

УДК 697.1(107), 697.03:5(107)

Давыдов А.П. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: ap_Davidov@mail.ru

Валиуллин М.А. – кандидат технических наук, доцент

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Величина поправочного коэффициента к количеству движения при слиянии двух параллельных потоков жидкости в ламинарном и турбулентном режимах

Аннотация

В вентиляционной технике при определении гидравлических характеристик различных устройств (тройники, воздухоприемники и т.д.) возникает необходимость оценки скоростных полей. При слиянии двух потоков поля скоростей в значительной степени отличаются как от плоских идеальных полей, так и от полей скоростей при равномерно установившемся движении жидкости (воздуха) в трубопроводе.

В статье рассматривается случай слияния двух параллельно движущихся потоков. Получены аналитические зависимости поправочного коэффициента к количеству движения в месте слияния двух потоков как при ламинарном, так и турбулентном режимах.

Ключевые слова: вентиляционная техника, поле скоростей, поправочный коэффициент, количество движения, слияние потоков.

В ряде вентиляционных устройств (тройники, воздухоприемники и т.д.) имеет место движение жидкости с переменным расходом. При расчете указанных устройств возникает необходимость оценки скоростных полей, которые в значительной мере отличаются как от плоских идеальных полей, так и от полей скоростей, имеющих место при равномерно установившемся движении жидкости в трубопроводе.

Рассмотрим наиболее простой случай слияния двух параллельно движущихся потоков. Определим аналитически значения поправочного коэффициента к количеству движения в области слияния двух потоков. Схема рассматриваемого течения представлена на рис. 1.

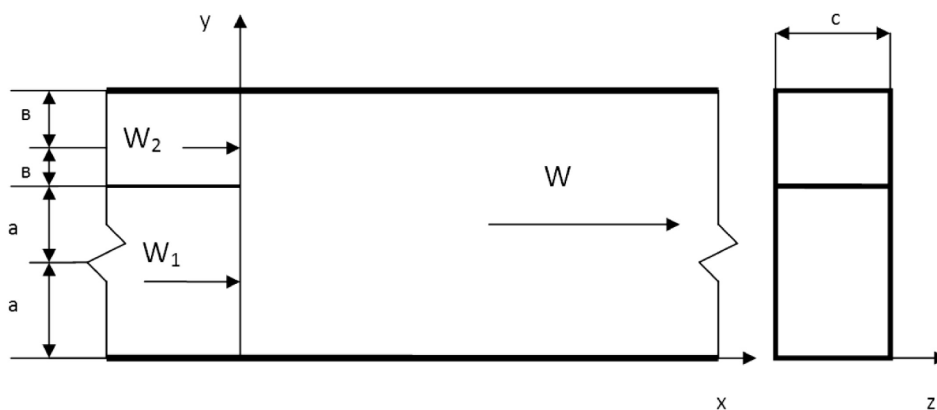


Рис. 1. Расчетная схема

Два потока движутся с различными скоростями W_1 и W_2 по параллельным каналам. Каналы разделяет стенка, толщина которой принимается бесконечно малой величины. Стенки канала имеют определенный коэффициент трения. В конкретном сечении стенка, разделяющая каналы, прерывается. Далее происходит совместное течение двух потоков.

Разместим систему координат так, чтобы ось x совпадала с направлением движения потока, а плоскость $yoх$ с плоскостью, в которой происходит слияние потоков.

В общем виде поправочный коэффициент к количеству движения для рассматриваемого случая записывается:

$$\beta = \frac{\int_0^{z_1} \int_{y_1(y)}^{z_2(y)} U^2 dy dz}{W^2 F} \quad (1)$$

Используя известные зависимости между коэффициентом трения, распределением местных скоростей по сечению трубопровода и взаимосвязью между местной и средней скоростями [1], запишем, соответственно для ламинарного и турбулентного видов движения, аналитические зависимости между указанными скоростями.

