смотровые ямы через решетки типа РВ.

Приточная камера располагается на площадке на отметке + 3,0 м, там же установлен и калорифер. Воздухозаборные решетки металлические типа СТД 5289 установлены в наружной стене на отметке +3,5 м. Приточная установка в цехе технического обслуживания и ремонта автомобилей работает круглогодично.

5.2 Деревообрабатывающий цех

Расчетная наружная температура зимой $t_n^B = -25$ °С, летом $t_n^A = 21,1$ °С. Суммарная производительность местных отсосов $L_{м.о} = 14500$ м³/ч. Объем цеха $V = 4300$ м³, площадь цеха $F = 614$ м², высота 7,0 м. Поступление влаги и вредных веществ незначительны. Приточный воздух подается сверху-вниз перфорированными воздухораспределителями, установленными на высоте 6,0 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 $\Sigma Q_{изб} = 200300$ кДж/ч, $t_{п.з.} = t_n^A + 4$ °С = 21,1 + 4 = 25,1 °С (работа средней тяжести, категория Па) [9, 13]. Считая, что подача воздуха в теплый период через нижние фрамуги окон есть подача в рабочую зону, принимаем по таблице 4.2 $K_t = 1,2$ (кратность воздухообмена 5...10 1/ч). По формуле (5.1) определяем расход приточного воздуха:

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

$$= 14500 + \frac{200300 - 1,2 \cdot 14500 \cdot (25,1 - 21,4)}{1,2 \cdot 1,2 \cdot (25,1 - 21,1)} = 37190 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Кратность воздухообмена $K = 37190 / 4300 = 8,6$.

При этом 14500 м³/ч забирается из нижней зоны местными отсосами, а 22690 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 $\Sigma Q_{изб} = 165700$ кДж/ч, $t_{п.з.} = 18$ °С, $t_{np} = 9$ °С, $L_{м.о} = 14500$ м³/ч, $K_t = 1,2$ (таблица 4.2), подача воздуха сверху вниз с высоты до 6,0 м считается подачей в рабочую зону.

По формуле (5.1) определяем расход приточного воздуха:

$$L = 14500 + \frac{165700 - 1,2 \cdot 14500 \cdot (18 - 9)}{1,2 \cdot 1,2 \cdot (18 - 9)} = 23600 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

В переходный период воздух в помещения рекомендуется подавать организованно, приточными установками. Для данного цеха $L = 23600 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Кратность воздухообмена $K = 23600/4300 = 5,5$.

Расход воздуха, удаляемого из верхней зоны:

$$L_{yx} = 23600 - 14500 = 9100 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Холодный период

Недостатки явной теплоты в рабочее время при работающей системе дежурного отопления $Q = 9700 \text{ Вт}$ или $Q = 9700 \times 3,6 = 35000 \text{ кДж/ч}$ (т. е. $Q_{изб} = -35000 \text{ кДж/ч}$). Количество приточного воздуха принимаем по переходному периоду $L_{np} = 23600 \text{ м}^3/\text{ч}$. Так как теплоизбытки отсутствуют $t_{yx} = t_{p.z.} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$. Искомой величиной является t_{np} .

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

$$= \frac{14500 \cdot 1,2 \cdot 18 + 9100 \cdot 1,2 \cdot 18 - (-35000)}{1,2 \cdot 23600} = 19,2 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Как видим, приточный воздух перегрет для компенсации недостающей теплоты.

Определяем расход теплоты на калориферы:

$$Q_k = 23600 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot [19,2 - (-25)] = 1252760 \text{ кДж/ч}.$$

