

Проектирование систем вентиляции и отопления. Распределение приточного воздуха

Введение

Эффективное использование приточного воздуха зависит от размещения и вида приточных устройств. Системы воздухо-распределения обеспечивают в помещениях микроклимат с заданными допустимыми или оптимальными параметрами (чистота воздуха, его температура, относительная влажность и подвижность). Прогнозирование конечного результата производится на основании расчёта развития струй приточного воздуха. Наиболее полные и достоверные данные были получены профессором М.И. Гримитлиным [1, 2], включены в справочники и каталоги фирм-производителей и являются актуальными и в настоящее время.

Предмет и методы настоящего исследования

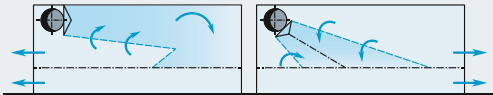
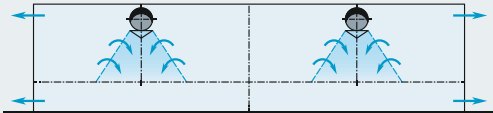
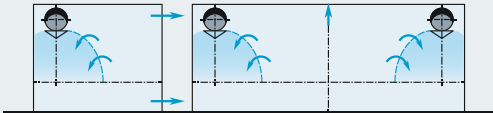
Рекомендации по разработке раздела «Распределение приточного воздуха» основаны на анализе закономерностей приточных струй и их взаимодействия, требований нормативной и технической литературы, а также опыте проектирования систем вентиляции помещений различного назначения.

Результаты

В статье представлены рекомендации по выбору и обоснованию исходных данных при проектировании систем отопления и вентиляции, обобщённые авторами в работе [3].

•• Применяемые схемы подачи приточного воздуха и воздухораспределители

табл. 1

Схемы воздухораспределения	Здания	Типы воздухо-распределителей
1. Подача приточного воздуха непосредственно в рабочую зону 	Производственные	ВЗПш
2. Подача приточного воздуха в верхнюю зону горизонтальными и наклонными струями 	Производственные Общественные	РР, РВ, НРВ, ВСП, ВГКМ, ВПК РР, РВ
3. Подача приточного воздуха вертикальными струями		
3.1. Компактные и плоские ненастилающиеся струи 	Производственные Общественные	ВРк ($\beta = 90^\circ$, $\beta = 120^\circ$), ПРМ, ПРМП, ВПК ВРк ($\beta = 90^\circ$, $\beta = 120^\circ$), ПРМ
3.2. Плоские настилающиеся струи 	Производственные	ВПК
3.3. Веерные струи 	Производственные Общественные	ВРк ($\beta = 180^\circ$) ВРк ($\beta = 180^\circ$)

УДК 616.24

Проектирование систем вентиляции и отопления. Распределение приточного воздуха

Р. Н. Шумилов, к.т.н., профессор; **Ю. И. Толстова**, к.т.н., доцент; **А. Н. Бояршинова**, старший преподаватель, ФГАУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» (Екатеринбург)

Приведены основы и методика расчёта систем воздухораспределения, обеспечивающих допустимые параметры воздушной среды и эффективное использование приточного воздуха. Рассмотрены схемы подачи приточного воздуха, типы и варианты размещения воздухораспределителей. Даны примеры расчёта для литейного и кузнечного цехов.

Ключевые слова: вентиляция, воздухораспределение, приточный воздух, приточные струи, параметры струи, схема воздухообмена.

UDC 616.24

Design of ventilation and heating systems. Supply air distribution

R. N. Shumilov, PhD, Professor; **Yu. I. Tolstova**, PhD, Associate Professor;
A. N. Bojarshinova, Senior Lecturer, Federal State Autonomous Educational In-
stitution of Higher Education "Ural Federal University named after the first Presi-
dent of Russia B. N. Yeltsin" (Ekaterinburg city)

Presents the fundamental and the method of calculation of air distribution systems, providing the required parameters of air environment and efficient use of fresh air. We consider supply air schemes, types and variants of placement the air diffusers. Given the calculation examples for foundry and forge manufactories.

Keywords: ventilation, air distribution systems, air inlet, stream parameters, air exchange scheme.

Перечень исходных данных для расчёта

Знание закономерностей приточных струй позволяет рассчитать оптимальное распределение приточного воздуха, при котором обеспечиваются допустимые параметры воздушной среды и эффективное использование приточного воздуха. В качестве исходных используются данные, полученные при расчёте воздухообмена в помещении, и требования строительных норм [4]:

- схема организации воздухообмена, для которой определена величина воздухообмена L_{in} (сверху вверх, сверху вниз, снизу вверх или снизу вниз);
- размеры помещения в плане и высота, м;
- расход приточного воздуха $L_0 = L_{in}$, м³/с;
- температура приточного воздуха $t_0 = t_{in}$, °С;
- нормируемая температура воздуха t_{wz} в рабочей зоне, °С;
- нормируемая скорость воздуха V_{wz} в рабочей зоне, м/с.

