

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЩЕОБМЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАСЧЕТА СИСТЕМ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Рассматривается возможность повышения экономической эффективности системы общеобменной вентиляции за счет увеличения перепада температур Δt_0 воздуха, поступающего в помещение (t_0) и уходящего из него (t_{yx}). Согласно [1], существующая методика расчета систем воздухораспределения (СВ) [2], базирующаяся на однозональной и двухзональной моделях, не позволяет определять зоны помещения с экстремальными температурами воздуха. Между тем, как следует из формулы

$$P/P_0 = (\Delta t_0/\Delta t_{0\max})^3, \quad (1)$$

повышение Δt_0 до максимального значения $\Delta t_{0\max}$ ощутимо влияет на энергоемкость системы общеобменной вентиляции. В (1) P — мощность вентилятора, подобранного для сети с расходом воздуха, рассчитанным по значению $\Delta t_{0\max}$; P_0 — мощность вентилятора в той же сети с расходом воздуха, рассчитанным по значению Δt_0 (при условии равенства КПД вентиляторов).

По результатам исследований [1] перепад температур $t_{в.м} - t_0 = t_{yx} - t_0 = \Delta t_{0\max}$ является функцией избыточной температуры струи $t_x - t_в$. Закономерность, связывающая эти температуры на участке смешения потоков струи в помещении с равномерной избыточной тепловой нагрузкой, имеет вид

$$\frac{t_в - t_x}{t_{в.м} - t_0} = \frac{k_{ст} (1 - x/x_{од})}{0,818 \cdot 0,723^i \bar{G} (1 - 0,63 \cdot 1,59^i \bar{v}_в)}, \quad (2)$$

где $t_в, t_x$ — температура воздуха квазипотенциального (далее — потенциально) потока и на оси струи; $t_{в.м}$ — температура воздуха потенциального потока в сечении устья насадки; $k_{ст}$ — коэффициент стеснения струи; $x, x_{од}$ — соответственно расстояние от насадки до рассчитываемого сечения и дальности струи; \bar{G} — относительный расход воздуха в затопленной струе; $i = 1$ для компактной струи и $i = 0$ для струй плоской и веерной; $\bar{v}_в$ — относительная скорость воздуха в струе в рассматриваемом сечении.

Значения $\bar{v}_в$ для компактных и плоских струй определяются по формуле [1]

$$\bar{v}_в = v_в/v_x = (k\bar{\delta}^{i+1} - A_7 \sqrt{\bar{\delta}^{i+1}}) / (1 - k\bar{\delta}^{i+1}), \quad (3)$$

где

$$A_7 = n_2 (\bar{b}_0^{i+1})^{1/2} / (1,78 \cdot 1,53^i (\beta_0 H^{i+1})^{1/2}); \quad (4)$$

$v_в, v_x$ — скорость воздуха соответственно обратного течения и на оси струи; k, β — коэффициент соответственно поля скоростей и Буссинеска на основном участке затопленной струи; $\bar{\delta} = \delta/H$; δ — полуширина или радиус струйного

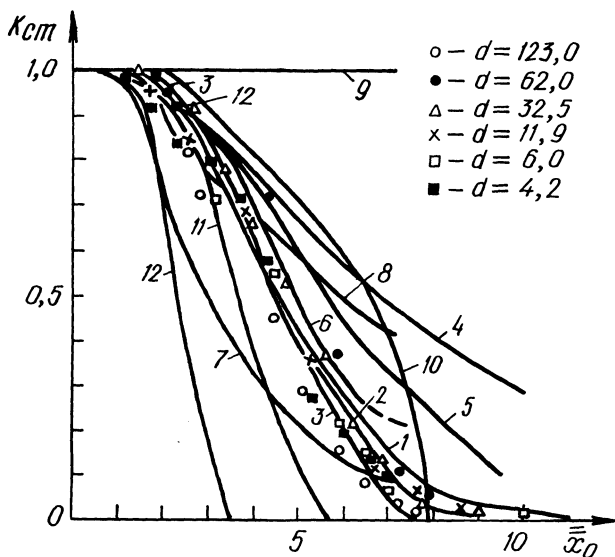


Рис. 1. Характер изменения коэффициентов стеснения для осесимметричных струй

пограничного слоя в рассматриваемом сечении; H — эквивалентное расстояние от оси струи до стенки канала; $n_2 = G_n/G_0$; G_n — расход воздуха, удаляемого из рабочей зоны и в транзитной струе; G_0 — начальный расход воздуха в струе; $\bar{b}_0 = b_0/H$; b_0 — полуширина или радиус воздухораспределителя (насадки); β_0 — коэффициент Буссинеска на истечении.