Система вентиляции деревообрабатывающего цеха работает следующим образом. В летнее время удаление воздуха из верхней зоны ($L = 22690 \text{ м}^3/\text{ч}$) обеспечивают четыре крышных осевых вентилятора № 5, которые устанавливаются в покрытии. Остальное количество воздуха удаляется из рабочей зоны местными отсосами от технологического оборудования ($L_{м.о} = 14500 \text{ м}^3/\text{ч}$). Приток в теплый период естественный через нижние фрамуги окон. В переходный и зимний периоды удаление воздуха $L_{yx} = 9100 \text{ м}^3/\text{ч}$ из верхней зоны обеспечивают три крышных вентилятора (остальные отключаются), из нижней зоны – местные отсосы. Приточный воздух в количестве $23600 \text{ м}^3/\text{ч}$ нагревается в калорифере и подается сверху вниз через перфорированные воздуховоды равномерной раздачи типа ВПК-2, смонтированные на высоте 6 м. Приточная камера расположена на специальной площадке на отметке +3,0 м. Воздухозаборные решетки металлические, типа СТД 5289, устанавливаются в наружной стене на отметке +3,5 (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

Рассчитать воздухообмен в кузнечно-прессовом цехе размером 42 x 24 м, высотой 6 м. Расчетная наружная температура зимой $t_n^B = -25$ °С, летом $t_n^A = 21$ °С. Суммарная производительность местных отсосов $L_{м.о} = 15000$ м³/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 воздуховоды равномерной раздачи ВПК-1 на высоте 5,5 м. Удаление воздуха общеобменной вентиляцией из верхней зоны и местными отсосами из рабочей зоны [9].

Теплый период

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

Удельные избытки явной теплоты в данном цехе:

$$q_{уд} = \frac{\Sigma Q_{изб}}{V \cdot 3.6} = \frac{540000}{6000 \cdot 3.6} = 25 \text{ Вт/м}^3.$$

При $q > 23$ Вт/м³ помещение считается со значительными теплоизбытками [10]. По таблице 4.1 $K_t = 2,0$.

По формуле (5.1) расход приточного воздуха:

$$L = L_{м.о} + \frac{\Sigma Q_{изб} - c \cdot L_{м.о} (t_{п.з.} - t_{np})}{c \cdot K_t \cdot (t_{п.з.} - t_{np})} =$$
$$= 15000 + \frac{540000 - 1,2 \cdot 15000 \cdot (25 - 21)}{1,2 \cdot 2 \cdot (25 - 21)} = 63750 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

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 $L_{в.з} = 48750 \text{ м}^3/\text{ч}$, дополнительной вентиляции верхней зоны не требуется.

Переходный период

Избытки явной теплоты $\Sigma Q_{изб} = 500000 \text{ кДж/ч}$, $t_{p.з} = 17 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{np} = 9 \text{ }^\circ\text{C}$, $q = 23,2 \text{ Вт/м}^3$. По таблице 4.1 $K_t = 2,0$. По формуле (5.1) расход приточного воздуха:

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

Из верхней зоны будет удаляться $- 18540 \text{ м}^3/\text{ч}$.

В переходный период воздух подается организованно, приточной установкой $L_{np} = 33540 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Из верхней зоны удаляется $18540 \text{ м}^3/\text{ч}$, значит и в переходный период не требуется дополнительной вентиляции верхней зоны.

Холодный период

Температура воздуха в рабочей зоне $t_{p.з} = 17 \text{ }^\circ\text{C}$. Избытки явной теплоты в рабочее время при отключенной системе отопления $\Sigma Q_{изб} = 250000 \text{ кДж/ч}$. Расход приточного воздуха принимаем по переходному периоду, т. е. $L = 33540 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Удельные избытки явной теплоты:

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

Таким образом, это помещение с незначительными избытками явной теплоты. По таблице 4.2 $K_t = 1,2$. Из формулы (5.3), где $\Delta t = t_{p.з} - t_{np}$:

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

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

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

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

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

Расход теплоты на калориферы

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

5.4 Цех ремонтно-механический

Рассчитать воздухообмен в ремонтно-механическом цехе размером 36x12м и высотой 8 м. Расчетная наружная температура зимой $t_n^B = -25$ °С, летом $t_n^A = 21$ °С. Суммарная производительность местных отсосов $L_{м.о} = 20000$ м³/ч. Приточный воздух в переходный и холодный периоды подается в верхнюю зону сосредоточенными ненастилающимися струями из воздухораспределителей типа ВСП, в теплый период – естественным путем в рабочую зону через фрамуги окон, тепlopоступления незначительны [9].

