

Б.С. Молчанов

Проектирование промышленной вентиляции

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 528
ББК 38.2
Б11

Б11 **Б.С. Молчанов**
Проектирование промышленной вентиляции / Б.С. Молчанов – М.: Книга по Требованию, 2023. – 240 с.

ISBN 978-5-458-43691-5

В книге рассматриваются вопросы проектирования промышленной вентиляции. Особое внимание обращено на определение количества удаляемого вентиляционного воздуха при локации основных, наиболее часто встречающихся в практике вредностей.

ISBN 978-5-458-43691-5

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ных условиях, все же благодаря способности организма к терморегуляции человек сравнительно легко приспосабливается к «ненормальной» температуре. Однако длительное воздействие высоких температур ухудшает самочувствие и снижает трудоспособность.

Определение количества тепла, поступающего в воздух помещения, производится по формулам и графикам, приводимым в справочниках по вентиляции. Остановимся здесь только на некоторых частных случаях.

Тепловыделения от станков обычно подсчитываются по формуле

$$Q = N_y \cdot 860 \mu_1 \mu_2 \mu_3 \mu_4 \text{ [ккал/ч]}, \quad (1)$$

где N_y — установленная мощность электродвигателей;

μ_1 — коэффициент использования установленной мощности (обычно 0,9—0,7);

μ_2 — коэффициент загрузки, учитывающий разность между среднечасовой потребляемой мощностью и максимальной (колеблется от 0,9 до 0,4);

μ_3 — коэффициент одновременности работы оборудования (колеблется от 1 до 0,3);

μ_4 — коэффициент перехода тепла в помещение (колеблется от 0,1 до 0,95).

Для механических цехов при постоянной работе и нормальной загрузке при работе без эмульсии

$$Q = N_y \cdot 860 \cdot 0,8 \cdot 0,75 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \approx N_y \cdot 860 \cdot 0,25 \text{ [ккал/ч]}. \quad (2)$$

Для тех же цехов, но при работе с эмульсией часть тепла расходуется на испарение. С достаточной для практики точностью можно считать

$$Q' = N_y \cdot 860 \cdot 0,2 \text{ [ккал/ч]}. \quad (3)$$

При наличии местных отсосов у станков (например, при обработке пластмасс)

$$Q'' = N_y \cdot 860 \cdot 0,15 \text{ [ккал/ч]}. \quad (4)$$

Для инструментальных, механосборочных и ремонтных цехов ввиду обычно меньшей загрузки оборудования следует считать соответственно:

$$Q = N_y \cdot 860 \cdot 0,22 \text{ [ккал/ч]}; \quad (5)$$

$$Q' = N_y \cdot 860 \cdot 0,18 \text{ [ккал/ч]}.$$

Для экспериментальных механических цехов, где коэффициент одновременно в среднем около 0,4,

$$Q = N_y \cdot 860 \cdot 0,15 \text{ [ккал/ч]}; \quad (6)$$

$$Q' = N_y \cdot 860 \cdot 0,12 \text{ [ккал/ч]}.$$

Для прессовых цехов при обработке металла, принимая μ_2 в пределах от 0,6 до 0,4, получаем

$$Q = N_y \cdot 860 (0,2 : 0,13) \text{ [ккал/ч]}. \quad (7)$$

Приведенные цифры следует рассматривать как средние. В отдельных случаях возможны отклонения.

Тепловыделения от нагретых поверхностей с малой криволинейностью удобнее всего определять по формуле

$$Q = \alpha F (t_{\text{ст}} - t_{\text{п}}) \text{ [ккал/ч]}, \quad (8)$$

где α — суммарный коэффициент теплоперевода;

F — площадь теплоотдающей поверхности в м^2 ;

$t_{\text{ст}}$ — температура поверхности в $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{п}}$ — температура воздуха помещения в $^{\circ}\text{C}$.

