

# Методики определения минимального воздухообмена: традиционные и новые подходы

Ю. В. Миллер, канд. техн. наук, НП «АВОК»

**Ключевые слова:** воздухообмен, методика расчета, ПДК, вредные вещества, явные теплоизбытки, кратность воздухообмена

Несмотря на кажущуюся очевидность предлагаемых на сегодняшний день методов, имеются значительные трудности в решении задачи определения минимального воздухообмена помещений. Свидетельством этого является огромная работа, которая ведется специалистами разных стран по разработке новых и усовершенствованию существующих методов определения минимального воздухообмена помещений. Например, первая редакция стандарта ASHRAE 62.1–2016 «Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality», содержащего методику определения минимального воздухообмена помещений, была опубликована в 1981 году и подверглась серьезной критике. В результате многолетней работы к настоящему времени выпущено девять редакций данного стандарта, и ведутся работы по его усовершенствованию. НП «АВОК» в 2002 году была разработана первая редакция стандарта АВОК 2.1–2017 «Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена», на сегодняшний день опубликована его третья редакция, и работы по развитию стандарта продолжаются. НП «АВОК» разрабатывает специализированное программное обеспечение для определения воздухообмена помещений, например, «Расчет регулируемой естественной и гибридной вентиляции в многоэтажных жилых зданиях».

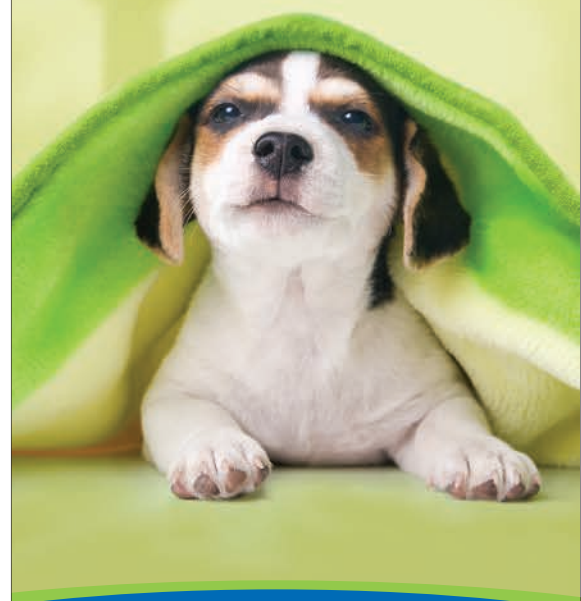
В настоящей статье приведены методики определения минимального воздухообмена помещений жилых и общественных зданий на основе удельных норм и кратностей воздухообмена и на основе расчета обеспечения допустимых концентраций вредных веществ и удаления вредных выделений. Также предложена методика учета почасовых изменений минимального воздухообмена в течение суток в зависимости от изменений режима эксплуатации помещений, которая позволит еще на стадии проектирования выбрать оптимальный способ регулирования воздухообмена, режим работы вентиляционного оборудования и повысить точность прогнозирования расхода тепловой и электрической энергии на вентиляцию в годовом цикле. Рассмотрим более подробно каждую из методик и особенности их применения.



# С НАМИ КОМФОРТНО

## КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Вентиляционное оборудование
- Кондиционеры
- Чиллеры и фанкойлы
- Увлажнители воздуха
- Осушители воздуха
- Системы автоматики



Москва, улица Тимирязевская, 1, строение 4.

Тел.: (495) 981 1515, (499) 755 1515.

Факс: (495) 981 0117.

Санкт-Петербург, улица Разъезжая, 12, офис 43.

Тел.: (812) 441 3530. Факс: (812) 441 3535.

[www.ARKTIKA.ru](http://www.ARKTIKA.ru)

Задача определения минимального воздухообмена, обеспечивающего допустимое качество воздуха в помещении, тесно связана с задачей выбора системы вентиляции, подбора вентиляционного оборудования и определения оптимального режима его работы.

Кроме того, величина воздухообмена может значительно изменяться в суточном и годовом циклах в зависимости от режима эксплуатации помещения, количества находящихся в помещении людей и характера их деятельности в течение суток, времени работы оргтехники и другого оборудования.

### Определение воздухообмена на основе удельных норм и кратностей воздухообмена

Методика на основе удельных норм и кратностей воздухообмена применяется для помещений, в которых отсутствуют выделения вредных веществ и вредные выделения: необходимое качество воздуха обеспечивается за счет подачи в помещение определенного количества наружного воздуха в зависимости от назначения помещения и режима его эксплуатации.