Ламинарное движение жидкости

Для ламинарного движения закон распределения локальных скоростей по поперечному сечению трубопровода описывается известным законом:

$$U_1 = \frac{y_1}{a} \left(2 - \frac{y_1}{a}\right) V_1, \quad (2)$$

$$U_2 = \frac{y_2}{b} \left(2 - \frac{y_2}{b}\right) V_2. \quad (2a)$$

Учитывая, что для рассматриваемого вида течения $V_1 = 2W_1$, $V_2 = 2W_2$, можем записать:

$$U_1 = \frac{y_1}{a} \left(2 - \frac{y_1}{a}\right) 2W_1, \quad (3)$$

$$U_2 = \frac{y_2}{a} \left(2 - \frac{y_2}{a}\right) 2W_2. \quad (3a)$$

Подставляя (3) и (3a) в выражение (1), получим:

$$\beta_x^n = \frac{\int_0^{z_1} \int_{y_1}^{z_1} \left[\frac{y_1}{a} \left(2 - \frac{y_1}{a}\right) 2W_1 \right]^2 dy dz + \int_{y_1}^{z_2} \int_0^{z_2} \left[\frac{y_2}{b} \left(2 - \frac{y_2}{b}\right) 2W_2 \right]^2 dy dz}{W^2 F} \quad (4)$$

Проведя некоторые преобразования и решая интегралы в установленных пределах, имеем:

$$\beta_x^n = 2.133 \frac{(f_1 W_1^2 + f_2 W_2^2)}{F W^2}, \quad (5)$$

но, $f_1 = 2ac$, $f_2 = 2bc$ и $F = (2a+2b)c$.

Подставляя значения площадей в выражение (5), получаем:

$$\beta_x^n = 2.133 \frac{(aW_1^2 + bW_2^2)}{(a+b)W^2}. \quad (6)$$

Формула (5) и (6) дает возможность определить значение поправочного коэффициента к количеству движения в месте слияния двух параллельных ламинарных потоков.

Турбулентное движение жидкости

В результате обширных экспериментальных исследований достаточно широкое распространение получила степенная зависимость между максимальной скоростью на оси трубы и местной скоростью в любой точке. Для рассматриваемого случая эта связь запишется:

$$U_1 = \left(\frac{y_1}{a}\right)^n V_1, \quad (7)$$

$$U_2 = \left(\frac{y_2}{b}\right)^n V_2, \quad (7a)$$

где $n = 0,9\sqrt{\lambda}$.

В свою очередь, используя известную зависимость [2] $V = (1 + 1,3\sqrt{\lambda})W$ между максимальной скоростью в трубе и средней скоростью потока, можем записать, принимая $\lambda_1 \approx \lambda_2 = \lambda$:

$$U = \left(\frac{y_1}{a}\right)^n (1 + 1,3\sqrt{\lambda})W_1, \quad (8)$$

$$U_2 = \left(\frac{y_2}{b}\right)^n (1 + 1,3\sqrt{\lambda})W_2. \quad (8a)$$

Подставляя (8) и (8a) в (1), получаем:

$$\beta_x^T = \frac{\int_0^{y_1} \int_0^z \left[(1 + 1,3\sqrt{\lambda}) \left(\frac{y_1}{a}\right)^n W_1 \right]^2 dydz + \int_{y_1}^{y_2} \int_0^{z_1} \left[(1 + 1,3\sqrt{\lambda}) \left(\frac{y_2}{b}\right)^n W_2 \right]^2 dydz}{W^2 F} \quad (9)$$

После преобразования и интегрирования в установленных пределах имеем:

$$\beta_x^T = \frac{(1 + 1,3\sqrt{\lambda})^2 (f_1 W_1^2 + f_2 W_2^2)}{(2n + 1) F W^2}. \quad (10)$$

Принимая во внимание, что для нашего случая $f_1 = 2ac$ $f_2 = 2bc$ $F = (2a + 2b)c$ и $n = 0,9\sqrt{\lambda}$, выражение (10) примет вид:

$$\beta_x^T = \frac{(1 + 1,3\sqrt{\lambda})^2 (aW_1^2 + bW_2^2)}{(1,8\sqrt{\lambda} + 1) (a + b)W^2}. \quad (11)$$

Зависимость (10) дает возможность определить значение поправочного коэффициента к количеству движения (на ось x) в месте слияния двух параллельных турбулентных потоков.