Также могут потребоваться дополнительно:

- концентрация $S_0 = S_{in}$ вредного вещества в приточном воздухе, мг/м³;
- предельно допустимая концентрация (ПДК) вредного вещества в воздухе рабочей зоны S_{wz} , мг/м³;
- расход $L_{кон}$ воздуха, удаляемого из помещения в конце развития струи системами местных отсосов или общеобменной вытяжной вентиляции, м³/с.

Выбор схемы подачи приточного воздуха и типа воздухораспределителя

В зависимости от назначения помещения, его высоты, габаритов оборудования и избыточных тепловыделений выбирается одна из рекомендуемых по [1, 2] схем подачи приточного воздуха и тип воздухораспределителя (табл. 1). Характеристики воздухораспределителей принимаются также по [1, 2] или каталогам фирм-производителей [5].

Подача приточного воздуха непосредственно в рабочую зону применяется, как правило, в цехах с тепловыделяющим оборудованием при избыточных тепловыделениях более 23 Вт/м³. Циркуляция воздуха в таких цехах определяется конвективными струями, образующимися над источниками теплоты.

Подача приточного воздуха непосредственно в рабочую зону предполагает, что скорость и температура воздуха на выходе из воздухораспределителя не превышают допустимых значений для рабочей зоны.

При длине помещения в направлении выпуска воздуха более расстояния до четвёртого критического сечения возникает опасность образования непрветриваемой зоны, которая, впрочем, устраняется при удалении воздуха из рабочей зоны с противоположной воздухораспределителям стороны.

Наиболее распространённой является подача приточного воздуха в верхнюю зону помещения горизонтальными настилающимися на потолок и ненастилающимися струями, а также наклонными или вертикальными струями. Применяется для помещений производственных и общественных зданий.

Подача приточного воздуха горизонтальными настилающимися на потолок струями является единственно возможной для помещений небольшой высоты (до 4 м), но может быть применена и в более высоких помещениях. В этом случае рабочая зона омывается воздухом, поступающим сверху, или обратным потоком. Размещение вытяжных проёмов зависит от положения второго критического сечения струи [1].

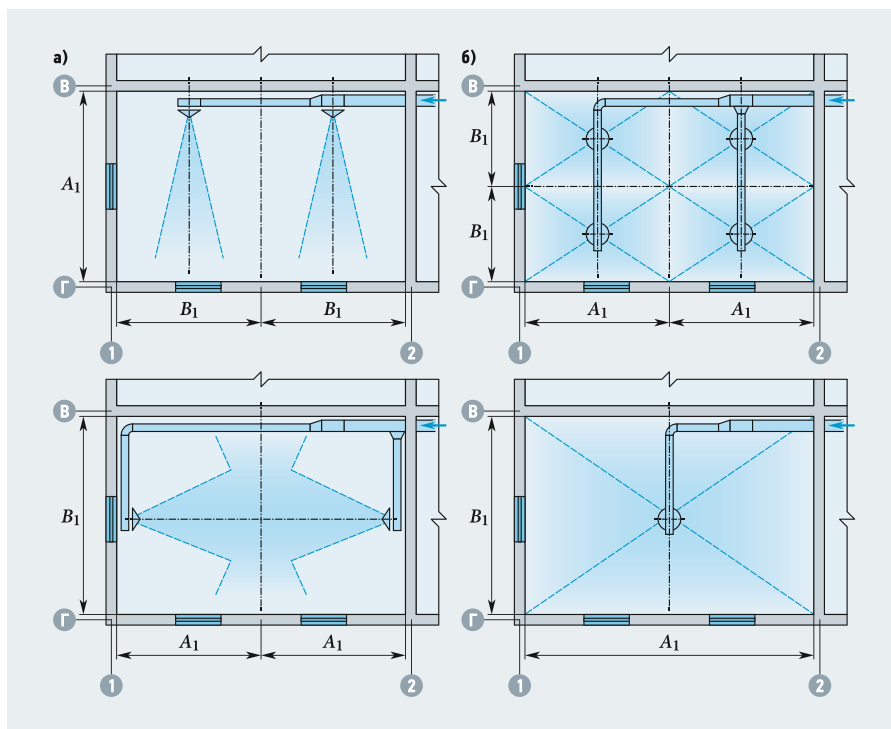


Рис. 1. Примеры размещения воздухораспределителей на плане помещения при подаче воздуха (а — горизонтальными настилающимися струями, б — вертикальными струями)

Подача приточного воздуха горизонтальными ненастилающимися струями допустима в помещениях высотой более 6 м при длине помещения в направлении выпуска воздуха больше x_3 и размещении вытяжных проёмов в пределах рабочей зоны. При подаче приточного воздуха наклонными струями воздухораспределители размещают на высоте 4–6 м от пола.

Удаление воздуха следует осуществлять из объёма помещения, не занятого приточными струями, чтобы не происходило удаления части приточного воздуха ещё до поступления его в рабочую зону. Зоны помещения, в которых целесообразно размещать вытяжные проёмы, выбирают из условия наиболее полного использования приточного воздуха для разбавления теплоты, водяных паров и вредных веществ в рабочей зоне. С этой целью размещать вытяжные проёмы рекомендуется по возможности в зонах, в которых наблюдаются наиболее высокие температуры и концентрации вредных веществ [3].