К вредным выделениям относятся потоки теплоты и/или влаги, поступающие в помещение и отрицательно влияющие на параметры микроклимата. Вредными веществами согласно СП 60.13330.2016 являются те вещества, для которых органом санитарно-эпидемиологического надзора установлена предельно допустимая концентрация (ПДК) вредного вещества, например: аммиак, хлор, фенол и другие вещества.

Для определения минимального воздухообмена помещений

жилых и общественных зданий следует:

**1) определить необходимость предварительной очистки наружного воздуха для вентиляции помещений.**

Для этого требуется установить наличие и концентрации вредных веществ в наружном воздухе, используемом для вентиляции. Концентрации вредных веществ в наружном воздухе не должны превышать предельно допустимую концентрацию (ПДК) в воздухе населенных мест, установленных в ГН 2.1.6.3492–17 и ГН 2.1.6.2309–07.

При совместном присутствии в наружном воздухе нескольких вредных веществ, обладающих суммацией действия, сумма их относительных концентраций, рассчитанная по формуле (1), не должна превышать 1

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \leq 1, \quad (1)$$

где  $C_i$  – величина концентрации  $i$ -го вредного вещества в наружном воздухе,  $\text{мг/м}^3$ .

Перечень веществ, обладающих эффектом суммации, приведен в ГН 2.1.6.3492–17.

В случае превышения ПДК вредных веществ в наружном воздухе, установленных в ГН 2.1.6.3492–17 и ГН 2.1.6.2309–07, необходимо предусмотреть очистку наружного воздуха, поступающего в помещение, до предельно допустимых концентраций вредных веществ;

**2) определить удельные нормы и кратности воздухообмена для помещений.**

В соответствии с действующими документами по стандартизации и нормативными правовыми актами для каждого помещения в зависимости от его функционального назначения

определяются удельные нормы и кратности воздухообмена. Удельные нормы воздухообмена могут быть представлены следующими размерностями:

- $\text{м}^3$  приточного или удаляемого воздуха в час на 1 человека или оборудование ( $\text{м}^3/\text{ч}$  на человека или единицу оборудования);
- $\text{м}^3$  приточного или удаляемого воздуха в час на  $1 \text{ м}^2$  площади пола помещения ( $\text{м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}^2$  площади помещения).

Кратность воздухообмена определяется отношением объема поступающего или удаляемого воздуха в течение одного часа к расчетному объему помещения,  $\text{ч}^{-1}$ ;

### 3) определить минимальный воздухообмен для помещений.

В соответствии с функциональным назначением и режимом эксплуатации для каждого помещения рассчитывается минимальный воздухообмен.

Для обеспечения нормируемой кратности воздухообмена в помещении расчет количества приточного или удаляемого воздуха  $L_{\text{п, кр}}$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , следует выполнять по формуле

$$L_{\text{п, кр}} = nV_{\text{р}}, \quad (2)$$

где

$n$  – нормируемая кратность воздухообмена,  $\text{ч}^{-1}$ ;

$V_{\text{р}}$  – объем помещения,  $\text{м}^3$ .

Для помещений, имеющих высоту 6 м и более, расчетный объем следует принимать равным величине  $6A_{\text{р}}$ , где  $A_{\text{р}}$  – расчетная площадь помещения, ограниченная внутренними поверхностями ограждающих конструкций,  $\text{м}^2$ . Расчетный объем помещений не включает в себя объем, занимаемый внутренними ограждающими

конструкциями здания, и ограничен внутренними поверхностями ограждающих конструкций помещения.

Для обеспечения удельных норм воздухообмена расчет количества приточного или удаляемого воздуха  $L_{\text{п, норм}}$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , следует выполнять по формулам

$$L_{\text{п, норм}} = A_{\text{р}}k, \quad (3)$$

$$L_{\text{п, норм}} = Nm, \quad (4)$$

где

$A_{\text{р}}$  – расчетная площадь помещения,  $\text{м}^2$ ;

$N$  – число человек, рабочих мест, единиц оборудования;

$k$  – нормируемый расход приточного или удаляемого воздуха на  $1 \text{ м}^2$  пола помещения,  $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ ;

$m$  – нормируемый удельный расход приточного или удаляемого воздуха,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , на одного человека, на одно рабочее место или единицу оборудования.