Уравнение (2) решается при известных значениях t_B и $k_{ст}$. Разности температур $t_{в.н} - t_B$ и $t_{в.м} - t_{в.н}$ ($t_{в.н}$ — температура в конце начального участка с координатой x_H) [1]:

$$t_{в.н} - t_B = \frac{7,38q_n}{\rho c b_0 v_0 \sqrt{\beta_0}} \left(-0,13 (\bar{\delta}^2 - \bar{\delta}_H^2) + 1,74 \ln \frac{\bar{\delta}}{\bar{\delta}_H} + 0,275 \ln \frac{1 - \bar{\delta}_H^2}{1 - \bar{\delta}^2} \right); \quad (5)$$

$$t_{в.м} - t_{в.н} = \frac{q_n \bar{x}_H}{\rho c} \left(\frac{1}{v_B (1 - \bar{b}_0^2)|_{x=0}} + \frac{1}{v_B (1 - \bar{b}_0^2)|_{x=x_H}} \right); \quad (6)$$

где $q_n = \Delta Q / (2\pi H \Delta \bar{x})$; (7)

ρ , c — соответственно плотность и удельная теплоемкость воздуха; $\bar{\delta}_H = \delta_H/H$; \bar{b}_H — полуширина или радиус струйного пограничного слоя в конце начального

участка; $\bar{x}_H = x_H/H$; ΔQ — избыточное количество теплоты на рассчитываемом участке; $\Delta \bar{x} = \Delta x/H$.

Как следует из (2), на точность решения задачи оказывает влияние коэффициент стеснения струи [1]

$$k_{ст} = \sqrt{(0,22\bar{x}_0/\delta)^{i+1}}, \quad (8)$$

где $\bar{x}_0 = x_0/H$; x_0 — расстояние от полюса струи до рассматриваемого сечения. Значения $k_{ст}$, вычисленные согласно [2–7], приведены на рис. 1. Кривая 1, рассчитанная по эмпирическому выражению [3], отвечает струям с начальными диаметрами 123, 62,0 и 32,5 мм (с начальной степенью стеснения $d_0/H = 0,723-0,197$), а кривая 2 — струе с $d_0 = 6,0$ мм ($d_0/H = 0,0353$). На рисунке точками показаны значения $k_{ст}$, полученные по экспериментальным данным [3]. Анализ показывает практическую независимость $k_{ст}$ от d_0/H , что доказано теоретически [1, 4, 5]. Кривые 4 и 5 отвечают соответственно теории и рекомендациям [4], кривые 6, 10 — рекомендациям [6] и [7]. Значения $k_{ст}$, вычисленные по [5], совпадают с кривой 4. По [2] $k_{ст}$ является функцией \bar{x}_0 и d_0/H . На рис. 1 нанесены кривые, вычисленные по [2] для $d_0 = 123$ мм (7), 32,5 (8) и 6,0 мм (9).

Кривая 4 согласуется с экспериментальной кривой 1 на участке $\bar{x}_0 \leq 3$. Значения $k_{ст}$, соответствующие рекомендациям [2], располагаются в зоне, очерченной кривой 7 и прямой 9. Ошибка определения $k_{ст}$ по [4] и [2] может быть очень большой. В [2, 4, 6, 7] нет обоснования построения кривых 5–10 и ссылок на источники получения соответствующих данных, что затрудняет их анализ.