Размещение вытяжных проёмов в верхней зоне является обязательным в следующих случаях: при значительных избытках явной теплоты и при выделениях вредных или горючих газов или паров.

При этом в помещениях высотой до 6 м расход удаляемого из верхней зоны воздуха должен быть не менее однократного воздухообмена, а в помещениях высотой более 6 м — не менее 6 м³/ч на 1 м² площади пола [4].

Допустимые параметры струи на входе в обслуживаемую зону

Максимальные значения скорости и избыточной температуры воздуха наблюдаются только на оси приточной струи. Поэтому действующие нормы [4] допускают отклонение значений скорости и температуры воздуха на оси струи от нормируемых величин для рабочей зоны.

Значения допустимой скорости воздуха на оси струи на входе в рабочую зону $V_{x,доп}$ и избыточной температуры воздуха $\Delta t_{x,доп}$ принимают в зависимости от зна-

чений этих параметров в рабочей зоне (V_{wz} , t_{wz}) и от наличия постоянных рабочих мест в зоне прямого воздействия струи или обратного потока. Зоной прямого воздействия струи принято считать участок площади поперечного сечения её на входе в рабочую зону, в пределах которого скорости воздуха изменяются от V_x до $0,5V_x$. Радиус зоны прямого воздействия $R_{wz} = x \operatorname{tg}(\alpha_{0,5V})$ определяется следующими соотношениями

□ для компактных струй:

$$R_{wz} = 0,67x/m; \quad (1)$$

□ для веерных струй:

$$R_{wz} = 0,11x/m^2; \quad (2)$$

□ для плоских струй:

$$R_{wz} = 0,67x/m^2. \quad (3)$$

Примечание. Границы зоны прямого воздействия струи можно определить лишь после окончания расчёта воздухо-распределения. Поэтому на начальных этапах расчёта воздухо-распределения полагаем, что люди могут находиться в зоне прямого воздействия струи приточного воздуха или в зоне обратного потока.

Выбор типоразмера воздухораспределителя производится по величине допустимой начальной скорости воздуха. Для воздухораспределителей, подающих приточный воздух непосредственно в рабочую зону, она не должна превышать допустимой скорости для рабочей зоны

Допустимая скорость воздуха по оси струи на входе в рабочую зону $V_{x,доп}$ может быть выше нормируемой скорости для рабочей зоны V_{wz} и определяется:

$$V_{x,доп} \leq k V_{wz}, \quad (4)$$

где k — коэффициент перехода от нормируемой скорости движения воздуха к максимальной скорости воздуха в струе, который принимаем по табл. 2 [4].

При подаче в помещение нагретого воздуха ($t_0 > t_{wz}$) температура воздуха на оси струи на входе в рабочую зону будет выше температуры окружающего воздуха, а при подаче холодного воздуха ($t_0 < t_{wz}$) — ниже.

Отклонение температуры воздуха на оси струи от температуры воздуха в рабочей зоне $\Delta t_x = t_x - t_{wz}$, определяемое по формулам табл. 3 с учётом эффектов настиления, неизотермичности, взаимодействия струй, стеснённости их развития, а также в обратном потоке, не должно превышать допустимого:

$$\Delta t_x \leq \Delta t_{x,доп}. \quad (5)$$

Значения $\Delta t_{x,доп}$ приведены в табл. 3.

Кoeffициент k перехода*

табл. 2

Размещение людей / коэффициент k для категорий работ	I-й (лёгкой)	II-й и III-й (средней и тяжёлой)
В зоне прямого воздействия или обратного потока	1,4	1,8
Вне зоны прямого воздействия	1,6	2,0

Допустимое отклонение температуры воздуха**

табл. 3

Помещения / допустимые отклонения температуры $\Delta t_{x,доп}$ [°C] при размещении людей	Воздух в зоне прямого воздействия струи		Воздух вне зоны прямого воздействия	
	нагретый	холодный	нагретый	холодный
Жилые, общественные и административно-бытовые	3	1,5	3,5	2
Производственные	5	2	6	2,5

* От нормируемой допустимой скорости движения воздуха к максимальной скорости воздуха в струе. ** В приточной струе от нормируемой температуры в рабочей зоне.

