

# ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ

**ТЕМА:** *РАСЧЕТ ВОЗДУХООБМЕНА В  
ПОМЕЩЕНИИ*

ГУСЕВ К.П.

Лекция

5

# *7 Расчет воздухообмена в помещении*

## **7.1 Определение требуемой производительности вентиляционных систем**

Вентиляционные системы здания и их производительность выбирают в результате расчета воздухообмена.

Подход к решению этой задачи зависит от вида систем, а также от способов раздачи воздуха и удаления его из помещения. Производительность систем местной вентиляции определяется специфическими требованиями (технологическими и санитарно-гигиеническими), а общеобменной вентиляции — решением уравнений балансов

Рассчитываемый воздухообмен принято называть по виду вредных выделений, для борьбы с которыми он предназначен. Например, *воздухообмен по избыткам явного тепла, по избыткам полного тепла, по влаговыделениям, по вредным веществам и т. д.*

Для определения требуемой производительности систем общеобменной вентиляции по заданному виду вредных выделений необходимо решить соответствующую систему из двух уравнений — уравнения баланса вредных выделений и уравнения баланса воздуха в помещении.

## **Определение производительности систем общеобменной вентиляции в общем случае.**

Пусть  $G_{п1}$  и  $G_{y1}$  — искомые производительности соответственно приточной и вытяжной систем общеобменной вентиляции. Если количество воздуха, подаваемого и удаляемого остальными  $n-1$  приточными и  $m-1$  вытяжными системами, задано, то, решая попарно уравнения уравнения баланса, можно найти требуемую производительность систем общеобменной вентиляции соответственно по избыткам полного тепла, по избыткам явного тепла, по влаговыделениям, по вредным веществам.

$$G_{\text{п1}} = G_{\text{у1}} + \sum_{j=2}^m G_{\text{yj}} - \sum_{i=2}^n G_{\text{пi}}.$$

По избыткам явного тепла:

$$G_{\text{у1}} = \frac{\Delta Q'_{\text{я}} + c_p \sum_{i=2}^n G_{\text{пi}} (t_{\text{пi}} - t_{\text{п1}}) - c_p \sum_{j=2}^m G_{\text{yj}} (t_{\text{yj}} - t_{\text{п1}})}{c_p (t_{\text{у1}} - t_{\text{п1}})}.$$

Определяется производительность систем общеобменной вентиляции :

$$L_{\text{п1}} = G_{\text{п1}} / \rho_{\text{п1}}$$

$$L_{\text{у1}} = G_{\text{у1}} / \rho_{\text{у1}}.$$

## 7.2 Параметры воздуха в вентиляционном процессе. Выбор расчетного воздухообмена

При определении производительности систем общеобменной вентиляции проводят расчет воздухообмена для трех периодов года: холодного, переходного и теплого. Для систем кондиционирования воздуха расчет воздухообмена принято проводить для двух периодов года — холодного и теплого с последующим анализом круглогодичного режима работы. По результатам расчетов для различных условий подбирают вентиляционное оборудование: вентиляторы, фильтры, калориферы, воздухоохладители, оросительные камеры и пр.

## Параметры наружного воздуха.

Температура и энтальпия наружного воздуха (точка  $N$  на  $I-d$  диаграммах) принимаются по рекомендациям СНиП в соответствии с географическим расположением объекта.

Влагосодержание определяется по  $I-d$  диаграмме. Различают два варианта расчетных наружных условий для вентиляции — параметры климата категорий А и Б:

- для холодного периода года параметры А принимают при общеобменной вентиляции, параметры Б — для систем общеобменной вентиляции, совмещенной с отоплением, или при наличии местных отсосов в помещении, для систем воздушного душирования, а также для систем кондиционирования воздуха;
- для переходного периода года для всех районов страны принимают  $t_{\text{н}} = + 10^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_{\text{н}} = 70\%$  (энтальпию и влагосодержание воздуха принимают по /—d-диаграмме);
- для теплого периода года параметры А принимают для любых вентиляционных систем (в том числе для систем вентиляции с адиабатическим увлажнением воздуха), параметры Б—для систем кондиционирования воздуха.



## Параметры воздуха в рабочей зоне помещения.

В соответствии со СНиП различают внутренние условия для двух периодов года — теплого и холодного (сюда же относят переходный период). Для большинства помещений при общеобменной вентиляции параметры внутреннего воздуха — точка  $B$  в  $I-d$ -диаграмме — ограничиваются лишь температурой  $t_B$  (температура в обслуживаемой зоне помещения).

Для помещений со значительными влаговыделениями дополнительно задается максимально допустимая относительная влажность внутреннего воздуха.

В качестве расчетных параметров воздуха при общеобменной вентиляции принимают **допустимые параметры**.

Для проектирования систем кондиционирования воздуха принимают **оптимальные параметры** (сочетания  $t_B$  и  $\phi_B$ ).

