

**М. И. Гримитлин, О.Н. Тимофеева, В.
М. Эльтерман, Л.С. Эльянов, Е.М.
Эльтерман**

**Вентиляция и отопление
цехов машиностроительных
 заводов**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 621
ББК 34.4
М11

M11 **М. И. Гrimитлин**
Вентиляция и отопление цехов машиностроительных заводов / М. И. Гrimитлин, О.Н. Тимофеева, В.М. Эльтерман, Л.С. Эльянов, Е.М. Эльтерман – М.: Книга по Требованию, 2012. – 272 с.

ISBN 978-5-458-26655-0

В книге освещены вопросы вентиляции и отопления основных цехов машиностроительных заводов. Изложены научные основы и методы расчета вентиляции и отопления производственных помещений, вопросы рассеивания вентиляционных выбросов в атмосфере. Рассмотрены принципиальные и конструктивные решения общеобменной и местной вентиляции применительно к основным цехам заводов машиностроения, а также проблемы вентиляции и отопления крупных блокированных цехов. Описаны способы автоматизации отопительно-вентиляционных систем. Книга предназначена для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием и эксплуатацией систем вентиляции и отопления на машиностроительных заводах, а также для работников служб охраны труда, технической и санитарной инспекций.

ISBN 978-5-458-26655-0

© Издание на русском языке, оформление

«YOYO Media», 2012

© Издание на русском языке, оцифровка,

«Книга по Требованию», 2012

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, кляксы, 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 первозданном 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.

ОБЩЕОБМЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ

1.1. САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОСТОЯНИЮ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ И СПОСОБЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

Производственные процессы, выполняемые в цехах машиностроительных заводов, сопровождаются выделением в воздух помещений вредных паров, газов, пыли и тепла. В результате ухудшения состояния воздушной среды помещений могут создаваться неблагоприятные условия труда, влияющие на самочувствие работающих в цехе, снижаться производительность труда. На выделяющиеся в производственных помещениях вредные вещества Министерством здравоохранения СССР установлены предельно допустимые концентрации в воздухе рабочей зоны (ПДК), т. е. такие концентрации, которые при ежедневной работе (в течение всей производственной деятельности) не могут вызывать у работающих заболеваний или отклонений в состоянии здоровья. В целях улучшения условий труда у нас в стране происходит постоянное снижение предельно допустимых концентраций вредных веществ. Так, в действующих в настоящее время санитарных нормах СН 245—71 снижены предельно допустимые концентрации для ряда веществ.

Для поддержания в производственных помещениях чистоты воздуха и метеорологических условий, удовлетворяющих санитарно-гигиеническим требованиям, устраивается вентиляция. Удаление загрязненного и подача свежего воздуха в помещения осуществляется под действием естественных сил (*естественная вентиляция*) или с помощью специальных механических побудителей движения воздуха—вентиляторов (*механическая вентиляция*). В связи с наметившейся в последние годы тенденцией к строительству крупных блокированных цехов возрастает удельный вес систем вентиляции с механическим побуждением.

На машиностроительных заводах, как правило, устраивается общебменная вентиляция в сочетании с местной.

Общебменная вентиляция предназначена для разбавления свежим воздухом выделяющихся в помещение вредных веществ (газов, паров, пыли) до предельно допустимых в рабочей зоне концентраций, а при избыточных тепловыделениях — для сни-

жения температуры воздуха в той же зоне до требуемых значений: Общеобменная приточная вентиляция в основных цехах машиностроительных заводов выполняет также функции воздушного отопления.

Местная вытяжная вентиляция служит для улавливания вредных веществ непосредственно у места их выделения.

Местная приточная вентиляция обеспечивает заданные параметры воздушной среды в определенной части помещения.

В современных условиях, когда происходит неуклонная интенсификация производственных процессов, наиболее радикальным способом борьбы с выделяющимися вредными веществами является устройство местной вытяжной вентиляции и в первую очередь местных отсосов, встроенных непосредственно в технологическое оборудование. При таком способе вентилирования каждый кубический метр воздуха удаляет в десятки, а иногда и в сотни раз большее количество вредных веществ по сравнению с общеобменной вентиляцией и поэтому требуемый санитарно-гигиенический эффект достигается при значительно меньшем объеме удаляемого и подаваемого воздуха.