В [1] приведено решение для струй, развивающихся по тупиковой и транзитной схемам в каналах любой длины. Для упрощения получения решений по этой методике на рис. 2 и 3 даны аналитические значения $k_{ст}$ для струй осесимметричных, плоских и веерных (для веерной струи $i_1 = 1, i = 0$). При определении $k_{ст}$ известными величинами являются расстояние от полюса струи до рассматриваемого сечения \bar{x}_0 ; расстояние до критического сечения $\bar{x}_{0крF}$ ($\bar{x}_{0крF} = x_{0крF}/H$); дальнобойность струи $\bar{x}_{0д}$ ($\bar{x}_{0д} = x_{0д}/H$) и параметр A_7 . Максимальные значения коэффициентов ψ_{max} , учитывающих влияние продольного стеснения потока на характер развития вихря, используются как вспомогательные при построении графиков.

Согласно [1],

$$\bar{x}_{0крF} = (0,385 \cdot 1,44^{i+1} \bar{x}_{0д}). \quad (9)$$

Для струй, развивающихся в длинном канале по тупиковой схеме ($A_7 = 0$), компактной, плоской и веерной, $\bar{x}_{0д}$ составляет соответственно 7,3; 5,9; 4,0 (этими значениями можно пользоваться в первом приближении и при оценке $\bar{x}_{0д}$ транзитных струй, если $A_7 \leq 0,06$). Методика определения $k_{ст}$ следующая.

По формулам (9) и (4) находят значения $\bar{x}_{0крF}$ и A_7 и фиксируют их на

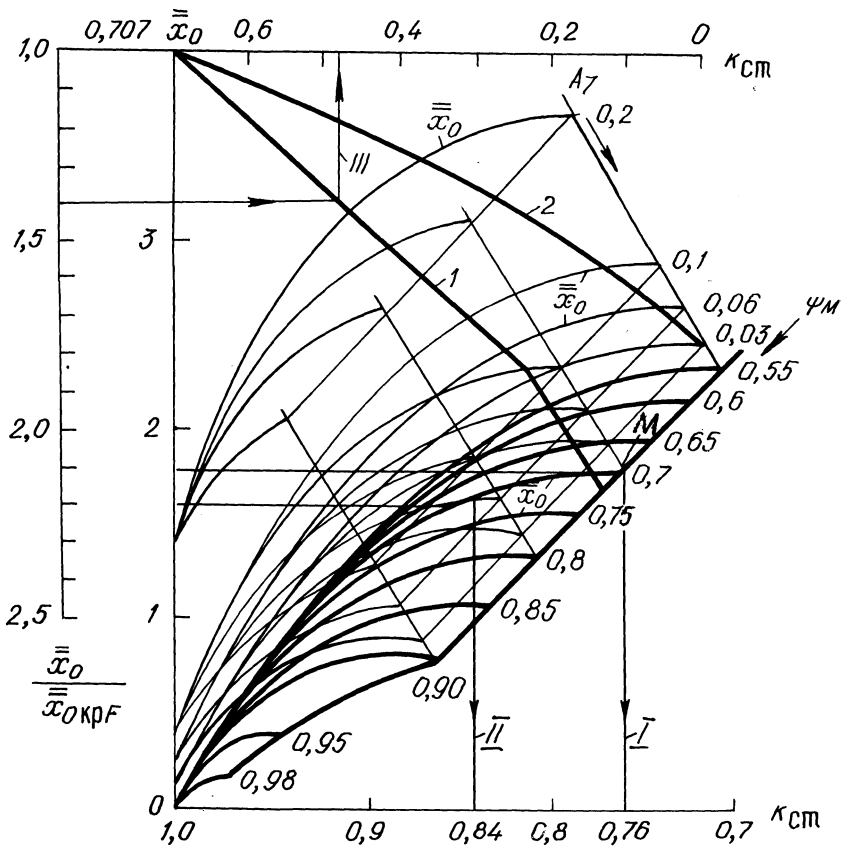


Рис. 2. Коэффициенты стеснения для плоских и веерных струй

графике (точка M на рис. 2 соответствует $A_7 = 0$, $\bar{x}_{0\text{кр}F} = 1,73$, построение I). Точка M определяет начало рассчитываемой кривой \bar{x}_0 на графике. Для любого сечения струи, определяемого значением $\bar{x}_0 \leq \bar{x}_{0\text{кр}F}$, $k_{\text{ст}}$ находят по нижней оси абсцисс (построение II). Для струи с $\text{tg} \alpha_0 \neq 0,22$ коэффициент стеснения определяют по значениям $k_{\text{ст}y}$ и $\bar{x}_{0y} - k_{\text{ст}} = k_{\text{ст}y} \sqrt{(0,22^{-1} \text{tg} \alpha_0)^{i+1}}$,

$\bar{x}_{0y} = 0,22^{-1} \bar{x}_0 \text{tg} \alpha_0$ — и графикам на рис. 2 и 3, по которым $k_{\text{ст}y}$ находят по \bar{x}_{0y} , как описано выше.