Коэффициент

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_{\text{л}} \text{ [ккал/ч} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{град]}. \quad (9)$$

Коэффициент теплоперевода конвекцией α_k с достаточной для практики точностью вычисляется по формулам:

для горизонтальной поверхности при направлении теплового потока снизу вверх

$$\alpha_k = 2,8 \sqrt[4]{t_{\text{ст}} - t_{\text{п}}}; \quad (10)$$

для горизонтальной поверхности при направлении теплового потока сверху вниз

$$\alpha_k = 1,4 \sqrt[4]{t_{\text{ст}} - t_{\text{п}}}; \quad (11)$$

для вертикальной поверхности

$$\alpha_k = 2,2 \sqrt[4]{t_{\text{ст}} - t_{\text{п}}}. \quad (12)$$

Коэффициент теплоперевода лучением $\alpha_{\text{л}}$ вычисляется по известной формуле

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{(0,01 T_{\text{ст}})^4 - (0,01 T_{\text{п}})^4}{t_{\text{ст}} - t_{\text{п}}} C_{\text{пр}}, \quad (13)$$

где $C_{\text{пр}}$ — приведенный коэффициент лучения в $\text{ккал/ч} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{град}$:

$$C_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}, \quad (14)$$

где $T_{\text{ст}}$ — абсолютная температура нагретой поверхности $(t_{\text{ст}} + 273)$;

$T_{\text{п}}$ — абсолютная температура тепловоспринимающей поверхности*;

Вместо $T_{\text{п}}$ практически иногда принимают $t_{\text{п}} + 273$.

C_s — коэффициент лучеиспускания абсолютно черного тела; $C_s = 4,96$;

C_1, C_2 — коэффициенты лучеиспускания нагретой и тепло-воспринимающей поверхностей.

Значения коэффициентов $\alpha_k, \alpha_l, \alpha$ для горизонтальной поверхности при температуре воздушной среды $t_n = 15^\circ \text{C}$ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов α_k, α_l и α для горизонтальной поверхности

$t_{ст}$	α_k	α_l	α	$t_{ст}$	α_k	α_l	α
25	3,9	3,1	7	65	7,5	3,7	11,2
35	5,9	3,2	9,1	70	7,6	3,8	11,4
40	6,3	3,3	9,6	80	8	4	12
55	7	3,4	10,4	90	8,2	4,2	12,4
60	7,3	3,6	10,9	145	9,5	5,6	15,1

Примечание. Приведенный коэффициент лучеиспускания принят равным 3.

Для других значений коэффициента $C_{пр}$ величина α_l может быть легко пересчитана путем умножения на величину $\frac{C_{пр}}{3}$. Для вертикальной поверхности табличные значения α_k нужно умножить на отношение

$$\frac{2,2}{2,8} \approx 0,78.$$

Тепловыделения от людей, находящихся в помещении, зависят от рода выполняемой ими работы и от температуры окружающего воздуха. Выделяемое человеком тепло складывается из явного, отдаваемого путем «сухой теплоотдачи» тела, и скрытого, т. е. тепла водяного пара, поступающего в помещение при дыхании и испарении с поверхности кожи.

В табл. 2 указаны явные тепловыделения и влаговыделения одного человека при различных условиях.

Таблица 2

Явные тепловыделения q в ккал/ч и влаговыделения d в г/ч от одного человека

Характер работы	Температура воздуха в $^\circ \text{C}$							
	15		20		25		30	
	q	d	q	d	q	d	q	d
Легкая	100	55	70	70	60	125	30	140
Средняя	110	110	80	160	70	180	35	230
Тяжелая	110	185	80	200	80	300	35	380

Иногда бывает необходимо определить количество тепла, поступающего в помещение от остывающего в нем материала или изделий. Это тепло в случае перехода из одного агрегатного состояния в другое (отвердевание) вычисляется по формуле

$$Q = Gb[c_1(t_n - t_{пл}) + i + c_2(t_{пл} - t_k)] \text{ [ккал/ч]}, \quad (15)$$

где G — вес остывающего в помещении материала в кг;
 c_1, c_2 — теплоемкости материала в жидком и твердом состояниях в пределах рассматриваемых температур в ккал/кг · град;*
 t_n — начальная температура материала в °С;
 $t_{пл}$ — температура плавления материала в °С;
 t_k — конечная температура материала в °С;
 i — скрытая теплота плавления материала в ккал/кг;
 b — опытный коэффициент, учитывающий интенсивность выделения тепла по времени и зависящий от структуры материала и размера его кусков (в случае остывания каких-либо изделий коэффициент b зависит от веса и формы изделий).

Расчет по формуле (15) был бы точным, если бы мы знали величину b , но, к сожалению, нет почти никаких опытных данных по определению этого коэффициента. Поэтому при периодическом поступлении в помещение нагретого материала и остывании его в течение нескольких часов для расчета теплопоступления принимают первый час: в течение первого часа тепловыделение наиболее интенсивно и составляет от 30 до 100% от всего количества тепла, выделяющегося при остывании материала.