**Пример.** Необходимо определить величину минимального воздухообмена в классном помещении школы площадью  $A_{\text{р}}$   $40 \text{ м}^2$ , высотой  $h$   $3,3 \text{ м}$ . Предполагается, что в классе находятся 14 учащихся и преподаватель. Концентрации загрязняющих веществ в наружном воздухе места расположения школы не превышают установленные значения ПДК.

Согласно СП 118.13330.2016 кратность воздухообмена в помещении школьной классной комнаты должна составлять  $2 \text{ ч}^{-1}$ , при этом минимальный воздухообмен должен быть не менее  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$  на одного человека. Количество приточного воздуха определяется по формулам (2) и (4):

$$L_{\text{п, кр}} = 2 \cdot 40 \cdot 3,3 = 264 \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$L_{\text{п, норм}} = 15 \cdot 20 = 300 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Количество приточного воздуха следует принять  $L_{\text{п, норм}} = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

## Определение воздухообмена на основе расчета обеспечения допустимых концентраций вредных веществ и удаления вредных выделений

Методика определения воздухообмена на основе расчета обеспечения допустимых концентраций вредных веществ и удаления вредных выделений применяется для помещений, в которых присутствуют выделения вредных веществ и/или вредные выделения: необходимое качество воздуха обеспечивается за счет подачи в помещение определенного количества наружного воздуха в зависимости от концентрации и характера загрязняющих веществ и вредных выделений в помещении.

К вредным для состояния организма человека загрязняющим веществам будем относить газообразные (например, табачный дым, формальдегиды) и биологические (например, бактерии легионеллы).

Перечень некоторых возможных внутренних и наружных загрязняющих веществ и воздействие, оказываемое ими на организм человека, приведены в табл. 1.

Для определения минимального воздухообмена помещений общественных зданий необходимо:

**1) определить наличие вредных веществ в наружном воздухе, используемом для вентиляции, и их концентрации.**

В случае присутствия в наружном воздухе нескольких вредных веществ, обладающих суммацией действия, необходимо проверить выполнение условия (1).

При превышении ПДК вредных веществ в наружном воздухе в соответствии с требованиями ГН 2.1.6.3492–17 и ГН 2.1.6.2309–07 необходимо предусмотреть очистку наружного воздуха, поступающего в помещение, до предельно допустимых концентраций вредных веществ;

## 2) определить источники выделения вредных веществ и вредных выделений в помещении.

Необходимо определить наличие источников вредных веществ в рассматриваемом помещении, количество выделяемых ими вредных веществ, мг/ч, и предельно допустимые концентрации этих вредных веществ в обслуживаемой зоне помещения, мг/м<sup>3</sup>. Согласно ГН 2.2.5.3532–18 ПДК помещений лечебных организаций приведены в СанПиН 2.1.3.2630–10.

Необходимо определить источники теплоты и/или влаги, определить величину теплоизбытков, Вт, и влаговыделений, г/ч;

## 3) определить минимальный воздухообмен в помещении.

В зависимости от наличия в помещении вредных веществ и вредных выделений определяется минимальный воздухообмен.

- Для удаления вредных веществ, выделяющихся в помещении, расход приточного воздуха, м<sup>3</sup>/ч, определяется по массе выделяющихся вредных веществ в помещении по формуле

$$L_{n,вр} = \frac{m_{po}}{q_{оз} - q_n}, \quad (5)$$

где

$m_{po}$  – количество вредного вещества, выделяемого в помещение, мг/ч;

$q_{оз}$  – предельно допустимая концентрация вредного вещества в обслуживаемой зоне помещения, мг/м<sup>3</sup>, определяется согласно ГН 2.2.5.3532–18 [4]. ПДК помещений лечебных организаций приведены в СанПиН 2.1.3.2630–10 [5, приложение 4];

$q_n$  – концентрация вредного вещества в наружном воздухе, мг/м<sup>3</sup>, определяется согласно ГН 2.1.6.3492–17 [2] и ГН 2.1.6.2309–07 [3].

При одновременном поступлении в помещение нескольких вредных веществ, обладающих суммацией действия, расход наружного воздуха следует принимать равным сумме расходов наружного воздуха, рассчитанного по каждому вредному веществу.

