

ДВИЖЕНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛОСКОЙ СТРУИ В ПОМЕЩЕНИИ ПРИ ИНФИЛЬТРАЦИИ ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ СВЕТОПРОЗРАЧНОЕ ОГРАЖДЕНИЕ

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

В данной статье рассмотрены уже существующие как теоретические так и экспериментальные исследования истечения неизотермических струй. На основании этих изысканий были представлены новые методы расчета траектории движения плоских и осесимметричных струй

Введение. Температура воздуха, поступающего в помещение может быть равна температуре окружающей среды или отличаться от нее.

Если температура воздуха, вытекающего из отверстия в неограниченное пространство, отличается от температуры в последнем, то на параметры струи и траекторию ее движения, помимо сил инерции оказывают влияние гравитационные силы. Соотношение этих сил обычно определяется величиной критерия Архимеда Ar_o в приточном отверстии [1], [2], [3].

$$Ar_o = \frac{g \cdot l_o}{V_o^2} \cdot \frac{T_o - T_{окр}}{T_{окр}}$$

где l_o – определяющий линейный размер.

Для осесимметричных отверстий принимают d_o , для прямоугольных – $d_{оэ}$, для щелевых – наименьший размер b_o .

V_o – скорость в начале струи;

$T_o, T_{окр}$ – абсолютная температура воздуха в плоскости сечения отверстия и окружающей среды соответственно;

g – ускорение свободного падения;

Струи нагретого или охлажденного воздуха, температура которого отличается от температуры окружающей среды, называют неизотермическими. Когда сила Архимеда пренебрежительно мала ($|Ar_o| < 0,001$) по сравнению с силой инерции, неизотермические струи можно считать по формулам для изотермических. Для случая $|Ar_o| > 0,001$ часто встречающегося в вентиляционной практике расчет струй может быть произведен по методам предложенным в [1], [2], [3] и т.д. В основном эти расчеты касаются определения траектории оси струи и осевой скорости.

Теоретическим изучением распространения неизотермических струй занимались Г.Н. Абрамович, В.В. Батулин, М.М. Заборов, И.А. Шепелев и другие. В [1] и [2] за основу была взята работа И.А. Шепелева, увязавшего теоретические расчеты с экспериментальными данными С.Н. Сыркина и Д.Н. Ляховского. Уравнение И.А. Шепелева после согласования с опытом получило вид [1], [2]:

$$\bar{y} = \bar{x} \cdot \operatorname{tg} \alpha + Ar_o \left(\frac{\bar{x}}{\cos \alpha} \right)^2 \cdot \left[0,51 \cdot a \cdot \left(\frac{\bar{x}}{\cos \alpha} \right) + 0,35 \right]$$

где \bar{x}, \bar{y} - относительные координаты.

$$\bar{x} = \frac{x}{D_{экс}}; \quad \bar{y} = \frac{y}{D_{экс}}$$

$$\bar{x} = \frac{x}{b_o}; \quad \bar{y} = \frac{y}{b_o} \text{ - для плоской струи}$$

При горизонтальном истечении ($\alpha=0$) уравнение траектории оси струи принимает вид:

$$\bar{y} = Ar_o \cdot \bar{x}^2 \cdot (0,51 \cdot a \cdot \bar{x} + 0,35)$$

где a - коэффициент характеризующий начальную турбулентность. Значения коэффициента "a" получены опытным путем и приведены в [1] и [2].

По данным [3] уравнение траектории оси струи при горизонтальном истечении с достаточной степенью точности имеет вид:

$$\bar{y} = B \cdot Ar_o \cdot a^{1/2} \cdot \bar{x}^{5/2}$$

где $B=0,9$ для осесимметричной струи и $B=0,41$ для плоской.

Кроме выше приведенных, известны еще несколько теоретических решений по определению параметров неизотермических струй, искривленных силами тяжести. Координаты таких осей рассчитывались по [4].

$$\bar{y} = A_1 \cdot Ar_o \cdot \sqrt{\frac{T_o}{T_{окр}}} \cdot \bar{x}^{5/2}$$

где A_1 - численный коэффициент. По данным [5] и [6] $A_1=0,132$ и $A_1=0,176$ соответственно.

Рассмотренные методы решений неизотермических струй относятся к теоретическим. Экспериментальный же материал, который позволил бы проверить и оценить эти решения, очень ограничен.

Исследования плоских струй, выпущенных горизонтально в работе [4] сравнивались с теоретическими зависимостями [5, 6]. По результатам сопоставления были сделаны выводы, что формулы В.С. Омельчука, В.Н. Посохина и В.Н. Талиева обеспечивают хорошую сходимость с опытами. Формулы же И.А. Шепелева для определения траектории струи удовлетворяют опытным данным, которые получены при очень малых значениях критерия Архимеда.

