

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ИНТЕНСИВНОСТИ ПУЛЬСАЦИЙ СКОРОСТИ ПОТОКА В ГАЗОВОМ ВИХРЕВОМ ЭЛЕМЕНТЕ

Карышев Ю.Д., Попадьин С.В.

Самарская государственная академия путей сообщения, г. Самара

При расчете акустических характеристик вихревых элементов, в которых изменение тангенциальной составляющей скорости закрученного потока по его радиусу соответствует закону постоянства циркуляции, необходимо знать величину интенсивности пульсаций тангенциальной составляющей скорости ε , отнесенной к ее осредненному значению. В работе [1] было принято, на основании экспериментальных данных [2,3], её значение в диапазоне 0,02-0,07. Оценим максимально возможное её теоретическое значение.

Движение закрученного потока носит колебательный характер, то есть его внутренняя граница периодически переходит с наименьшего радиуса на наибольший, проходя положение равновесия. Отнеся значения этих радиусов к радиусу сопла, получим относительные радиусы соответствующих границ. В результате такого движения границы потока значение тангенциальной составляющей скорости на этой границе будет изменяться.

Используя закон постоянства циркуляции, получим для определения коэффициента ε следующее выражение:

$$\varepsilon = \frac{c_{\theta m} - c_{1\theta m}}{c_{\theta m}} = 1 - \frac{\eta_m}{\eta_{1m}}, \quad (1)$$

где ε - интенсивность пульсации тангенциальной скорости; $c_{\theta m}$ - тангенциальная составляющая скорости на границе потока в положении равновесия; $c_{1\theta m}$ - тангенциальная составляющая скорости на верхней границе потока; η_m - относительный радиус положения равновесия; η_{1m} - относительный радиус верхней границы потока.

Для определения отношения радиусов в (1), запишем выражения расхода для случаев, когда граница потока занимает положение равновесия и положение верхней границы потока:

$$G = \pi \cdot r_c^2 \cdot \varphi \cdot \rho_{cp} \cdot c_z = \pi \cdot r_c^2 \cdot \varphi_1 \cdot \rho_{1cp} \cdot (c_z + \delta c_z), \quad (2)$$

где r_c - радиус сопла; φ - коэффициент заполнения сопла; c_z - аксиальная составляющая скорости на границе положения равновесия. Пульсационную составляющую аксиальной скорости δc_z представим в виде:

$$\delta c_z = c \cdot \varepsilon_1,$$

где c - скорость потока на его границе в положении равновесия; c_z - аксиальная составляющая скорости на границе положения равновесия; ε_1 интенсивность пульсации аксиальной скорости.

При этом коэффициенты заполнения сопла будут соответственно равны:

$$\varphi = 1 - \eta_m^2,$$

$$\varphi_1 = 1 - \eta_{1m}^2$$

Пренебрегая отличием осредненных плотностей, из (2) получим:

$$1 - \eta_m^2 = (1 - \eta_{1m}^2) \cdot \left(1 + \frac{\varepsilon_1 \cdot c}{c_z}\right), \quad (3)$$

где ε_1 - коэффициент интенсивности пульсаций аксиальной скорости. Величина

$$\frac{c_z}{c} = \cos \alpha_m = \sqrt{\frac{\varphi}{2 - \varphi}} = \sqrt{\frac{1 - \eta_m^2}{1 + \eta_m^2}} \quad (4)$$

является косинусом угла закрутки потока на границе равновесия. Тогда из (3) следует:

$$\frac{\eta_m}{\eta_{1m}} = \sqrt{\frac{1 + \frac{\varepsilon_1}{\cos \alpha_m}}{1 + \frac{\varepsilon_1}{\eta_m^2} \cdot \cos \alpha_m}}. \quad (5)$$

Максимально возможное значение коэффициента ε_1 найдем, записав выражения расхода для случаев, когда граница потока занимает положение равновесия и положение нижней границы потока:

$$G = \pi \cdot r_c^2 \cdot \varphi \cdot \rho_{cp} \cdot c_z = \pi \cdot r_c^2 \cdot \varphi_2 \cdot \rho_{1cp} \cdot (c_z - \delta c_z). \quad (6)$$

При наличии аксиальной составляющей скорости радиус внутренней границы потока не может быть меньше его значения в сечении входных каналов, где эта составляющая отсутствует. Это означает, что коэффициент заполнения сопла φ_2 не может быть больше его значения в сечении входных каналов φ_* . Принимая φ_2 равным φ_* и учитывая приведенные выше соотношения, получим выражение для максимально возможного значения коэффициента ε_1 :

$$\varepsilon_1 = \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_*}\right) \cdot \sqrt{\frac{\varphi}{2 - \varphi}}. \quad (7)$$

Значение φ_* определяется из выражения [1]:

$$\varphi_* = 1 - \frac{2 \cdot (1 - \varphi)^2}{c_1^2 \cdot (1 - \varphi)}, \quad (8)$$

где c_1 – степень раскрытости вихревого элемента, то есть отношение радиуса камеры закручивания к радиусу сопла вихревого элемента.

Используя уравнения (7) и (5), получим из уравнения (1) максимально возможное значение коэффициента ε . Результаты расчета приведены в таблице при $c_1 = 1$.

Чтобы получить значения коэффициента интенсивности пульсаций тангенциальной составляющей скорости ε_2 , отнесенного к полной скорости потока, что и приводится в экспериментальных данных, необходимо коэффициент ε умножить на синус угла закрутки потока.

Как видно из приведенной таблицы, в широком диапазоне изменения комплексной характеристики вихревого элемента A_k [1], значение коэффициента интенсивности пульсаций ε , принятое при определении его акустических характеристик на основании экспериментальных данных ряда исследователей, не превышает его максимально возможного теоретического значения. В то же время, теоретические значения коэффициента ε_2 хорошо согласуются с данными, полученными экспериментально.

Таблица 1. Результаты расчета коэффициентов пульсаций

φ	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
A_k	40,25	6,024	2	0,7244	0,1656
φ_*	0,1473	0,4235	0,666	0,8615	0,9818
η_m	0,9486	0,8366	0,7071	0,5477	0,3162
ε_1	$7,34 \cdot 10^{-2}$	0,1225	0,1443	0,1375	$7,53 \cdot 10^{-2}$
ε	$1,32 \cdot 10^{-2}$	$4,51 \cdot 10^{-2}$	$8,71 \cdot 10^{-2}$	0,1454	0,2312
ε_2	$9,32 \cdot 10^{-3}$	$3,14 \cdot 10^{-2}$	$5,87 \cdot 10^{-2}$	$8,66 \cdot 10^{-2}$	$9,4 \cdot 10^{-2}$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карышев Ю.Д. Газовые вихревые элементы. – Самара: СамИИТ, 2001. – 157с.
2. Халатов А.А. Теория и практика закрученных потоков. – Киев: Наукова думка, 1989. – 192с.
3. Устименко Б.П., Бухман М.А. Турбулентная структура потока в циклонной камере. // Теплоэнергетика. 1968. №2. – С.64-67.