1.2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУХООБМЕНА

При общеобменной вентиляции необходимый объем вентиляционного воздуха зависит от количества выделяющихся вредных веществ, их предельно допустимых концентраций, а также от распределения этих концентраций по площади и по высоте помещения. Характер распределения тепла, влаги и концентрации примесей вредных веществ в помещении при вентиляции и воздушном отоплении определяется главным образом возникающими воздушными течениями, которые, в свою очередь, зависят от принятого способа организации воздухообмена.

Реализующую роль в формировании полей температур, скоростей и концентрации примесей в объеме вентилируемого помещения играют вентиляционные приточные струи и создаваемые ими циркуляционные течения.

При помощи приточных струй можно оказывать активное воздействие на схему циркуляции воздуха в помещении, а в связи с этим и на распределение температур, скоростей и концентраций примесей в вентилируемом объеме. Посредством вентиляционных струй можно обеспечивать в определенных зонах помещения заданные параметры воздушной среды, существенно отличающиеся от таковых в окружающем пространстве (воздушные души, воздушные оазисы); создавать воздушные завесы, препятствующие проникновению в помещение холодного воздуха; применять устройства, способствующие сдуву вредных веществ к месту организованного их удаления.

Тепловые (конвективные) струи, формирующиеся вблизи стен и поверхностей оборудования, имеющих температуру, отличающуюся от температуры окружающего воздуха, также могут оказывать существенное влияние на распределение вредных веществ в помещении.

В горячих цехах тепловые потоки, возникающие над нагретым оборудованием, способствуют выносу тепла и вредных примесей в верхнюю зону помещения. Мощные конвективные потоки переносят в верхнюю зону помещений газы и пары даже в том случае, если они тяжелее воздуха.

Удаление воздуха из помещений необходимо осуществлять из тех зон, в которых отмечается наибольшая концентрация вредных веществ или наиболее высокая температура. Поэтому в цехах с мощными источниками тепловыделений вытяжку воздуха системами общебменной вентиляции целесообразно производить из верхней зоны. В таких цехах приточный воздух следует подавать в направлении рабочей зоны рассредоточенно струями сравнительно малой мощности с тем, чтобы сохранить возникающий положительный градиент концентраций и температур по высоте помещения и тем самым уменьшить необходимый объем вентиляционного воздуха.

В тех случаях, когда в помещении отсутствуют источники тепловыделения и происходит выделение паров и газов, которые тяжелее воздуха, возможно, хотя и достаточно редко, образование зон наибольших концентраций в нижних уровнях помещения и тогда целесообразна нижняя вытяжка с рассредоточенным притоком с малыми скоростями в верхнюю зону.

Конвективные потоки охлажденного воздуха, образующиеся около наружных стен и перекрытий, опускаясь в рабочую зону, могут переохлаждать ее, создавая неблагоприятные условия для работающих. Увеличивая мощность вентиляционных струй, создаваемых системами механической вентиляции или воздушного отопления (по сравнению с мощностью конвективных струй), можно перераспределить тепло по высоте цеха и тем самым ликвидировать перегрев верхней зоны и недогрев рабочей зоны помещения.

Таким образом, для обоснованной организации воздухообмена в производственных помещениях необходимо знание закономерностей формирования и развития вентиляционных и тепловых струй и создаваемых ими циркуляционных течений.

1.3. ПРИТОЧНЫЕ СТРУИ

Основные расчетные зависимости. Теоретическому и экспериментальному исследованию турбулентных струй посвящены работы Г. Н. Абрамовича [1], В. В. Батурина [6], В. А. Бахарева и В. Н. Трояновского [9], В. Н. Талиева [34], И. А. Шепелева [39] и др. Ряд исследований применительно к задачам вентиляционно-

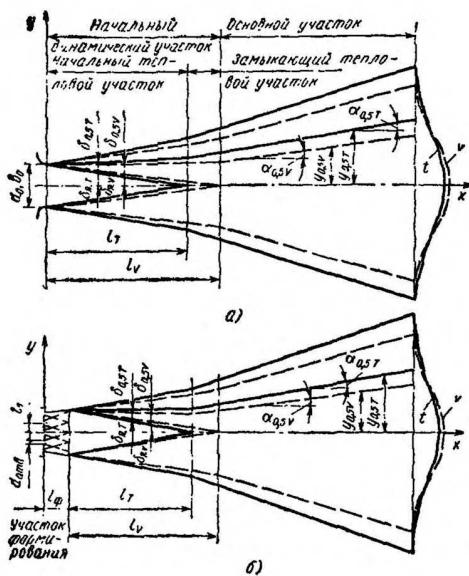


Рис. 1.1. Схема струи:

а — истекающей из открытого отверстия; б — истекающей из затененного отверстия.