По данным М.И. Гримитлина [7] соотношение между гравитационными и инерционными силами целесообразно оценивать текущим критерием Архимеда (Ar_x).

В качестве характерных величин, входящих в текущий критерий Архимеда, приняты скорость V_x и избыточная температура Δt_x на оси струй, а также расстояние x от выпускающего устройства до рассматриваемого поперечного сечения, т.е.:

$$Ar_x = \frac{g \cdot x \cdot \Delta t_x}{V_x^2 \cdot T_{окр}} \quad (1)$$

Грмитлин М.И. [7] определяя выражение текущего критерия Архимеда (Ar_x) применил формулы изменения скорости и избыточной температуры для слабонеизотермических струй, т.е.:

для плоских струй

$$V_x = V_o \cdot m \cdot \sqrt{\frac{b_o}{x}} \quad \Delta t_x = \Delta t_o \cdot n \cdot \sqrt{\frac{b_o}{x}}$$

и для осесимметричных струй

$$V_x = V_o \cdot m \cdot \sqrt{\frac{F_o}{x}} \quad \Delta t_x = \Delta t_o \cdot n \cdot \sqrt{\frac{F_o}{x}}$$

где F_o – площадь сечения отверстия;

m , n – коэффициенты, характеризующие темп изменения соответственно осевых скоростей и избыточных температур в струях.

Коэффициенты m , n приведены в табл. 4.1 [7], [8]. Соответственно этим источникам выражение Ar_x для плоских струй имеет вид:

$$Ar_x = \frac{n}{m^2} \cdot Ar_o \cdot \bar{x}^{3/2} \quad (2)$$

а для осесимметричных струй

$$Ar_x = \frac{n}{m^2} \cdot Ar_o \cdot \bar{x}^2 \quad (3)$$

Уравнение траектории неизотермических струй, связывающие текущие координаты (y , x) искривленной оси в [7] представлено в виде:

$$y = K Ar_x \cdot x \quad (4)$$

где K – коэффициент пропорциональности, определяемый на основе обработки экспериментальных данных ($K=0,7$ – для плоских струй, $K=0,6$ – для осесимметричных).

С учетом формул (2) и (3) уравнения траекторий принимают вид [7], [8]:

$$\bar{y} = 0,7 \cdot \frac{n}{m^2} \cdot Ar_o \cdot \bar{x}^{5/2} \text{ - для плоских струй}$$

$$\bar{y} = 0,6 \cdot \frac{n}{m^2} \cdot Ar_o \cdot \bar{x}^3 \text{ - для осесимметричных струй}$$

Целью исследований является выведения методики для определения траектории движения плоских и осесимметричных неизотермических струй для последующего их использования при расчете приточных струй других видов.

Учитывая, что формулы для скоростей и избыточных температур по данным [1, 2] выведенные для неизотермических струй с достаточной достоверностью соответствуют экспериментальным данным, мы посчитали возможным, путем подстановки их в формулу (1) получить значения текущего критерия Архимеда, с последующей подстановкой их в формулу (4)

для получения уравнения траекторий. Данные по [1, 2]:

для плоских струй

$$V_x = V_o \cdot \frac{0,848}{\sqrt{a \cdot \bar{x} + 0,205}} \quad (5); \quad V_y = 0,61 \cdot V_o \cdot Ar_o \cdot \bar{x} \quad (6); \quad \Delta t_x = \Delta t_o \cdot \frac{0,619}{\sqrt{a \cdot \bar{x} + 0,205}}$$

(7)

для осесимметричных струй

$$V_x = V_o \cdot \frac{0,48}{a \cdot \bar{x} + 0,145} \quad (8); \quad V_y = 0,73 \cdot V_o \cdot Ar_o \cdot \bar{x} \quad (9); \quad \Delta t_x = \Delta t_o \cdot \frac{0,35}{a \cdot \bar{x} + 0,145} \quad (10)$$