**Параметры приточного воздуха.** Температуру приточного воздуха (точка П) вентиляционных систем для увеличения ассимиляции и теплоизбытков желательно принимать как можно более низкой. Это сокращает требуемый воздухообмен. Однако при выборе значения  $t_n$  для холодного периода года следует учитывать недопустимость дискомфортных условий, что осуществляют следующим образом:

а) при высоте помещений жилых и общественных зданий до 3 м принимают  $t_n$  ниже  $t_B$  на 2—3°С; при высоте помещений более 3 м (залы, классы, аудитории и т. п.) — ниже  $t_B$  на 4—6°С. Эти рекомендации распространяются и на кондиционируемые помещения;

б) в помещениях промышленных зданий определяют  $t_n$  расчетом из условия, чтобы поток воздуха из приточного отверстия (насадка), достигнув рабочего места, имел температуру на 1—1,5°С ниже  $t_B$ ; при подаче воздуха в верхнюю зону помещения или в его нижнюю зону опусками, но в отдалении от рабочих мест принимают  $t_n$  на 6—10°С ниже  $t_B$ ; для приточных систем, подающих воздух для компенсации местных отсосов в цехах со значительными избытками тепла, принимают  $t_{II} = 5^\circ\text{C}$  (при подаче воздуха в отдалении от рабочих мест); для систем душирования параметры приточного воздуха  $t_n$ ,  $\phi_{II}$ , а также скорость его подачи определяют специальным расчетом.

На температуру приточного воздуха в холодный период года накладывается также ограничение из-за недопустимости конденсации водяных паров внутреннего воздуха на приточном воздуховоде.

Для переходного периода года принимают  $t_n$  на  $0,5—1^{\circ}\text{C}$  выше расчетной температуры наружного воздуха для этого периода (учитывается подогрев воздуха в воздуховодах).

Для теплого периода года температура приточного воздуха совпадает с температурой наружного воздуха (параметры климата категории А).

Остальные параметры приточного воздуха — энтальпию, влагосодержание, относительную влажность — определяют по I—d-диаграмме.

**Параметры воздуха, удаляемого из помещения.** К сожалению, вопрос о значениях параметров воздуха, удаляемого из помещения, до сих пор недостаточно полно изучен для решения вентиляции различных производств. Температура воздуха в верхней зоне помещения (точка  $y$ ) зависит от многих факторов — высоты и теплонапряженности помещения, способов подачи и удаления воздуха, расположения технологического оборудования и др.

Обычно значения параметров удаляемого воздуха принимают на основании экспериментов.

В случае отсутствия экспериментальных данных можно воспользоваться сведениями о среднем увеличении температуры внутреннего воздуха по высоте помещений —  $\text{grad } t$ . При этом точка  $y$  находится на пересечении соответствующего луча процесса в помещении, проведенного из точки  $\Pi$ , с изотермой, проходящей выше изотермы  $t_B = \text{const}$  на величину  $(H_{\text{пом}} - 1,5) \text{ grad } t$ .

# Градиенты температуры воздуха по высоте помещений жилых и общественных зданий

Удельные избытки явного тепла		grad $t$ , °C/м
кДж/м <sup>3</sup>	ккал/(ч-м <sup>3</sup> )	
Более 80	Более 20	0,8-1,5
40—80	10—20	0,3—1,2
Менее 40	Менее 10	0—0,5

# Выбор расчетного воздухообмена

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

Для систем с естественным побуждением движения воздуха сезонное изменение производительности достигается эксплуатационным регулированием. Для этих систем расчетным является такой воздухообмен, для осуществления которого требуется большее сечение каналов или большая площадь открываемых проемов. Как правило, это воздухообмен, определенный для теплого периода года (аэрация) или периода с  $t_n = 5^\circ \text{C}$  (системы канальной вентиляции).

Для систем с механическим побуждением движения воздуха выбор расчетного (для подбора оборудования) воздухообмена сложнее. Этот выбор производят по воздухообмену, определенному в объемных единицах для трех расчетных периодов года..

1. Открывание окон и проветривание помещения не допускается (помещение чистое или здание расположено в загрязненном районе, или окна помещения выходят на автомагистраль и т.п.).

В этом случае для подбора вентилятора, фильтра и других элементов вентиляционной системы принимается больший из требуемого воздухообмена для холодного, переходного и теплого периодов года.

2. В помещении возможно проветривание (аэрация) в теплый период года (здание находится в зеленой зоне, нет жестких требований к чистоте и микроклимату в помещении — большинство помещений промышленных и общественных зданий). Производительность механической приточной системы вентиляции для этих помещений принимается равной большему из требуемого воздухообмена для холодного и переходного периода года. Производительность вытяжной системы в этом случае принимается равной большему из требуемого воздухообмена для трех периодов года. Иногда приточная система может рассчитываться на зимний воздухообмен, а вытяжная — на летний. Летом при открытых окнах эта система обеспечит необходимый воздухообмен. В холодный период года такую вытяжную систему необходимо дросселировать, т. е. уменьшать ее производительность.