При $\bar{x}_0 > \bar{x}_{0\text{кр}F}$ рассматриваемое сечение приходится на участок разворота струи и $k_{\text{ст}}$ определяется по верхней оси абсцисс с помощью кривых 1 и 2 (струя плоская и веерная) или 3 в зависимости от $\bar{x}_0 / \bar{x}_{0\text{кр}F}$ (построение III на рис. 2).

Полученные значения $k_{\text{ст}}$ на участке разворота струи в "коротких" каналах умножаются на поправочный коэффициент $A_{15} = k_{\text{ст.кр.}F} / (0,67^i \times$

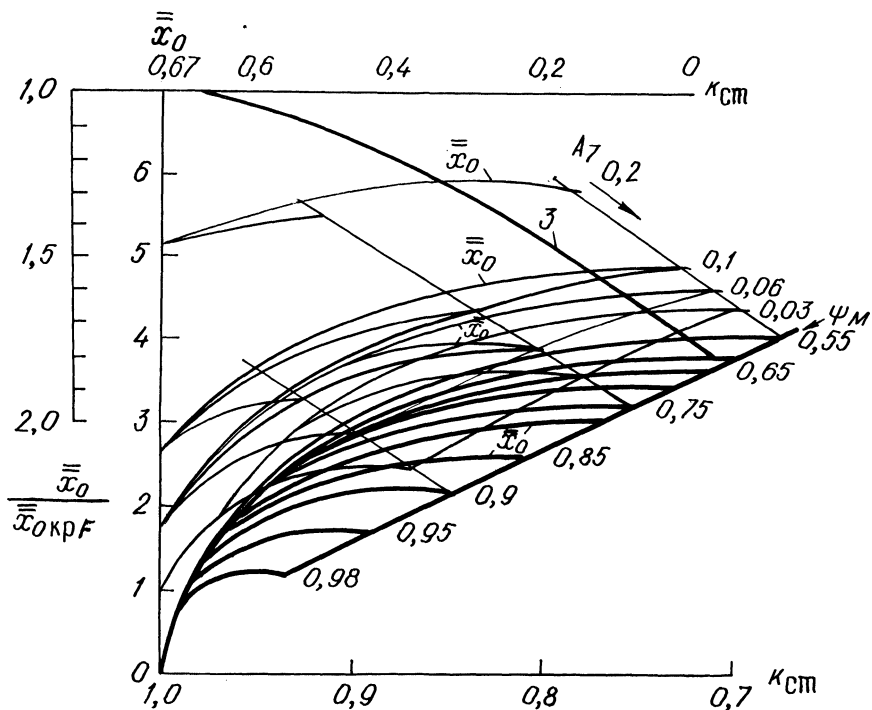


Рис. 3. Коэффициенты стеснения для осесимметричных струй

$\times 0,707^{1-i}$), где $k_{ст.крF}$ — коэффициент стеснения в критическом сечении струи.

С помощью графиков рис. 2 и 3 определение $\bar{\delta}$ (см. формулы (3) — (8)) упрощается и сводится к нахождению $\bar{\delta}^{i+1} = (0,22\bar{x}_0)^{i+1} / k_{ст}^2$.

Значения $k_{ст}$, вычисленные с помощью этих графиков, на рис. 1 соответствуют кривым 3 (длинный тупик, $\psi_{max} = 0,55$) и 11, 12 (короткие тупики, $\psi_{max} = 0,8; 0,95$). Кривая 3 согласуется с экспериментальными данными на всем участке развития струи. Характер кривых 11 и 12 свидетельствует о существенном влиянии на $k_{ст}$ длины тупика. В конце участка смешения ($\bar{x}_{0крF} = 4$) $k_{ст}$ равен 0,66 по [1] и 0,65 по [3].