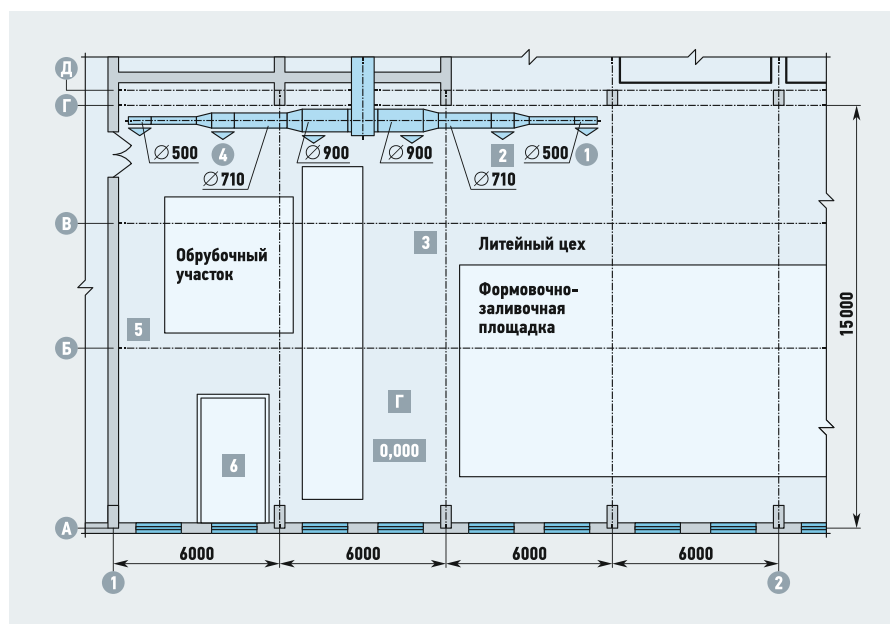


Рис. 2. Фрагмент плана литейного цеха (1 и 4 — бегуны смесительные; 2 — печь разогрева ковшов; 3 — землесейлка; 5 — заточной станок; 6 — голтовочный барабан)

Как следует из данных табл. 3, при подаче нагретого воздуха допустимо большее отклонение температуры воздуха на оси приточной струи при входе в рабочую зону по сравнению с нормируемой температурой в рабочей зоне, чем при подаче охлажденного воздуха.

Выбор типоразмера и количества воздухоораспределителей

Выбор типоразмера и количества воздухоораспределителей выполняется в следующей последовательности. Необходимо выбрать одну из схем воздухоораспределения и тип воздухоораспределителя (табл. 1). По данным [1, 2] находим значения температурного коэффициента m_0 , скоростного коэффициента n_0 , коэффициента местного сопротивления ζ и вид создаваемой воздухоораспределителем струи. Для настилающихся струй производим переопределение скоростного и температурного коэффициентов:

$$m = m_0 K_{\text{нас}}; \quad (6)$$

$$n = n_0 K_{\text{нас}}; \quad (7)$$

где $K_{\text{нас}}$ — коэффициент настилаяния.

Для струй, настилаяющихся на одну поверхность, $K_{\text{нас}} = 1,41$; для струй, настилаяющихся на две поверхности, $K_{\text{нас}} = 1,7$; для ненастилаяющихся струй $K_{\text{нас}} = 1$.

Выбор типоразмера воздухоораспределителя производится по величине допустимой начальной скорости воздуха $V_{0,\text{доп}}$. Для воздухоораспределителей, подающих приточный воздух непосредственно в рабочую зону, величина $V_{0,\text{доп}}$ не должна превышать скорости воздуха, допустимой для рабочей зоны V_{wz} . Для

помещений общественных зданий $V_{0,\text{доп}}$ принимается по акустическим условиям не более 3 м/с. В помещениях производственных зданий допустимы более высокие скорости воздуха до 10 м/с.

Задаваясь значением $V_{0,\text{доп}}$, можно найти суммарную площадь всех воздухоораспределителей:

$$\sum F_0 = \frac{L_{\text{ин}}}{V_{0,\text{доп}}}, \quad (8)$$

где $L_{\text{ин}}$ — расход приточного воздуха, м³/с. После этого выбираем тип и типоразмер воздухоораспределителя по справочным данным или каталогам фирм-производителей и находим площадь подводящего патрубка воздухоораспределителя F_0 . Тогда количество воздухоораспределителей N найдём с округлением до целого числа как:

$$N = \frac{\sum F_0}{F_0}. \quad (9)$$

Взаимодействие струй при $N > 1$ представляется возможным учесть, если они развиваются в одинаковых условиях, являются параллельными или соосными встречными, так как остальные случаи не изучены. Поэтому при выборе типоразмера воздухоораспределителя следует руководствоваться рекомендациями:

- количество воздухоораспределителей должно быть минимальным;
- в пределах помещения следует использовать воздухоораспределители одного типоразмера;
- размеры площадки пола A_1 или B_1 (рис. 1), обслуживаемой одним воздухоораспределителем, принимать не более 6 м

(соотношение большей стороны такой площадки к меньшей $A_1/B_1 = 1,0-1,4$);

□ можно не опасаться увеличения количества воздухоораспределителей сверх определённого по (9), так как при этом начальная скорость V_0 уменьшается.

При затруднениях с выполнением этих рекомендаций следует выбрать другое количество воздухоораспределителей этого типоразмера, другой типоразмер или изменить схему подачи приточного воздуха и тип воздухоораспределителя.