Для плоской струи подставляя в (1) формулы (5) и (7) получаем значение:

$$Ar_x = 0,86 Ar_o \cdot \bar{x} (a \bar{x} + 0,205)^{1/2}$$

Подставляя данное выражение в формулу (4) получаем уравнение траектории для плоской струи:

$$\bar{y} = 0,6 Ar_o \cdot \bar{x}^2 (a \bar{x} + 0,205)^{1/2}$$

Аналогично, подставляя в (1) формулы (8) и (10) получаем значение Ar_x и соответственно уравнение траектории для осесимметричной струи:

$$Ar_x = 1,52 Ar_o \cdot \bar{x} (a \bar{x} + 0,145)$$

$$\bar{y} = 0,91 Ar_o \cdot \bar{x}^2 (a \bar{x} + 0,145)$$

Кроме выше приведенного способа мы предлагаем получить уравнение оси струи используя дифференциальное уравнение траектории частиц [9]:

$$\frac{dx}{V_x} = \frac{dy}{V_y}$$

где dx, dy - проекции пути dS на оси координат;

V_x, V_y - проекции скорости на оси координат.

$$d\bar{y} = \frac{V_y}{V_x} \cdot d\bar{x} \quad (11)$$

Для плоских струй, подставляя формулы скоростей (5) и (6) в дифференциальное уравнение (11) получаем:

$$d\bar{y} = \frac{0,61 \cdot Ar_o \cdot \bar{x} \cdot (a \cdot \bar{x} + 0,205)^{1/2}}{0,848} d\bar{x}$$

Интегрирование этого выражения дает

$$\bar{y} = 0,1 \cdot \frac{Ar_o}{a^2} \cdot (6a\bar{x} - 0,82)(a\bar{x} + 0,205)^{3/2} + C$$

Постоянную интегрирования определяем из условия при $\bar{x} = 0, \bar{y} = 0$.

$$\text{Получаем } C = 7,6 \cdot 10^{-3} \frac{Ar_o}{a^2}$$

Тогда уравнение траектории движения для плоской струи примет вид:

$$\bar{y} = \frac{Ar_o}{a^2} \cdot [0,1 \cdot (6a\bar{x} - 0,82)(a\bar{x} + 0,205)^{3/2} + 7,6 \cdot 10^{-3}]$$

Для осесимметричной струи, в уравнение (11) подставляем формулы скоростей (8) и (9) и получаем дифференциальное уравнение траектории частиц:

$$d\bar{y} = \frac{0,73 \cdot Ar_o \cdot \bar{x} \cdot (a\bar{x} + 0,145)}{0,48} d\bar{x}$$

После интегрирования эта зависимость примет вид:

$$\bar{y} = 1,52Ar_o \bar{x}^2 [0,33a\bar{x} + 0,07] + C$$

Постоянную интегрирования определяем из условия при $\bar{x} = 0, \bar{y} = 0$. Получаем $C=0$. Следовательно, для осесимметричной струи уравнение траектории движения:

$$\bar{y} = 1,52Ar_o \bar{x}^2 [0,33a\bar{x} + 0,07]$$

С целью сравнения уравнений траектории неизотермических струй полученных в данной работе с ранее известными, были проведены расчеты для плоской струи с учетом следующих исходных данных.

Неизотермическая струя истекает горизонтально из щели шириной $b_o=0,1$ м со скоростью в плоскости щели $V_o=4,2$ м/с температура наружного воздуха $t_{нар}=-18$ °С, температура помещения $t_{пом}=20$ °С. Результаты расчетов приведены на рис.

Анализ графика траекторий для плоской неизотермической струи показал, что кривые уравнений полученные по двум методам предлагаемых в данной работе практически совпадают и находятся внутри диапазона графиков уравнений полученных другими авторами исследовавших данный вопрос.

Выводы. Исходя из изложенного выше, предложенные методики расчета могут быть использованы для определения траекторий струй, данные для которых не представлены в литературе.

В основе предложенных методов лежит дифференциальное уравнение движения частиц с использованием как экспериментальных так и теоретических данных. Полученные результаты в дальнейшем будет применены для исследования траектории движения струй других видов.

$$1 - \bar{y} = Ar_o \cdot \bar{x}^2 \cdot (0,51 \cdot a\bar{x} + 0,35); \quad 2 - \bar{y} = 0,41 \cdot Ar_o \cdot a^{1/2} \cdot \bar{x}^{5/2}$$

$$3 - \bar{y} = 0,132 \cdot Ar_o \cdot \sqrt{\frac{T_o}{T_{окр}}} \cdot \bar{x}^{5/2}; \quad 4 - \bar{y} = 0,176 \cdot Ar_o \cdot \sqrt{\frac{T_o}{T_{окр}}} \cdot \bar{x}^{5/2}$$

$$5 - \bar{y} = 0,7 \cdot \frac{n}{m^2} \cdot Ar_o \cdot \bar{x}^{5/2}; \quad 6 - \bar{y} = 0,6Ar_o \cdot \bar{x}^2 (a\bar{x} + 0,205)^{1/2}$$

$$7 - \bar{y} = \frac{Ar_o}{a^2} \cdot [0,1 \cdot (6a\bar{x} - 0,82)(a\bar{x} + 0,205)^{3/2} + 7,61 \cdot 10^{-3}]$$