Можно рекомендовать следующие ориентировочные значения коэффициента b :

а) при остывании расплавленного материала в виде больших масс (в тиглях, ковшах, крупных болванках):

весом более 300 кг

$$b = 0,3 : 0,4;$$

весом 100—200 кг

$$b = 0,4 : 0,5;$$

весом до 100 кг

$$b = 0,5 : 0,6;$$

б) при остывании мелких изделий (литье под давлением, литье пластмасс и т. п.)

$$b = 0,8 : 1;$$

в) при остывании твердых материалов или изделий:
 весом более 200 кг

$$b = 0,5 : 0,6;$$

* Принимаются по соответствующим справочникам

весом 50 ÷ 100 кг

$$b \dots 0,7 : 0,8;$$

весом до 50 кг

$$b \dots 0,9 : 1.$$

Сказанное относится к случаям периодического поступления в помещение нагретых материалов, когда интервалы между очередными порциями превышают 1 ч. Если же нагретый или расплавленный материал поступает в помещение непрерывно и равномерно или периодически, но с интервалами менее 1 ч, то количество тепла подсчитывается по той же формуле (15), но с коэффициентом $b=1$. В этом случае вес поступающего материала G выражается в кг/ч.

Приводим пример подсчета тепловыделений от остывающего шлака в помещении плавильного цеха.

Через каждые 3 ч выпускается $G=10$ т шлака при $t_{\text{ш}}=1300^\circ\text{C}$. Шлак остывает в помещении до $t_{\text{к}}=100^\circ\text{C}$ в ковшах, вмещающих 2000 кг; $t_{\text{пл}}=1000^\circ\text{C}$; $i \approx 45$ ккал/кг; $c_1=0,22$ ккал/кг · град; $c_2=0,18$ ккал/кг · град.

Для данного случая принимаем коэффициент $b=0,3$.

Количество выделяющегося тепла по формуле (15)

$$Q = 10\,000 \cdot 0,3 [0,22 (1300 - 1000) + 45 + 0,18 (1000 - 100)] \approx 820\,000 \text{ ккал/ч.}$$

Теплопоступления в помещение от солнечной радиации учитываются в тепловом балансе при наружных температурах $+10^\circ\text{C}$ и выше.

Количество тепла, поступающего в помещение от солнечной радиации, определяют по формулам:

для остекленных поверхностей

$$Q_{\text{р}}^0 = F_0 q_0 A_0 \text{ [ккал/ч];} \quad (16)$$

для покрытий

$$Q_{\text{р}}^{\text{II}} = F_{\text{II}} q_{\text{II}} K_{\text{II}} \text{ [ккал/ч],} \quad (17)$$

где F_0 и F_{II} — поверхности остекления или покрытий в м^2 ;

q_0 — величина радиации в ккал/ $\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ через 1 м^2 поверхности остекления, зависящая от ее ориентации по странам света;

q_{II} — величина радиации в ккал/ $\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ через 1 м^2 поверхности покрытия;

A_0 — коэффициент, зависящий от характеристики остекления;

K_{II} — коэффициент теплопередачи покрытия.

При подсчете теплопоступлений от солнечной радиации следует принимать большую из двух величин:

Солнечная радиация q_0 через остекленные поверхности в $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{ч}$ (при $A_0 = 1$)

Характеристика остекленной поверхности	Страны света и широты															
	юг				юго-восток и юго-запад				восток и запад				северо-восток и северо-запад			
	35	45	55	65	35'	45°	55'	65'	35	45	55'	65	35	45	55	65
Окна с двойным остеклением (две рамы):																
с деревянными переплетами	110	125	125	145	85	110	125	145	125	125	145	145	65	65	65	60
с металлическими переплетами	140	160	160	180	110	140	160	180	160	160	180	180	80	80	80	80
Фонарь с двойным вертикальным остеклением (прямоугольный тип Шеда):																
с металлическими переплетами	130	160	160	170	110	140	170	170	160	160	180	180	85	85	85	80
с деревянными переплетами	120	145	145	150	100	125	150	150	145	145	160	160	75	75	75	70

Примечание. Для остекленных поверхностей, ориентированных на север, $q_n = 0$.