Теплый период

Исходные данные: избытки явной теплоты $\Sigma Q_{изб} = 72000$ кДж/ч, в соответствии с [1], для работы средней тяжести Па, температуру рабочей зоны принимаем на 4 °С выше, т. е. $t_{р.з} = t_n^A + 4 = 25$ °С (допустимые параметры). По таблице 4.2, принимая кратность воздухообмена 5...10 1/ч, $K_t = 1,0$ (подача воздуха сосредоточенно, выше рабочей зоны).

По формуле (5.1) расход приточного воздуха:

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

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 (5.3) величину $\Delta t = t_{р.з} - t_{np}$:

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

$$\Delta t = \frac{72000}{1,2 \cdot 22592} = 2,6 \text{ °С}$$

тогда $t_{р.з} = 21 + 2,6 = 23,6$ °С. т. е. в рабочей зоне установится более комфортная температура.

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, $t_{р.з} = 18$ °С, $t_{np} = 9$ °С. В переходный период приточный воздух подается организованно в верхнюю зону через воздухораспределители ВСП. Согласно таблице 4.2, $K_t = 1$.

Так как перепад температур $t_{p.z.} - t_{np} = 9 \text{ }^\circ\text{C}$, больше чем в теплый период, то очевидно, что тепловой поток, удаляемый из рабочей зоны с воздухом местных отсосов, больше $\Sigma Q_{изб} = 60000 \text{ кДж/ч}$.

Аналогично теплomu периоду $L_{yx} = 2592 \text{ м}^3/\text{ч}$ расход приточного воздуха $L = L_{m.o} + L_{yx} = 20000 + 2592 = 22592 \text{ м}^3/\text{ч}$ из формулы (5.3) находим:

$$\Delta t = \frac{60000}{1.2 \cdot 22592} = 2,2 \text{ }^\circ\text{C},$$

тогда

$$t_{p.z.} = 18 - 2,2 = 15,8 \text{ }^\circ\text{C}.$$

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: $t_{p.z.} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$, 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 (5.3) находим $\Delta t = t_{p.z.} - t_{np}$:

$$\Delta t = \frac{-60000}{1.2 \cdot 22592} = -2,2 \text{ }^\circ\text{C},$$

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

Расход теплоты на calorиферы

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

5.5 Цех механический. 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 $t_n^B = -25 \text{ }^\circ\text{C}$, летом $t_n^A = 21 \text{ }^\circ\text{C}$. 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, $L_{m.o} = 23400 \text{ м}^3/\text{ч}$. 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 [9].

Теплый период

Исходные данные: избытки явной теплоты $\Sigma Q_{изб} = 55000 \text{ Вт}$. В соответствии с [1]. $t_{p.z.} = t_n^A + 4 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. По таблице 4.2, принимая кратность воздухообмена более 10 1/ч , $K_t = 1,0$; $K_q = 1,1$.

По формуле (5.1) расход приточного воздуха:

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

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. Согласно таблице 4.2, $K_t = 1$ по формуле (5.1) определяем расход приточного воздуха:

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

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 $L_{yx} = 2600 \cdot 1,5 = 3900$ м³/ч.

Принимая расход приточного воздуха,

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

Находим из формулы (5.3) величину $\Delta t = t_{p.з} - t_{np}$

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

$$\Delta t = \frac{3,6 \cdot 172800}{1,2 \cdot 27300} \approx 5,3 \text{ °С},$$

тогда

$$t_{np} = t_{p.з} - \Delta t = 18 - 5,3 = 12,7 \text{ °С}.$$

Холодный период

Исходные данные: $t_{p.з} = 18$ °С, 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) находим $\Delta t = t_{p.з} - t_{np}$:

$$\Delta t = \frac{3,6 \cdot 28000}{1,2 \cdot 27300} = 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

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

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 50 кВА 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. $L = 42600 \text{ м}^3/\text{ч}$.