отопительной техники выполнены сотрудниками Всесоюзного научно-исследовательского института охраны труда (ВНИИОТ, г. Ленинград) [14, 15, 17]. Ниже кратко излагаются установленные в результате этих исследований основные закономерности вентиляционных струй и приводятся рекомендуемые для практического применения расчетные зависимости.

В вентиляционно-отопительной технике выпуск приточного воздуха осуществляется как из открытых отверстий, так и из

отверстий, затененных решетками, перфорированными листами и другими подобными устройствами. При этом могут образовываться осесимметричные (компактные), плоские и веерные струи.

Схема приточной струи, истекающей из открытого отверстия, показана на рис. 1.1, а. Согласно этой схеме ширина теплового пограничного слоя в струе превышает ширину динамического слоя ($y_{0,0t} > y_{0,0v}$). По длине струя подразделяется на основной и начальный участки.

Наряду с начальным динамическим в струе имеется начальный тепловой участок, характеризуемый наличием ядра постоянных температур $\delta_{0,t}$. Перенос тепла в струе происходит более интенсивно, чем перенос импульса, и ядро постоянных температур размывается быстрее, чем ядро постоянных скоростей $\delta_{0,v}$. В связи с этим длина начального теплового участка l_t меньше длины начального динамического участка l_v . Участок, заключенный между начальным тепловым и основным, называется замыкающим тепловым. На основном участке струи развитие потока сопровождается падением осевой скорости и избыточной температуры.

Формулы для инженерных расчетов основного участка осесимметричных, плоских и веерных струй приведены в табл. 1.1.

Диаметр подводящего патрубка воздухораспределителя d_0 связан с его площадью F_0 соотношением: $d_0 = 1,13 \sqrt{F_0}$.

Вентиляционные струи, выпускаемые из прямоугольных отверстий, шириной b_0 , постепенно трансформируются из плоских

Таблица 1.1

Формулы для расчета основного участка струй

Параметры струй	Обозначения	Осьсиметрическая струя	Плоская струя	Верная струя
Скорость на оси	$\frac{v_x}{v_0}$	$m \frac{\sqrt{F_0}}{x}$	$m \sqrt{\frac{b_0}{x}}$	$m \frac{\sqrt{F_0}}{x}$
Скорость в любой точке струи	$\frac{v}{v_x}$	$e^{-0,7\bar{y}^2}$	$e^{-0,7\bar{y}^2}$	$e^{-0,7\bar{y}^2}$
Разность температур на оси	$\frac{\Delta t_x}{\Delta t_0}$	$n \frac{\sqrt{F_0}}{x}$	$n \sqrt{\frac{b_0}{x}}$	$n \frac{\sqrt{F_0}}{x}$
Разность температур в любой точке струи	$\frac{\Delta t}{\Delta t_x}$	$e^{-0,7\sigma_p \bar{y}^2}$	$e^{-0,7\sigma_p \bar{y}^2}$	$e^{-0,7\sigma_p \bar{y}^2}$
Расход в струе	$\frac{L_x}{L_0}$	$\frac{2}{m} \frac{x}{\sqrt{F_0}}$	$\frac{\sqrt{2}}{m} \sqrt{\frac{x}{h_0}}$	$\frac{\sqrt{2}}{m} \frac{x}{\sqrt{F_0}}$
Коэффициент изменения скорости	m	$\frac{0,66}{\lg \sigma_{0,50}} \sqrt{\frac{iT_{окр}}{T_0} \frac{4}{\sqrt{\xi}}}$	$\frac{0,82}{\sqrt{\lg \sigma_{0,50}}} \sqrt{\frac{iT_{окр}}{T_0} \frac{4}{\sqrt{\xi}}}$	$\frac{0,33}{\sqrt{\lg \sigma_{0,50}}} \sqrt{\frac{iT_{окр}}{T_0} \frac{4}{\sqrt{\xi}}}$
Коэффициент изменения температуры	n	$\frac{0,54}{\lg \sigma_{0,50}} \frac{\sqrt{\frac{T_{окр}}{iT_0}}}{\frac{4}{\sqrt{\xi}}}$	$\frac{0,74}{\sqrt{\lg \sigma_{0,50}}} \frac{\sqrt{\frac{T_{окр}}{iT_0}}}{\frac{4}{\sqrt{\xi}}}$	$\frac{0,29}{\sqrt{\lg \sigma_{0,50}}} \sqrt{\frac{T_{окр}}{iT_0}}$

Причение. В таблице $\sigma_p = \left(\frac{y_{0,50}}{y_{0,65}} \right)^2$ — коэффициент турбулентного переноса, равен в слабонизотермических струях $\sim 0,7$.