теплопоступление через остекление, расположенное в одной стене помещения, в сумме с теплопоступлением через покрытие и фонарь;

теплопоступление через остекление, расположенное в двух взаимно перпендикулярных стенах помещения, с коэффициентом 0,7 в сумме с теплопоступлением через покрытие и фонарь.

Величины q_n указаны в табл. 3. Значения q_n и A_0 приведены в табл. 4 и 5.

Т а б л и ц а 4

Величина радиации q_n в ккал/м²ч
через 1 м² поверхности покрытия

Характеристика покрытия и широта	q_n
При бесчердачном покрытии для широт:	
35	20
45	18
55	15
65	12
При покрытии с чердаком для всех широт	5

П р и м е ч а н и е. Коэффициент теплопередачи покрытия должен быть не выше 0,8 ккал м⁻²·град.

Т а б л и ц а 5

Значения коэффициента A_0

Характеристика остекления	A_0
Остекление с одной рамой:	
двойное	1,15
одинарное	1,45
Загрязнение стекла:	
обычное	0,8
сильное	0,7
Забелка окон	0,6
Остекление с матовыми стеклами	0,4
Внешнее зашторивание окон	0,25

П р и м е ч а н и е. Солнечная радиация через стены не учитывается.

§ 3. Влаговыведения

Влаговыведения в воздух производственных помещений протекают в основном следующим образом:

непосредственно в помещение;

с воздухом более влажным, чем воздух помещения (в том числе при дыхании людей);

с открытых водных поверхностей или из смоченных материалов за счет их собственного тепла или за счет тепла, подводимого извне;

при кипении воды;

с холодных смоченных поверхностей за счет тепла окружающего воздуха;

в результате химических реакций.

Этим исчерпываются возможные случаи промышленных влаговыведений. Следует отметить процесс влаговыведения путем испарения с холодных смоченных поверхностей, когда тепло в виде теплоты испарения не поступает в помещение и не влияет на его тепловой баланс. Это типичный случай испарения с мокрого пола, где вода находится длительное время и принимает температуру мокрого термометра. Из помещения заимствуется

явное тепло (сухое), а возвращается в помещение то же количество тепла, но в скрытом виде (тепло парообразования).

Количество влаги, испаряющейся с открытой водной поверхности при нормальном барометрическом давлении, определяется по формуле

$$G = (a + 0,0174v)(p_2 - p_1)F \text{ [кг/ч]}, \quad (18)$$

где a — фактор гравитационной подвижности окружающей среды для температур помещений от $+15$ до $+30^\circ\text{C}$;

v — скорость движения воздуха над зеркалом испарения в м/сек ;

p_2 — упругость водяных паров, насыщающих воздух при температуре поверхности испаряющейся воды, в мм рт. ст. ;

p_1 — упругость водяных паров в окружающем воздухе, соответствующая степени его насыщения, в мм рт. ст. ;

F — поверхность испарения в м^2 .

Если температура испаряющейся жидкости поддерживается на постоянном уровне, то температура поверхности испарения при спокойной поверхности принимается по табл. 6.

Значения фактора гравитационной подвижности a можно принимать по табл. 7.

При спокойной поверхности испарения и известных ее размерах определение количества испаряющейся влаги несложно. Сложнее обстоит дело, если поверхность жидкости неровная, например при выделении из нее газа, при перемешивании или

Таблица 6

Температура поверхности испарения в зависимости от температуры жидкости для спокойной поверхности и параметрах воздуха в помещении $t = 20^\circ\text{C}$ и $\varphi = 70\%$

Температура жидкости в $^\circ\text{C}$	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	95
Температура поверхности в $^\circ\text{C}$	18	23	28	33	37	41	45	51	58	69	82	90

Таблица 7

Значение фактора гравитационной подвижности a

Температура воды в $^\circ\text{C}$	До 30	40	50	60	70	80	90	100
a	0,022	0,028	0,033	0,037	0,041	0,046	0,051	0,06

П р и м е ч а н и е. При испарении влаги со смоченных поверхностей строительных ограждений следует принимать $a = 0,031$.

продувке воздухом. В этом случае поверхность испарения резко возрастает и должна быть увеличена в 1,5- 2,5 раза. Температура же испаряющейся жидкости принимается на 10—15% ниже, чем в случае спокойной поверхности испарения.