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 $L = 42600 \text{ м}^3/\text{ч}$ из формулы (5.3), находим

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

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

Расход теплоты на калориферы

$$Q_k = L \cdot c \cdot \rho \cdot (t_{np} - t_n^B) = 42600 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot (16 + 25) = 2096000 \text{ кДж/ч.}$$

Газы и аэрозоли, образующиеся при сварочных работах, неуловленные 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 вредных из верхней зоны осуществляется через крышные вентиляторы, установленные в покрытии. Для более эффективного удаления вредных, всасывающие патрубки вентиляторов, удлинить на 1 м.

Литература

1. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СН 4.02.03-2019. – Введ. 16.12.19. – Минск. : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2020. – 68 с.
2. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования. Термины и определения : ГОСТ 22270–2018. – Взамен ГОСТ 22270–76 ; введ. в Республике Беларусь 01.12.19. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2019. – 32 с.
3. Строительная климатология: СНБ 2.04.02-2000. – Введ. 08.12.00. – Минск. : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2001. – 37 с.
4. Общественные здания : СН 3.02.02-2019. – Введ. 16.12.19. – Минск. : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2020. – 52 с.
5. Общественные здания. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-3.02-325-2018 (33020). – Введ. 13.04.18. – Минск. : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2018. – 55 с.
6. Естественное и искусственное освещение : СН 2.04.03-2020. – Введ. 24.03.21. – Минск. : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2021. – 63 с.
7. Справочник проектировщика: в 3 ч. / под ред. Н. Н. Павлова и Ю. И. Шиллера – М., 1992 – (Часть 3: Вентиляция и кондиционирование воздуха. Книга 1,2) – 416 с.
8. Пилюшенко, В. П. Расчет воздухораспределения. Методические указания по выполнению курсовых проектов по дисциплине «Вентиляция» / В. П. Пилюшенко. – Минск, 2001. – 38 с.
9. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / Б. М. Хрусталева [и др.] ; под ред. проф. Б. М. Хрусталева. – М. : АСВ, 2008. – 783 с.
10. Богословский, В. Н. Отопление и вентиляция: в 2 ч. / под ред. В. Н. Богословского. – М., 1976. – ч.2: Вентиляция – 439 с.
11. Сазонов, Э. В. Вентиляция общественных зданий / Э. В. Сазонов – Воронеж, 1991. – 188 с.
12. Волков, О. Д. Проектирование вентиляции промышленного здания : учеб. пособие / О. Д. Волков. – Харьков : Выща школа : изд-во при ХГУ, 1989. – 240 с.
13. Торговников, Б. М. Проектирование промышленной вентиляции : справочник / Б. М. Торговников, В. Е. Табачник, Е. М. Ефанов. – Киев : Будивельник, 1983. – 256 с.
14. Станции технического обслуживания ТС. Гаражи-стоянки автомобилей: СН 3.02.03-2019 – Минск. : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2020. – 38 с.
15. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны : ГОСТ 12. 1.005 – 88. – Взамен ГОСТ 12. 1.005–76 ; введ. в Республике Беларусь 01.01.89. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2008. – 52 с.

Учебное издание

Составители:

Сальникова Светлана Рудольфовна

Клюева Елена Владимировна

Шпендик Наталья Николаевна

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для курсового проектирования
на тему
«РАСЧЕТ ВОЗДУХООБМЕНА
ОБЩЕСТВЕННЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ»
по дисциплине «Вентиляция»

для студентов специальности
1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана
воздушного бассейна» для всех форм обучения,
слушателей ИПКиП специальности
1-70 04 71 «Теплогазоснабжение, вентиляция
и охрана воздушного бассейна»

Ответственный за выпуск: Клюева Е. В.

Редактор: Митлошук М. А.

Компьютерная вёрстка: Северянина А. Г., Соколюк А. П.

Корректор: Дударук С. А.

Подписано в печать 22.05.2023 г. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага «Performer».
Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. 2,33. Уч. изд. л. 2,5. Заказ № 536. Тираж 20 экз.
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/235 от 24.03.2014 г.