Экспериментальная проверка полученных зависимостей проводилась на аэродинамическом стенде. Аэродинамический стенд состоял из системы воздуховодов, экспериментального элемента 0,15x0,15 м, сделанного из органического стекла с внутренней перегородкой, камеры статического давления для замера суммарного расхода и вентилятора. Расход каждого из двух сливаемых потоков измерялся коллекторами. Поле скоростей снималось пневмометрической трубкой непосредственно за местом слияния потоков. Шаг, через который производились замеры динамического давления для определения местной скорости, составлял 0,01 м. Изменение шероховатости стенок воздухопровода осуществлялось наклеиванием песка определенной крупности. По значениям скоростей определялась экспериментальная величина поправочного коэффициента к количеству движений $\beta_{\text{экс}}$ и сравнивалась со значением, вычисленным по формуле (10).

Таблица

№	W_1	W_2	W	$2a$	$2b$	$Re=W_n d/\nu$	λ	$\beta_{\text{экс}}$	$\beta_{\text{выч}}$	$(\beta_{\text{выч}}-\beta_{\text{экс}})/\beta_{\text{выч}} \times 100 \%$
1	7,29	5,52	6,27	0,1	0,05	$\frac{58300}{13800}$	0,0011	1,095	1,14	3,9
2	6,86	8,40	6,82	0,1	0,05	$\frac{54700}{20900}$	0,0011	1,13	1,19	5,0
3	4,29	1,97	3,32	0,1	0,05	$\frac{34200}{4900}$	0,0011	1,14	1,24	8,08
4	4,16	3,50	3,78	0,1	0,05	$\frac{33100}{8700}$	0,0011	1,074	1,1	2,5
5	3,26	10,9	5,15	0,1	0,05	$\frac{26000}{27150}$	0,0011	1,40	1,54	3,2
6	6,51	9,41	7,34	0,1	0,05	$\frac{51900}{23400}$	0,025	1,15	1,21	4,9
7	3,90	6,0	4,73	0,1	0,05	$\frac{31100}{16900}$	0,025	1,22	1,29	5,4
8	3,30	3,64	3,4	0,1	0,05	$\frac{26300}{9100}$	0,025	1,086	1,14	4,7

Часть экспериментальных данных приведена в табл. По данным, приведенным в таблице, можно заключить, что значения коэффициента $\beta_{\text{выч}}$, вычисленные по формуле (10), и значения, найденные в ходе экспериментов, практически совпадают. Ошибка составляет в среднем 2-8 %. Величина поправочного коэффициента к количеству движения для случая слияния двух параллельных потоков в значительной мере отличается от единицы.

Экспериментальные исследования для проверки выражения (6) проводились с использованием интерферометра. Процесс слияния двух параллельных потоков визуализировался и пересчитывался на натуральный размер. На рис. 2 приведена интерферограмма слияния двух параллельных потоков. Приведенная интерферограмма иллюстрирует слияние симметричных потоков с одинаковыми средними скоростями.