Если неровную поверхность имеют смоченные материалы (например, материя, дерево), рекомендуется увеличивать поверхность испарения в 2—3 раза. Для материи, имеющей складки, может быть принято максимальное увеличение поверхности. Для других влажных материалов (дерево, сыпучие) трехкратное увеличение поверхности может быть приемлемо лишь в исключительных случаях.

Нормы и справочники, рекомендуя значительное увеличение расчетной поверхности для влажных неровных материалов, не дают никаких указаний о расчетной температуре испарения. Пользоваться данными для спокойной поверхности жидкости в этом случае неправильно, так как температура испарения будет ниже, а насколько, сказать трудно, так как это зависит от структуры материала, действительной и расчетной степени испарности и т. п. С известной приближенностью можно считать, что температура испарения на 20% ниже приводимой в таблицах для спокойной жидкости.

При вылипании горячей воды и стекании ее по полу бывает затруднительно определить и поверхность испарения и ее среднюю температуру (или же конечную температуру перед стоком в канализацию). Лучше всего базироваться на фактических замерах. Если же смоченная поверхность более или менее определенная, то температуру можно определить путем пробных подсчетов.

Количество воды, испаряющейся со смоченной поверхности пола, при известных начальной и конечной температурах можно определять по формуле

$$G = \frac{G_c(t_r - t_y)}{585} \quad [\text{кг/ч}], \quad (19)$$

где G_c — количество горячей воды, стекающей на пол, в кг/ч;

t_r — температура вытекающей горячей воды в °С;

t_y — конечная температура воды, поступающей в канализацию, в °С.

В формулу (18) входит скорость воздуха над поверхностью испарения. Ни в справочниках, ни в нормах величина этой скорости не приводится. Рекомендуется принимать следующие значения скорости v :

для воздуха, движущегося естественно,

$$v = 0,3 \div 0,4 \text{ м/сек};$$

для воздуха, движущегося принудительно (отсос воздуха, близость приточных струй и т. п.),

$$v = 0,6 \text{ м/сек};$$

В табл. 8 указаны количество воды, испаряющейся с 1 м² зеркала ванны при спокойной поверхности ($t_n=20^\circ\text{C}$; $\varphi=70\%$), и скорости $v=0,3\text{ м/сек}$.

Таблица 8

Количество воды, испаряющейся с 1 м² поверхности ванны

t жидко- сти в $^\circ\text{C}$	t расчет- ная в $^\circ\text{C}$	p , в мм рт. ст.	G в кг/ч	t жидко- сти в $^\circ\text{C}$	t расчет- ная в $^\circ\text{C}$	p , в мм рт. ст.	G в кг/ч
25	23	20,9	0,24	65	51	112,0	4,6
30	28	28,1	0,43	70	58	135,5	5,7
35	33	37,4	0,83	75	63	170,8	8,0
40	37	46,7	1,14	80	69	223,2	11,3
45	41	57,9	1,74	85	75	288,5	15,5
50	45	71,4	2,25	90	82	384,4	20,8
55	48	83,2	2,98	95	90	525,4	33,4
60	51	96,7	3,55	100	97	681,0	43,5

При испарении с какой-либо поверхности холодной воды (с температурой мокрого термометра) рекомендуется пользоваться формулой

$$W = \frac{3,7 (t_c - t_m) F}{585} \quad [\text{кг/ч}], \quad (20)$$

где t_c — температура по сухому термометру;

t_m — температура по мокрому термометру;

F — поверхность испарения в м².

Для кипящей жидкости подсчет испарения по формуле (18) дает неверные результаты. По данным проф. В. В. Батурина, при кипении воды с 1 м² зеркала испарения выделяется до 50 кг/м²·ч, при интенсивном кипении — даже больше. В этом случае количество испаряющейся воды вычисляют по количеству подводимого тепла.

Количество водяного пара, поступающего в помещение через неплотности в трубопроводах и арматуре, а также образующегося в результате химических реакций, принимается по практическим данным, заимствованным из технологии.

§ 4. Паровыделения и газовыделения

Паровыделения и газовыделения, вредно влияющие на человека, в современной промышленности чрезвычайно разнообразны.

Если вредные газы весьма многочисленны и различны по своим свойствам, то вредные пары во многом сходны между собой (за исключением паров ртути). Они, как правило, представляют собой пары легколетучих жидкостей. Обычно это углеводороды, спирты и эфиры жирного и ароматического ряда и их производные.