$\bar{y} = \frac{y}{y_{0,65}}$ — относительное расстояние до рассматриваемой точки струи; ξ — коэффициент местного сопротивления воздушных отверстий.

в осесимметричные. Опыт показывает, что эта трансформация практически заканчивается на расстоянии x , равном $6l_0$ (l_0 — размер длиной стороны прямоугольного отверстия). В связи с этим на расстоянии $x < 6l_0$ расчет приточных струй, вытекающих из прямоугольных отверстий, следует производить по формулам плоских струй, а при $x > 6l_0$ — по формулам осесимметричных струй.

Если за скоростьную границу струи принять линию, проходящую через точки, в которых скорость равна 5% скорости на оси, а за тепловую границу струи линию, проходящую через точки, в которых разность температур составляет 5% осевой разности, то для осесимметричных струй

$$v_{cp} \approx 0,3v_x;$$

$$\Delta t_{cp} \approx 0,4 \Delta t_x;$$

для плоских и веерных струй

$$v_{cp} \approx 0,5v_x;$$

$$\Delta t_{cp} \approx 0,6 \Delta t_x.$$

В этих формулах v_{cp} и Δt_{cp} — средние по площади скорость и разность температур; v_x и $\Delta t_x = T_x - T_{окр}$ — осевые скорость и разность температур (здесь $T_{окр}$ — температура окружающей среды).

В практических расчетах воздухораспределения средние по площади скорости и избыточные температуры в осесимметричных, плоских и веерных струях принимаются соответственно равными $0,5v_x$ и $0,5\Delta t_x$.

Формулы для инженерного расчета начального и замыкающего участков приведены в [25]. На рис. 1.2 показано изменение относительных средних скоростей, избыточных температур и расходов по длине начального участка осесимметричных и плоских струй.

В схеме струи, истекающей из затененных отверстий l_Φ (см. рис. 1.1, б), наряду с начальным и основным имеется участок формирования. На этом участке, расположенному сразу за воздуховыпускной решеткой, происходит слияние отдельных струек в сплошной поток. Вначале струйки, истекающие из отверстий решетки, развиваются самостоятельно, активно подсасывая к себе воздух из окружающего пространства. Затем, по мере расширения, на определенном расстоянии от выпускного устройства струйки сливаются в сплошной поток.

Начальный участок сформировавшейся струи имеет ядро постоянных скоростей и температур.

На участке формирования, когда подтекание окружающего воздуха к центральным струйкам затруднено, возникает разрежение. За счет разности статических давлений создается импульс сил, направленный навстречу потоку и вызывающий потерю количества движения. Величина потерь количества движения (импульса)

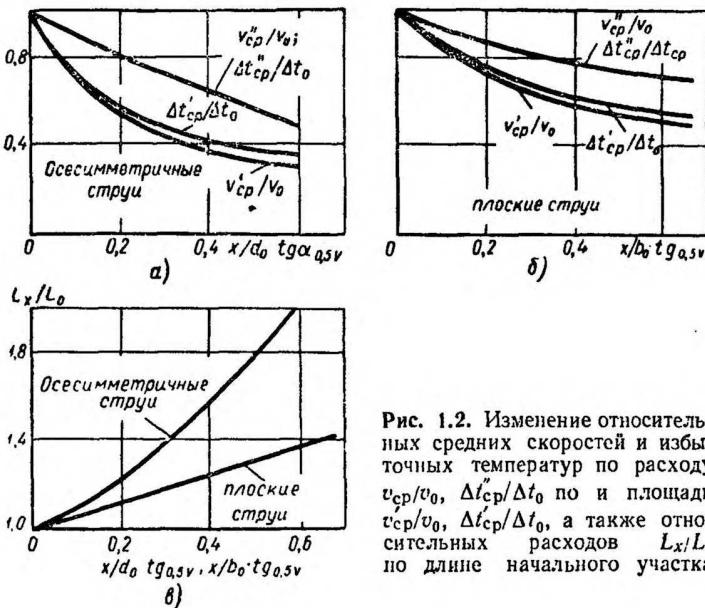


Рис. 1.2. Изменение относительных средних скоростей и избыточных температур по расходу v_{cp}/v_0 , $\Delta t_{cp}/\Delta t_0$ по и площади v'_{cp}/v_0 , $\Delta t'_{cp}/\Delta t_0$, а также относительных расходов L_x/L_0 по длине начального участка

на участке формирования учитывается коэффициентом $i = \frac{M_\Phi}{M_0}$, где M_Φ и M_0 — количество движения секундной массы в конце участка формирования и на истечении.