После этого находим уточнённое значение начальной скорости воздуха непосредственно в подводящем патрубке воздухоораспределителя:

$$V_0 = \frac{L_{\text{ин}}}{NF_0}. \quad (10)$$

Уточнение расчётной схемы струи и определение её параметров

Далее необходимо уточнить схему установки воздухоораспределителей с учётом их габаритов. Для неизотермических струй следует рассчитать траекторию оси струи и её длину x от воздухоораспределителя до входа в рабочую зону согласно работам [1, 2].

Затем следует определить расстояния до критических сечений и найти габаритные размеры струи в этих сечениях. Следует выполнить в масштабе схему развития струи приточного воздуха и корректировать её в процессе расчётов.

Анализ возможности использования схемы организации воздухообмена, принятой при определении его величины, выполняется в зависимости от положения второго критического сечения x_2 относительно уровня верха рабочей зоны. При этом также может возникнуть необходимость выбора другого типа или типоразмера воздухоораспределителя, схемы подачи приточного воздуха или схемы организации воздухообмена и изменения его величины.

После этого определяются величины коэффициентов неизотермичности K_{tv} (K_{tt}) стеснения $K_{ст}$ и взаимодействия $K_{вз}$. Рассчитываются параметры струи непосредственно на входе в рабочую зону по следующим зависимостям:

$$V_{x,p} = V_x K_{tv} K_{вз} K_{ст}; \quad (11)$$

$$\Delta t_{x,p} = \frac{\Delta t_x K_{вз}}{K_{tt} K_{ст}}, \quad (12)$$

и сравниваются с их допустимыми значениями.

Таким образом, расчёт воздухоораспределения является многовариантным и трудоёмким, что требует применения для расчётов компьютерных программ.

Пример 1. Выполнить расчёт воздухораспределения для литейного цеха (рис. 2) для холодного периода года. Приточный воздух подаётся в осях 3–6 в относительно «чистую» зону цеха, так как в правой части цеха располагается плавильная электропечь (этот участок цеха на плане не показан). Наиболее интенсивное загрязнение воздуха пылью и газами происходит при сливе расплавленной стали в ковш для последующего разлива стали в формы.

Исходные данные: схема организации воздухообмена «сверху-вверх»; размеры помещения в плане 15 × 18 м; высота помещения — 8 м; расход приточного воздуха $L_0 = L_{in} = 11,4 \text{ м}^3/\text{с}$; температура приточного воздуха $t_0 = t_{in} = 10,2^\circ\text{C}$; нормируемая допустимая температура воздуха в рабочей зоне $t_{wz} = 13^\circ\text{C}$; нормируемая скорость воздуха в рабочей зоне $V_{wz} = 0,5 \text{ м/с}$.

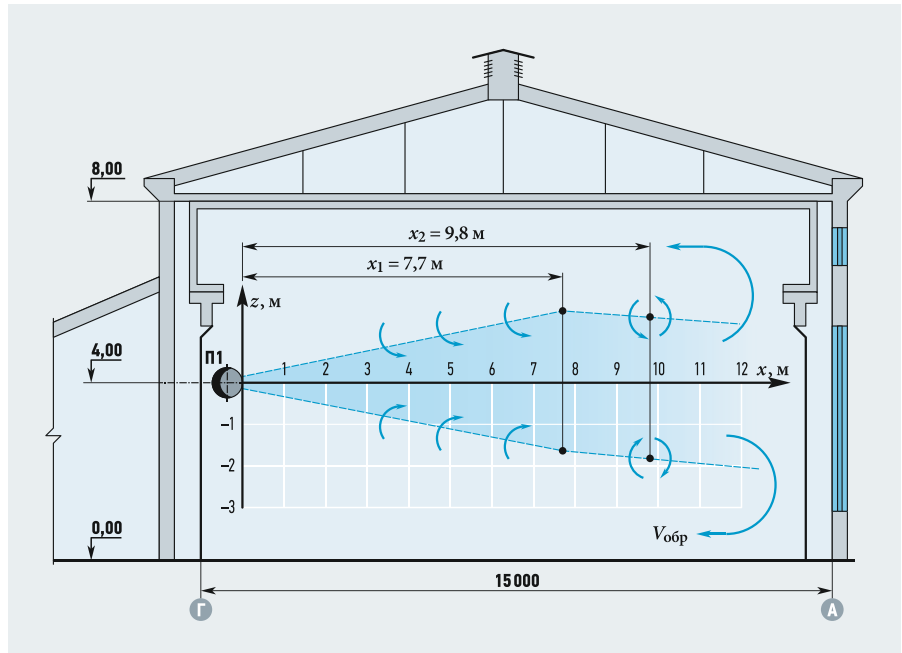


Рис. 3. Расчётная схема приточной струи

Приточный воздух подаётся в осях 3–6 в относительно «чистой» зону цеха, так как в правой части цеха располагается плавильная электропечь. Наиболее интенсивное загрязнение воздуха пылью и газами происходит именно при сливе расплавленной стали в ковш для последующего разлива стали в формы

Так как температура приточного воздуха ниже допустимой для рабочей зоны, следует подавать приточный воздух в верхнюю зону горизонтальными ненастилающимися струями на отметке 4 м (рис. 3).