## Расчет воздухообмена по нормативной кратности.

Кратностью воздухообмена называется отношение объема воздуха, подаваемого в помещение или удаляемого из него в течение 1 ч, к объему помещения. Эта величина часто используется для оценки правильности расчета воздухообмена в помещениях. Нормативная кратность используется для расчета воздухообмена в рядовых помещениях с избытками в основном CO<sub>2</sub> и тепла.

Расчетный воздухообмен помещения в этих случаях должен составлять, м<sup>3</sup>/ч:

$$L_p = KpV_{\text{пом}}$$

где  $Kp$  — нормативная кратность воздухообмена помещения, ч<sup>-1</sup>;  $V_{\text{пом}}$  — объем помещения, м<sup>3</sup>.

Значения  $Kp$  для различных помещений приводятся в соответствующих главах СНиП. При этом указывается кратность по вытяжке и по притоку.

## 7.3 Нестационарный режим вентилируемого помещения. Аварийная вентиляция

В общем случае поступление вредных выделений в помещение непостоянно во времени. Это приводит к колебаниям параметров внутреннего воздуха.

Теплопоступления от солнечной радиации, от нагретого металла при его термической обработке и многие другие нестационарны и лишь в упрощенных вариантах расчетов принимаются постоянными во времени (расчеты по максимуму поступлений).

## **Изменение концентрации вредных веществ в помещении при отсутствии вентиляции.**

Пусть в начальный момент времени концентрация вредных веществ в воздухе помещения составляет  $C_0$  единиц массы вещества на  $1 \text{ м}^3$  воздуха. Если в этот момент в помещении начинает действовать источник выделения вредных веществ с интенсивностью  $M_{\text{вр}}$  единиц массы вещества в 1 ч, то уравнение баланса вредных веществ в любой момент времени  $\tau$  имеет вид

$$M_{\text{вр}} d\tau - V_{\text{пом}} dC = 0,$$

где  $V_{\text{пом}}$  — объем помещения,  $\text{м}^3$ , а вредности, условно, распространяются равномерно по всему объему помещения.

$$C = C_0 + \frac{M_{\text{вр}}}{V_{\text{пом}}} \tau.$$

Для случая, когда содержание вредных веществ в помещении достигает ПДК при  $\tau < 1$  ч, вентиляция обязательна. В случае достижения ПДК при  $8\text{ч} > \tau > 1$  ч вентиляцию можно включать через некоторое время после начала работы. Если содержание вредных веществ не достигает ПДК в течение рабочего времени, вентиляцию можно не устраивать, ограничиваясь неорганизованным воздухообменом.

## Изменение концентрации вредных веществ в помещении при заданном воздухообмене.

Пусть в начальный момент концентрация вредных веществ в любой точке помещения равна  $C_0$ . Примем, что в этот момент в помещении начинает действовать источник выделения вредных веществ с интенсивностью  $M_{вр}$  и включается система общеобменной вентиляции. Если пренебречь распределением температуры по помещению, т. е. рассматривать изотермические условия, то объемная производительность приточной и вытяжной систем будет одинакова:  $L_{п} = L_{у}$ . Обозначим концентрацию вредных веществ в приточном воздухе  $C_{п}$ , а в удаляемом  $C_{у}$ . Примем допущение, что вредные вещества распределяются по объему помещения равномерно и, следовательно, в любой момент  $C = C_{у}$ .

Уравнение баланса вредных веществ в помещении в дифференциальной форме

$$M_{\text{вп}} d\tau + L_{\text{п}} C_{\text{п}} d\tau - L_{\text{у}} C d\tau - V_{\text{пом}} dC = 0.$$

Решая и преобразовывая получим:

$$C = \frac{M_{\text{вп}}}{L_{\text{у}}} + C_{\text{п}} - \left( \frac{M_{\text{вп}}}{L_{\text{у}}} + C_{\text{п}} - C_0 \right) e^{-\tau \frac{L_{\text{у}}}{V_{\text{пом}}}}.$$

## **Аварийная вентиляция.**

На предприятиях химической промышленности и подобных им в результате нарушения герметичности оборудования возможны внезапные поступления вредных веществ в помещения. Для разбавления внезапно выделившихся вредных веществ предусматривается аварийная вентиляция — система устройств, включающихся при аварии. Как правило, аварийная вентиляция — это вытяжка с механическим побуждением движения воздуха. Возмещение воздуха, удаляемого вытяжной системой аварийной вентиляции, должно осуществляться преимущественно путем использования наружного воздуха.



Воздухообмен, создаваемый системой аварийной вентиляции, обычно рассчитывают по ведомственным техническим указаниям. Если известно количество выделяющихся вредных веществ и производительность системы общеобменной вентиляции, то, используя формулы нестационарного режима помещения, можно рассчитать требуемый воздухообмен аварийной вентиляции либо продолжительность периодов эвакуации и проветривания.