Величина потерь импульса зависит как от коэффициента живого сечения решетки $k_{ж.с}$, так и от количества рядов отверстий в ней (рис. 1.3).

Расчет потоков, истекающих из затененных отверстий, с достаточной для инженерной практики точностью может быть произведен по формулам для струй, выпускаемых из открытых отверстий, если за начальные параметры (вместо v_0 , Δt_0 , L_0) принять параметры в конце участка формирования v_Φ , Δt_Φ , L_Φ .

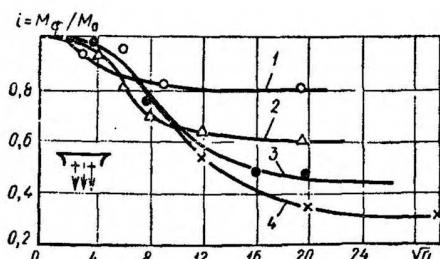


Рис. 1.3. Зависимость коэффициента падения количества движения от живого сечения и числа рядов отверстий перфорированной панели

1 — $k_{ж.с} = 0,5$; 2 — $k_{ж.с} = 0,2$;
 3 — $k_{ж.с} = 0,05$; 4 — $k_{ж.с} = 0,02$

Длина участка формирования

$$l_{\phi} = \frac{l_0}{2 \operatorname{tg} \alpha_{0,5v}},$$

где l_0 — шаг между отверстиями, м; $\alpha_{0,5v}$ — угол между осью струи и линией, проходящей через точки струи, в которых скорость равна половине осевой.

Полный угол расширения вентиляционной струи α связан с углом $\alpha_{0,5v}$ следующей зависимостью: $\alpha = 4\alpha_{0,5v}$.

В инженерных расчетах основного участка струй, истекающих из затененных отверстий, потеря импульса на участке формирования обычно учитывается коэффициентами m и n (см. табл. 2.2), полученными экспериментально для данного типа воздухораспределителя. В этом случае расчет производится по формулам, приведенным в табл. 1.1.

Выпуск приточного воздуха в помещения часто осуществляется таким образом, что образующиеся струи налипают на поверхность ограждения и распространяются вдоль нее. При этом максимальная скорость в полуограниченной струе увеличивается по сравнению со свободной приблизительно в $\sqrt{2}$ раза.

Уточненные данные по влиянию поверхности ограждения на развитие полуограниченной струи в зависимости от расстояния до выпускного отверстия приводятся в [32].

Влияние стеснения на развитие струи. Образующиеся в помещении приточные струи развиваются как свободные до тех пор, пока площадь их поперечного сечения $F_{\text{стр}}$ не достигает примерно 25% площади поперечного сечения помещения, приходящейся на одну струю F_n [9]. До этого сечения, названного первым критическим, индуцируемые струей обратные потоки не оказывают заметного тормозящего действия на струю.

Расстояние (в м) от выпускного устройства до первого критического сечения равно:

для осесимметричных струй

$$x_{\text{кр1}} = 0,22m \sqrt{F_n}; \quad (1.1)$$

для плоских струй

$$x_{\text{кр1}} = 0,1m^2 H_n, \quad (1.2)$$

где H_n — высота помещения, м.

После того, как площадь поперечного сечения струи займет 25% площади поперечного сечения помещения, начинает сказываться стеснение струи: скорости падают быстрее, чем в свободной струе, замедляется прирост площади поперечного сечения струи и прирост расхода воздуха в ней, увеличивается соотношение между средней и осевой скоростями, количество движения в струе начинает постепенно падать. Когда струя займет приблизительно 40% площади поперечного сечения помещения (второе критическое сечение), начинают постепенно уменьшаться ее поперечные размеры, т. е. происходит затухание струи.