Определим необходимое количество и выберем тип воздухораспределителей. Примем начальную скорость воздуха в присоединительном патрубке воздухораспределителя $V_0 = 8 \text{ м/с}$ и найдём необходимую суммарную расчётную площадь воздухораспределителей по следующему уравнению (8):

$$\sum F_0 = \frac{L_{in}}{V_0} = \frac{11,4}{8,0} = 1,425 \text{ м}^2.$$

Выберем для подачи приточного воздуха решётку вентиляционную регулируемого типа РВ5 (размеры 400 × 600 мм) с расчётной площадью $F_0 = 0,24 \text{ м}^2$ [1]. Тогда необходимое количество воздухораспределителей составит:

$$N = \frac{\sum F_0}{F_0} = \frac{1,425}{0,24} = 6 \text{ шт.}$$

Такое количество воздухораспределителей достаточно удобно для размещения по две решётки ВР между строительными осями цеха (рис. 2).

Характеристики воздухораспределителя: расчётная площадь — $F_0 = 0,24 \text{ м}^2$; эквивалентный диаметр — $d_0 = 1,13 \sqrt{F_0} = 1,13 \sqrt{0,24} = 0,55 \text{ м}$; присоединительные размеры 400 × 600 мм; скоростной коэффициент для компактной струи $m = 6,3$; температурный коэффициент $n = 5,1$.

Определим начальную скорость воздуха, подставив в соответствующую формулу значения:

$$V_0 = \frac{\sum F_0}{F_0} = \frac{11,4}{6,0 \times 0,24} = 7,9 \text{ м/с.}$$

Для уточнения расчётной схемы струи найдём число Архимеда по начальным условиям Ar_0 :

$$Ar_0 = \frac{g d_0^3 (t_0 - t_{p3})}{V_0^2 (273 + t_{p3})} = \frac{9,81 \times 0,55^3 \times (10,2 - 13)}{7,9^2 \times (273 + 13)} = -0,000846.$$

Тогда значение текущего числа Архимеда Ar_x определим как:

$$Ar_x = \frac{n}{m^2} \left(\frac{x}{d_0} \right)^2 Ar_0 = \frac{5,1}{6,3^2} \times \frac{x^2}{0,55^2} \times (-0,000846) = -0,00036 x^2.$$

При подаче приточного воздуха горизонтальными струями начальный угол оси струи к горизонту составляет $\alpha_0 = 0^\circ$. Уравнение траектории оси компактной струи воздуха, отклоняющейся под действием гравитационных сил вниз на величину Δz , примет вид:

$$\Delta z = x \operatorname{tg}(\alpha_0) + 0,6 x Ar_x = -0,00021 x_3.$$

Отклонение оси струи вниз под действием гравитационных сил в соответствии с последним уравнением на расстоянии x от воздухораспределителя:

x, м	2	4	6	8	10	12
Δz, м	-0,0017	-0,013	-0,045	-0,1	-0,21	-0,36

Из результатов расчёта следует, что отклонение оси струи от горизонтали незначительное (рис. 3).

Определим характер расширения струи. Площадь сечения помещения в направлении, перпендикулярном к струе, составляет по трём пролётам:

$$F = 3 \times 6 \times 8 = 144 \text{ м}^2.$$

Площадь сечения помещения, приходящаяся на одну струю:

$$F_{II} = \frac{F}{N} = \frac{144}{6,0} = 24 \text{ м}^2.$$

Струя расширяется до первого критического сечения x_1 , расстояние которого от воздухораспределителя составляет:

$$x_1 = 0,25 m \sqrt{F_{II}} = 0,25 \times 6,3 \times \sqrt{24} = 7,7 \text{ м.}$$

Найдём радиус струи R на расстоянии x_1 от воздухораспределителя по формуле $R = 2 x_1 \operatorname{tg}(\alpha_{0,5V})$, где $\operatorname{tg}(\alpha_{0,5V})$ — тангенс угла между осью струи и лучом, направленным из центра воздухораспределителя в точку сечения струи, в которой скорость воздуха составляет половину от её значения на оси струи.

Для компактной струи значение:

$$\operatorname{tg}(\alpha_{0,5V}) = \frac{0,67}{m} = \frac{0,67}{6,3} = 0,106,$$

а радиус струи составит величину:

$$R = 2 \times 7,7 \times 0,106 = 1,6 \text{ м.}$$

После первого критического сечения расширение струи прекращается, подмешивание окружающего воздуха продолжается до второго критического сечения, длина которого определяется как:

$$x_2 = 0,32 m \sqrt{F_n} = 0,32 \times 6,3 \times \sqrt{24} = 9,8 \text{ м.}$$

Схема развития струи в соответствии с выполненными расчётами показана на рис. 4.3, из которого следует, что рабочая зона омывается обратным потоком воздуха. Поэтому влиянием неизомеричности, стеснённости и взаимодействия струй пренебрегаем.

Скорость воздуха в обратном потоке рассчитывается как:

$$V_{обп} = 0,78 V_0 \sqrt{\frac{F_0}{F_n}} = 0,78 \times 7,9 \sqrt{\frac{0,24}{24}} = 0,6 \text{ м/с.}$$

немного превышает допустимое значение 0,5 м/с.