Экспериментальные исследования показывают соответствие методики [1] эксперименту. В практике $k_{ст}$ обычно рассчитывают по [2, 4, 7], значения его в конце участка смешения (см. рис. 1) соответственно равны 1,0—0,32, 0,815 и 0,85. Подставляя эти значения в (2) и (1) и полагая $k_{ст0} = 0,65$ ($k_{ст0} = f(\Delta t_{0max})$), получаем $\bar{P} = 1,05$ ($k_{ст} = 0,66$), $\bar{P} = 3,64$ ($k_{ст} = 1$), $\bar{P} = 0,12$ ($k_{ст} = 0,32$), $\bar{P} = 2,0$ ($k_{ст} = 0,82$), $\bar{P} = 2,2$ ($k_{ст} = 0,85$). Таким образом, колебания значений $k_{ст}$ в пределах 0,33—1,0 вызывают изменение \bar{P} в 30 раз.

Для определения t_{yx} по формуле (2) необходимо определить локальные значения температуры приточных струй и обратных потоков на всем участке их развития. Увеличению t_{yx} способствует система воздухораспределения

крупными струями. Расчет по формулам (2) — (7) заключается в определении максимального значения разности $|t_{в.м} - t_0|$, при котором в рабочей зоне помещения обеспечивается требуемый микроклимат.

Список литературы

1. Сычев А.Т. Теория струй в практике расчета микроклимата. Мн., 1986. Деп. в ВНИТИ 9.12.86, № 8667-В86.
2. Рекомендации по выбору и расчету систем воздухораспределения / Госстрой СССР. М., 1979.
3. Бахарев В.А., Трояновский В.Н. Основы проектирования и расчета отопления и вентиляции с сосредоточенным выпуском воздуха. М., 1958.
4. Гримитлин М.И. Распределение воздуха в помещении. М., 1982.
5. Шепелев И.А., Тарнопольский М.Д. Распространение турбулентной струи в ограниченном пространстве // Теплоснабжение и вентиляция: Тез. докл. Киев, 1965.
6. Баркалов Б.В., Карпис Е.С. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. М., 1982.
7. Справочник проектировщика. Ч. II. М., 1977.

УДК 697.957

В.И.КУНОВСКИЙ, К.Э.ГАРКУША

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ ЗА СЧЕТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЗДУХОРАЗДАЧИ ЗАКРУЧЕННЫМИ СИЛЬНОНЕИЗОТЕРМИЧЕСКИМИ СТРУЯМИ

Снижение энергопотребления вентиляционными системами обеспечивается на стадии проектирования выбором оптимальной схемы воздухораспределения. Значительное уменьшение капитальных и энергетических затрат достигается при использовании "закручивающих" воздухораспределителей, когда температуры приточного воздуха и воздуха в помещении существенно различны. В этом случае за счет высокой эжекционной способности закрученных струй обеспечивается интенсивное их перемешивание с окружающим воздухом.

Сокращение расхода тепловой энергии на нужды вентиляции достигается не только за счет использования теплоты удаляемого воздуха. Так, при подаче закрученной струей нагретого наружного воздуха в помещения со значительными тепловыделениями затраты тепловой энергии можно свести практически к нулю, а расход приточного воздуха и капитальные затраты на устройство систем вентиляции уменьшить на 20—30 %. Однако сильнонеизотермические закрученные струи не поддаются расчету по существующим методикам, что приводит к нерациональным решениям на стадии проектирования.

Ниже приводится исследование закрученной неизотермической охлажденной струи с целью определения затухания максимальной составляющей скорости движения воздуха вдоль оси струи в зависимости от степени закрутки струи S и параметра неизотермичности θ . Расчет базируется на уравнениях течения пограничного слоя с привлечением различных экспериментальных констант и на основном уравнении термодинамики необратимых процессов. По аналогии с [1] в уравнение массопереноса для закрученной неизотермической струи вводится составляющая гравитационного потенциала и соответствующий коэффициент массопереноса, характеризующий перемещение массы в направлении X при действии гравитационных сил в том же направлении.