Если в помещении часть воздуха удаляется системами местных отсосов, а концентрация вредных веществ распределена по помещению неравномерно, то расчет количества приточного воздуха  $L_{n,вр,мо}$ , м<sup>3</sup>/ч, выполняется с учетом разности концентраций выделяемых в помещении вредных веществ в обслуживаемой (рабочей) зоне и наружном воздухе по формуле

$$L_{n,вр,мо} = L_{мо} + \frac{m_{po} - L_{мо}(q_{оз} - q_n)}{q_{уд} - q_n}, \quad (6)$$

где

$L_{мо}$  – расход воздуха, удаляемого из обслуживаемой зоны местными отсосами от оборудования, м<sup>3</sup>/ч;

$m_{po}$ ,  $q_{оз}$ ,  $q_n$  – то же, что и в формуле (5);

$q_{уд}$  – концентрация вредного вещества в удаляемом воздухе, мг/м<sup>3</sup>, определяется на основе экспериментальных данных, полученных для рассматриваемого или аналогичного помещения. При отсутствии данных о значении  $q_{уд}$  вредного вещества для рассматриваемого помещения значение знаменателя уравнения (6),  $(q_{уд} - q_n)$ , рассчитывается по формуле

$$q_{уд} - q_n = K_q (q_{оз} - q_n), \quad (7)$$

где

$q_n$ ,  $q_{оз}$  – то же, что в формуле (5);

$K_q$  – эффективность удаления вредных веществ из воздуха помещения.

- Для удаления избыточного количества влаги из помещения во избежание образования конденсата расчет количества приточного воздуха  $L_{n,вл}$ , м<sup>3</sup>/ч, следует выполнять по формуле

$$L_{n,вл} = \frac{W}{(d_n - d_0) \rho_{пр}}, \quad (8)$$

где

$W$  – количество влаги, выделяющейся в  $n$ -ном помещении, г/ч;

$d_n$  – допустимое содержание водяного пара в воздухе помещения при установленной средней температуре и относительной влажности воздуха помещения, г/кг;

$d_0$  – влагосодержание наружного воздуха, г/кг;

$\rho_{пр}$  – плотность приточного воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Если в помещении часть воздуха удаляется системами местных отсосов, а концентрация влаговыделений распределена по помещению неравномерно, то расчет количества приточного воздуха,  $L_{n,вл,мо}$ , м<sup>3</sup>/ч,

Таблица 1

## Загрязняющие вещества

Категория загрязнителя	Тип	Примеры	Примеры источников	Воздействие
Частицы	Твердые	Пыль (менее 100 мкм)	Ветер, вулканы, шлифовка, снос, горение топлива, неасфальтированные дороги и т.д.	Астма, раздражение носа и горла, повреждение легких
		Биоаэрозоли	Живые существа, включая вирусы, бактерии, плесени, клещей, растения и животных	Аллергии, астма, различные заболевания, включая туберкулез, болезнь легионеров и грипп
	Жидкие	Дымка	Градирни	Испарение может повысить концентрацию биоаэрозолей
		Туман	Конденсация	Испарение может повысить концентрацию биоаэрозолей и очень малых частиц
Газообразные загрязнители	Неорганические	Аммиак	Чистящие средства	Дыхательный раздражитель
		Озон	Электростатические приборы, принтеры, копировальная техника, наружный воздух	Ухудшение функции легких, астма, раздражение глаз
		Угарный газ	Неполное сгорание, наружный воздух	Повреждение респираторной системы
		Радон	Почва	Рак легких
	Органические	Формальдегид	Строительные материалы, клеи, изоляция	Раздражение глаз, носа и горла, астма, респираторные симптомы
		Бензин	Горение, автомобильные выхлопы, некоторые виды клея, краски и моющие средства	Рак
		Другие летучие органические компоненты	Люди, процессы, чистящие средства	Запахи, широкий диапазон физических симптомов
Смеси	Смеси от источника	Дым	Горящие органические материалы	См. «Частицы»
		Табачный дым	Горящий табак	Рак; см. «Частицы»
		Дизельные выхлопные газы	Сгорание дизельного топлива	Рак; см. «Частицы», «Неорганические» и «Органические» газы
		Смог	Продукты горения	См. «Озон» и «Частицы»
	Смеси от воздействия*	Пример компонентов: ацетальдегид, акролеин, аммиак и т.д.	Различные источники	Воздействие на респираторную систему
		Пример компонентов: мышьяк, бензин, сероуглерод и т.д.		Воздействие на нервную систему
		Пример компонентов: бензин, бутадиев, сероуглерод и т.д.		Воздействие на репродуктивную систему

\* Категории примеров смесей от воздействия основаны на таблице ОЕННА (Департамент оценки экологической опасности для здоровья).