Избыточная температура воздуха в обратном потоке:

$$\Delta t_{обп} = 1,4 \Delta t_0 \sqrt{\frac{F_0}{F_n}} = 1,4 \times 2,8 \sqrt{\frac{0,24}{24}} = 0,4 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

не превышает допустимого отклонения от температуры воздуха в рабочей зоне.

Пример 4.2. Рассчитать параметры приточной струи при аэрации кузнечного цеха в холодный период года.

Исходные данные: наружный воздух поступает в цех с одной стороны через ленточный проём высотой 1,5 м, нижняя кромка которого расположена на отметке 5,00 м; проём снабжён среднеподвесными створками (рис. 4), установленными под углом $\alpha_0 = 45^\circ$; цех однопролётный с шириной пролёта 12 м; температура наружного воздуха — $t_{ext} = -35^\circ\text{C}$, температура воздуха в цехе — $t_{wz} = 16^\circ\text{C}$, скорость воздуха в проёме — $V_0 = 1 \text{ м/с}$, допустимая подвижность воздуха в рабочей зоне — $V_{wz} = 0,5 \text{ м/с}$.

Допустимая скорость воздуха на оси струи на входе в рабочую зону по (4.4) составляет $V_{x, доп} = k V_{wz} = 1,8 \times 0,5 = 0,9 \text{ м/с}$, допустимое отклонение температуры воздуха на оси струи по табл. 4.2 составляет $\Delta t_{x, доп} = 2^\circ\text{C}$.

Приточная струя плоская с начальным размером $B_0 = 0,7 \text{ м}$, значения скоростного и температурного коэффициентов для прямоугольного щелевого отверстия составляют по [1, 2] $m = 2,5, n = 2$.

Значение числа Архимеда, определённое по начальным условиям, найдём для плоской струи по формулам, приведённым в примере 1:

$$Ar_0 = \frac{g B_0 \Delta t_0}{V_0^2 t_{окр}} = \frac{9,81 \times 0,7 \times (-35 - 16)}{1^2 (273 + 16)} = -1,22.$$

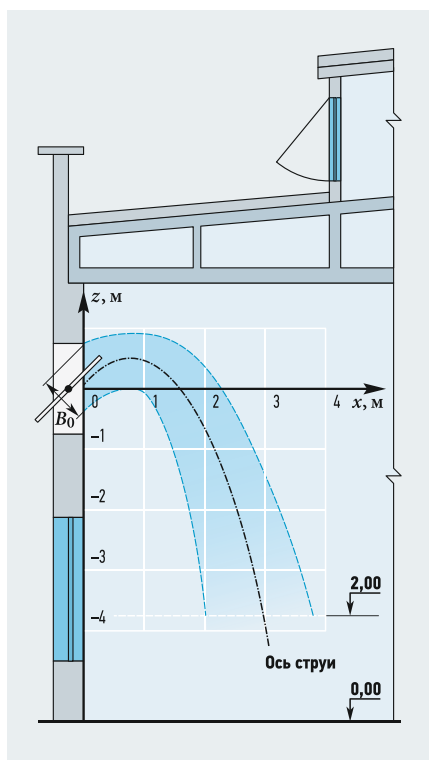


Рис. 4. Разрез цеха и схема развития плоской струи

Текущее число Архимеда:

$$Ar_x = \frac{n}{m^2} \left(\frac{x}{B_0} \right)^{3/2} Ar_0 = \frac{2,0}{2,5^2} \left(\frac{x}{0,7} \right)^{3/2} \times (-1,22) = -0,66 x^{3/2}.$$

Уравнение траектории оси струи согласно [1, 2]:

$$\Delta z = x \operatorname{tg}(\alpha_0) + 0,7 x Ar_x = x - 0,46 x^{5/2}.$$

Приведём результаты расчёта координат оси струи:

x, м	1,0	1,5	2,0	2,4	3,0
Δz, м	0,54	0,23	-0,6	-1,7	-4,17

Определим температуру воздуха и скорость на оси струи на входе в рабочую зону. Длина оси струи по графику на рис. 4 от приточного проёма до входа в рабочую зону составляет $x = 6 \text{ м}$.

Протяжённость начального участка для плоской струи:

$$x_{нач} = m^2 B_0 = 2,5 \times 0,7 = 4,4 \text{ м.}$$

Так как $x > x_{нач}$, на входе в рабочую зону имеем основной участок струи. Текущее число Архимеда для плоской струи найдём по формулам примера 1:

$$Ar_x = \frac{2,0}{2,5^2} \left(\frac{6,0}{0,7} \right)^{3/2} ; -1,22 = -9,8.$$

При однонаправленном действии инерционных и гравитационных сил коэффициент неизомеричности $K_{tv} = 1$.