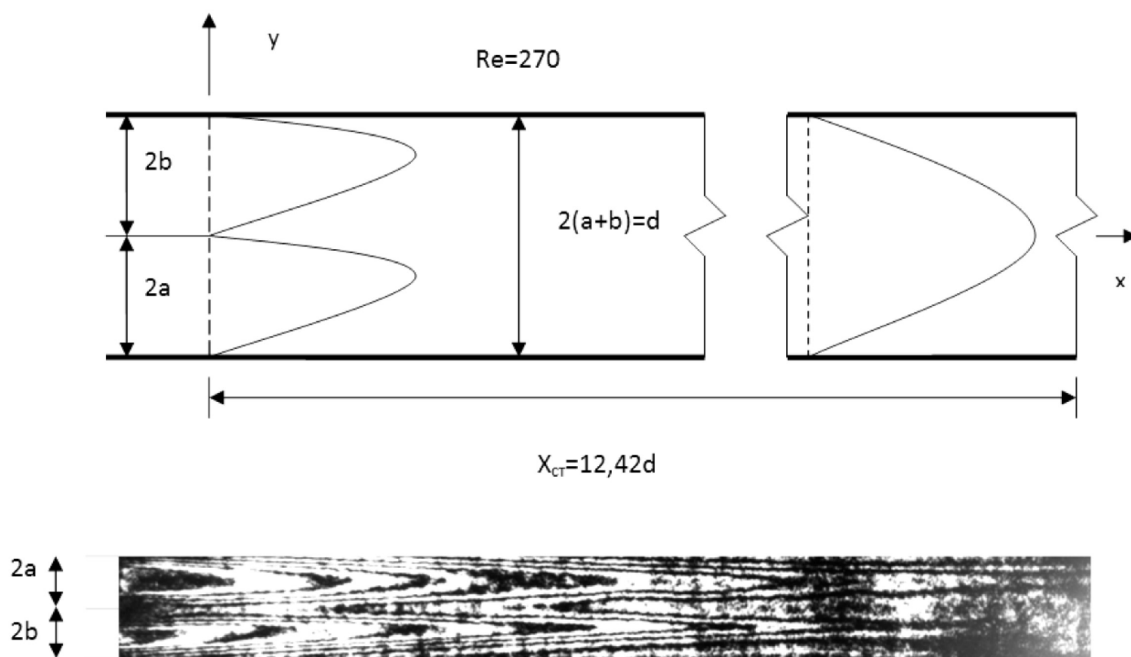


Рис. 2.

Условные обозначения:

- U – местная скорость движения, м/с; V – максимальная скорость движения, м/с;
 W – средняя скорость движения, м/с; β – поправочный коэффициент к количеству движения;
 x, y, z – текущие координаты, м; a, b, c – геометрические размеры трубопровода, м;
 λ – коэффициент трения; Re – критерий Рейнольдса

Список литературы

1. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1975.
2. Альтшуль А.Д. Гидравлические потери на трение в трубопроводах. – М.: Госэнергоиздат, 1963.

Davidov A.P. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: ap_Davidov@mail.ru

Valiullin M.A. – candidate of technical sciences, associate professor

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The value of the correction factor to the linear momentum at the confluence of two parallel fluid flows in laminar and turbulent modes

Resume

In the calculation of the ventilation elements (tees, air inlets, etc.) it is necessary to estimate the velocity field. To its evaluation the value of the correction factor to the linear momentum β is used, which is the ratio of the local velocity to the mean flow velocity. Until now in the calculation of these devices this factor is accepted equal to one in the turbulent regime and equal to two in the laminar motion. However, experience shows that this is not true. The value of the correction factor for each unit is determined experimentally. This complicates the calculations.

In the article the case of a merger of two parallel-moving streams is regarded. The analytical dependences of the correction factor to the linear momentum are obtained both for laminar β_x^n and turbulent β_x^m flows.

Experimental verification of the obtained relationships conducted on aerodynamic stand for the turbulent regime. The velocity field was received by using the pneumometric tube directly behind the confluence of the streams. Changing of the roughness was performed by gluing a sand with specific size onto the duct wall. By obtained speed values the experimental value of the correction factor to the linear momentum were determined and compared with the analytical dependence. The discrepancy was 2-8 %, which allows the use of the obtained dependences. For laminar mode the experimental studies were conducted using the interferometer. The interferogram shown illustrates the merger of symmetric flows with identical average speeds.

Keywords: ventilation technique, the velocity field, the correction factor, the linear flow momentum, merger flows.

References

1. Altshul A.D., Kiselev P.G. Hydraulics and aerodynamics. – M.: Stroiizdat, 1975.
2. Altshul A.D. Hydraulic friction losses in the piping. – M.: Gosenergoizdat, 1963.