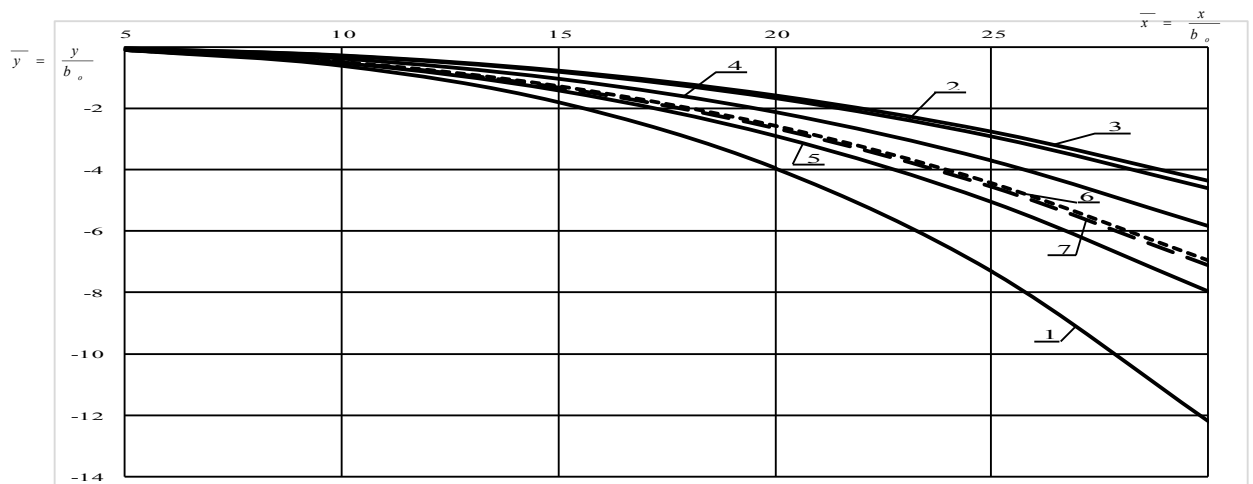


Рис. График траекторий плоских неизотермических струй

Литература

1. Дроздов В.Ф. Отопление и вентиляция ч. II Вентиляция. М; «Высшая школа», 1984. 264 с.
2. Бутаков С.Е. Аэродинамика систем промышленной вентиляции – в кн.: Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. М.; Профиздат, 1949. 270 с.
3. Максимов Г.А., Дерюгин В.В. Движение воздуха при работе систем вентиляции и отопления. Ленинград. Издательство литературы по строительству. 1972. 97 с.
4. Омельчук В.С., Посохин В.Н. Экспериментальное исследование неизотермических струй, истекающих горизонтально. "Водоснабжение и санитарная техника", 1970, №11.
5. Шепелев И.А. Приточные вентиляционные струи и воздушные фонтаны. Известия АСИА СССР, 1961, №4.
6. Посохин В.Н. Исследование факторов, влияющих на эффективность распределения приточного воздуха в помещениях. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. М., НИИ санитарной техники, 1966.
7. Гримитлин М.И. Распределение воздуха в помещениях. М.: Стройиздат, 1982. 164 с.
8. Ткачук А.Я., Довгалюк В.Б. Аеродинаміка вентиляції. Навчальний посібник. Київ, ІВНВКП.
9. Талиев В.Н. Аэродинамика вентиляции: Учеб. Пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1979. «Укртелтех», 2009, 374 с.

**РУХ НЕІЗОТЕРМІЧНОГО ПЛОСКОГО СТРУМІНЯ У
ПРИМІЩЕННІ ПРИ ІНФІЛЬТРАЦІЇ ПОВІТРЯ ЧЕРЕЗ
СВІТЛОПРОЗОРИ ОГОРОДЖЕННЯ**

О.О. Рябова

У даній статті розглянуті вже існуючі як теоретичні так і експериментальні дослідження закінчення неізотермічних струменів. На підставі цих досліджень були представлені нові методи розрахунку траєкторії руху плоских і осесиметричних струменів

**MOTION NONISOTHERMAL JET PLANE IN THE ROOM WITH AIR
INFILTRATION THROUGH TRANSLUCENT GUARD**

E. Ryabova

This article describes how existing theoretical and experimental study of non-isothermal jets expiration. On the basis of these studies were presented new methods of calculating the trajectory of the plane and ax symmetric jets