Влияние неизомеричности на температуру воздуха оценивается коэффициентом K_{tt} и определяется по следующей формуле [1, 2]:

$$K_{tt} = \sqrt{1 - Ar_x} = \sqrt{1 + 9,8} = 3,3.$$

Коэффициент стеснения находим по соотношению (3.56), где в качестве H принята ширина пролёта 12 м:

$$K_{ст} = 1,09 - \frac{1,19 x}{m^2 H} = 1,09 - \frac{1,19 \times 6,0}{2,5^2 \times 12} = 1.$$

Скорость воздуха на оси струи определим по уравнению при коэффициенте взаимодействия $K_{вз} = 1$ (других струй нет):

$$V_x = V_0 m \sqrt{\frac{B_0}{x}} K_{tv} K_{вз} K_{ст} = 1,0 \times 2,5 \sqrt{\frac{0,7}{6,0}} \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 0,8 \text{ м/с.}$$

Скорость воздуха не превышает допустимого значения 0,9 м/с. Избыточная температура воздуха на оси струи по руководствам [1, 2]:

$$\Delta t_x = \Delta t_0 n \sqrt{\frac{B_0}{x}} \frac{K_{вз}}{K_{tt} K_{ст}} = (-35 - 16) \times 2,0 \times \sqrt{\frac{0,7}{6,0}} \frac{1}{3,3 \times 1,0} = -11^\circ\text{C.}$$

Абсолютное значение $|\Delta t_x| = 11^\circ\text{C}$ превышает допустимое отклонение $\Delta t_{доп} = 2^\circ\text{C}$. Температуру воздуха на оси струи на входе в рабочую зону определим из уравнения $\Delta t_x = t_x - t_{wz}$, откуда:

$$t_x = \Delta t_x + t_{wz} = -11 + 16 = 5^\circ\text{C.}$$

На основании выполненных расчётов можно сделать вывод о том, что естественный приток в данном случае недопустим. Таким образом, применение аэрации в холодный период года требует обоснования расчётом.

Выводы

Разработаны рекомендации по проектированию схемы подачи приточного воздуха, определению допустимых параметров струи на входе в обслуживаемую зону, выбору типоразмера и количества приточных устройств. Обоснована необходимость детальных расчётов с целью определения параметров приточных струй и прогнозирования эффективности приточной вентиляции. Приведены примеры расчётов. ●

1. Шумилов Р.Н., Толстова Ю.И., Бояршинова А.Н. Проектирование систем вентиляции и отопления: Учеб. пос. Изд. 2-е, перераб. и доп. — СПб.: Изд-во «Лань», 2014. 336 с.
2. Гримитлин М.И. Распределение воздуха в помещениях. — М.: Стройиздат, 1982. 164 с.
3. Гримитлин М.И., Позин Г.М., Тимофеева О.Н. и др. Вентиляция и отопление цехов машиностроительных предприятий. — М.: Машиностроение, 1993. 288 с.
4. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. Введён с 01.01.2013. — М.: Минрегион России, 2013. 76 с.
5. Воздухораспределители «Арктос»: указания по расчёту и практическому применению. Изд. 4-е. — СПб., 2006. 155 с.

Design of ventilation and heating systems. Supply air distribution.
Pages 96–101.

R. N. Shumilov, PhD, Professor; **Yu. I. Tolstova**, PhD, Associate Professor; **A. N. Bojarshinova**, Senior Lecturer, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin” (Ekaterinburg city)

-
1. Shumilov R.N., Tolstova Ju.I., Bojarshinova A.N. Proektirovanie sistem ventiljacii i otoplenija: Ucheb. pos. Izd. 2-e, pererab. i dop. [Design of ventilation and heating systems. Training manual. 2nd edition, rev. and exp.]. Saint-Petersburg. Izdatel'stvo Lan' ["Doe" Publishers]. 2014. 336 p.
 2. Grimitlin M.I. Raspredelenie vozduha v pomeshhenijah [Air distribution in the premises]. Moscow. Izdatel'stvo Strojizdat ["Stroyizdat" Publishers]. 1982. 164 p.
 3. Grimitlin M.I., Pozin G.M., Timofeeva O.N. et al. Ventiljacija i otoplenie cehov mashinostroitel'nyh predprijatij [Ventilation and heating of plants of mechanical engineering facilities]. Moscow. Izdatel'stvo Mashinostroenie ["Mechanical engineering" Publishers]. 1993. 288 p.
 4. Svod Pravil (SP) [Set of Rules] 60.13330.2012. Otoplenie, ventiljacija i kondicionirovanie vozduha [Heating, Ventilation and Air Conditioning]. Aktualizirovannaja redakcija SNiP [An actualize release of Building Norms & Regulations (National Codes and Standards of Russia)] 41-01–2003. Vvedjon s 01.01.2013 [Entered at January 01 of 2013]. Moscow. Minregion Rossii [Russian Ministry of Regional Development]. 2013. 76 p.
 5. Vozduhoraspredeliteli “Arktos”: ukazanija po raschjotu i prakticheskomu primeneniju [“Arktos” air diffusers: guidance on the calculation and practical application]. Izd. 4-e. [4th edition]. Saint-Petersburg. 2006. 155 p.