Расстояние от выпускного устройства до второго критического сечения составляет:

для осесимметричных струй

$$x_{kp_2} = 0,31m \sqrt{F_n}; \quad (1.3)$$

для плоских струй

$$x_{kp_2} = 0,15m^2 H. \quad (1.4)$$

Дальнобойность струи, развивающейся в ограниченном пространстве, т. е. расстояние (в м), на котором происходит ее полное затухание, можно определить из выражений:

для осесимметричных струй

$$x_{max} = 0,62m \sqrt{F_n}; \quad (1.5)$$

для плоских струй

$$x_{max} = 0,3m^2 H. \quad (1.6)$$

В случае, когда струя настилается на перекрытие, расстояния x_{kp_1} , x_{kp_2} и x_{max} увеличиваются примерно в $\sqrt{2}$ раза.

Максимальные скорости в струях до первого критического сечения находят по формулам свободных или полуограниченных струй. При $x > x_{kp_1}$ в формулы свободных струй для определения максимальных скоростей вводят поправку на стеснение

$$k_c = \frac{v_{xc}}{v_x}; \quad (1.7)$$

здесь v_x и v_{xc} — скорости на оси свободной и стесненной струи (на одинаковом расстоянии от выпускного отверстия). Значение коэффициентов стеснения k_c для осесимметричных и плоских струй приведено на рис. 1.4.

Влияние неизотермичности на развитие струй. При правильной организации воздухораспределения скорость в приточной струе по мере приближения ее к рабочей зоне должна, как правило, падать до весьма малых величин, соизмеримых с нормируемыми. В этих условиях, учитывая, что в неизотермических струях соотношение между гравитационными и инерционными силами

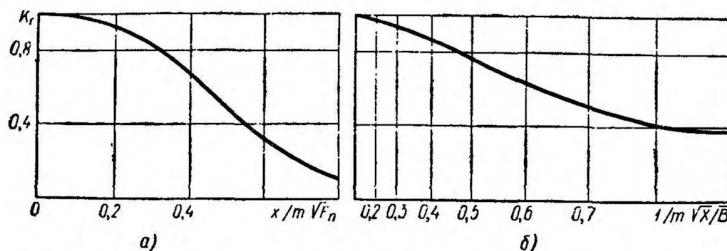


Рис. 1.4. Коэффициенты стеснения для осесимметричных (а) и плоских (б) струй

растет вниз по потоку, силы вытеснения начинают оказывать существенное влияние на характер развития приточных струй.

Под воздействием гравитационных сил изменяется дальность струи, ее траектория, а внутри самой струи происходит перестройка скоростных и температурных полей — нарушается их подобие в поперечных сечениях струи.

Соотношение между гравитационными и инерционными силами в различных поперечных сечениях неизотермической струи, расположенных на расстоянии x от выпускного устройства, оценивается величиной текущего критерия Архимеда [14]

$$Ar_x = \frac{gx \Delta t_x}{v_x^2 T_{\text{окр}}}, \quad (1.8)$$

где g — ускорение силы тяжести, м/с^2 ; $T_{\text{окр}}$ — температура окружающего воздуха, К.

Подставив в формулу (1.8) выражения для определения осевой скорости v_x и избыточной температуры Δt_x (см. табл. 2.1), получим:

для осесимметричных, неполных веерных и веерных струй

$$Ar_x = \frac{n}{m^2} Ar_0 \left(\frac{x}{\sqrt{F_0}} \right)^2; \quad (1.9)$$

для плоских струй

$$Ar_x = \frac{n}{m^2} Ar_0 \left(\frac{x}{b_0} \right)^{3/2}; \quad (1.10)$$

здесь $Ar_0 = \frac{g \sqrt{F_0} \Delta t_0}{v_0^2 T_{\text{окр}}}$ — критерий Архимеда, характеризующий соотношение между гравитационными и инерционными силами на истечении. Для плоских струй при подсчете Ar_0 вместо $\sqrt{F_0}$ подставляется ширина прямоугольной щели b_0 .

В зависимости от величины Ar_x приточные струи можно разделить на два класса: так называемые слабонеизотермические, в которых действием гравитационных сил можно пренебречь ($Ar_x < 0,1$ для осесимметричных струй и $Ar_x < 0,15$ для плоских струй), и неизотермические струи, на развитие которых гравитационные силы оказывают существенное влияние.

Следует отметить, что текущий критерий Архимеда связан с предложенной И. А. Шепелевым геометрической характеристикой струй H следующим образом:

для осесимметричных и веерных струй

$$H = \frac{x}{0,9 \sqrt{Ar_x}}; \quad (1.11)$$

для плоских струй

$$H = \frac{x}{\sqrt[3]{Ar_x^2}}. \quad (1.12)$$