выполняется с учетом разности концентраций влаговывделений в обслуживаемой (рабочей) зоне и наружном воздухе по формуле:

$$L_{n,вл,мо} = L_{мо} + \frac{W - \rho_B L_{мо} (d_{n,о3} - d_0)}{\rho_B (d_{n,нз} - d_0)}, \quad (9)$$

где

$L_{мо}$  – то же, что и в формуле (6);  
 $W$  – то же, что и в формуле (8);  
 $d_{n,о3}$  – влагосодержание воздуха



в обслуживаемой (рабочей) зоне n-го помещения, удаляемого системой местных отсосов, г/кг;

$d_{п, нз}$  – влагосодержание воздуха, удаляемого из помещения за пределами обслуживаемой (рабочей) зоны, г/кг;

$d_0$  – то же, что и в формуле (8);

$\rho_v$  – плотность внутреннего воздуха помещения, кг/м<sup>3</sup>.

- Для удаления явных теплоизбытков из помещения, источниками которых являются люди, оргтехника, бытовая техника, осветительные приборы, расчет количества приточного воздуха,  $L_{п, изб}$ , м<sup>3</sup>/ч, определяется по формуле

$$L_{п, изб} = \frac{3,6Q_{п, изб.я}}{c_v \rho_v (t_{ух} - t_{пр})}, \quad (10)$$

где

$Q_{п, изб.я}$  – избытки явной теплоты, Вт, от людей, освещения, оргтехники и другого оборудования;

$c_v$  – удельная теплоемкость воздуха, принимается равной 1,005 кДж/(кг·°С);

$\rho_v$  – то же, что и в формуле (9);

$t_{ух}$  – температура уходящего воздуха, °С;

$t_{пр}$  – температура приточного воздуха, °С, определяется согласно СП 60.13330.2016.

Определение минимального воздухообмена при одновременном наличии в помещении теплоизбытков и влаговыделений осуществляется с помощью I-d диаграммы.

**Пример.** Необходимо определить величину минимального воздухообмена в помещении лаборатории школы площадью  $A_p$  40 м<sup>2</sup>, высотой  $h$  3,3 м. Выделяющееся вредное вещество в лаборатории – озон в количестве  $m_{O_3}$  150 мг/ч. Расход воздуха, удаляемого из обслуживаемой зоны местными отсосами от оборудования, равен  $L_{мо}$  100 м<sup>3</sup>/ч. Количество озона, удаляемого местными отсосами,  $m_{моO_3}$  90 мг/ч. Количество озона, удаляемого системой общеобменной вентиляции,  $m_{вO_3}$  60 мг/ч. Предельно допустимая концентрация вредного вещества в обслуживаемой зоне  $q_{O_3}$  0,1 мг/м<sup>3</sup>. Концентрация вредного вещества в наружном воздухе  $q_n$  0 мг/м<sup>3</sup>.

Количество приточного воздуха с учетом выделения вредного вещества в помещении определяют по формуле (6):

$$L_{вр.мо} = 100 + \frac{60 - 100(0,1 - 0)}{0,1 - 0} = 600 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Минимальное количество приточного воздуха следует принять  $L_{п, вр.мо} = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

## Литература


1. СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». М., 2017.
2. ГН 2.1.6.3492–17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений». М., 2017.
3. ГН 2.1.6.2309–07 «Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест». М., 2007.
4. СП 118.13330.2012 «Общественные здания и сооружения». М., 2012.
5. ГН 2.2.5.3532–18 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны». М., 2018.
6. СанПин 2.1.3.2630–10 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям, осуществляющим медицинскую деятельность». М., 2010. 

Окончание статьи читайте в следующем номере.

Реклама

## Книги АВОК – загрузи и читай!

Теперь наши книги можно купить и в электронном виде

- заходите на сайт [www.abokbook.ru](http://www.abokbook.ru)
- ищите значок pdf 
- загружайте на свои компьютеры, планшеты, телефоны

Преимущества электронного формата:

- быстрое получение
- дружелюбный интерфейс
- удобный поиск
- возможность печати

www.abokbook.ru

Системные требования – любое цифровое устройство с установленной программой AdobeReader.

