

ЗАКОНОМІРНОСТІ ПІДТІКАННЯ ПОВІТРЯ ДО СТРУМИНИ

Розглянемо процес підсмоктування навколишнього повітря. За рахунок вихрового руху на вільній межі струмини прилеглі до неї частинки навколишнього повітря захоплюються струминою. При цьому виникає певне розрідження на межі струмини, що спонукає підтікання повітря з навколишнього середовища. Це розрідження для вільних струмин з малою ежекційною здатністю є малим за величиною і мало впливає на кількість руху у струмині. Проте воно достатнє для надання нерухомому повітрю певного руху.

Напрямок підтікання повітря визначити важко, адже дослідних даних для цього не вистачає. Приймемо, що повітря рухається в найкоротшому до межі струмини напрямку, тобто перпендикулярно до неї.

Визначимо зв'язок між швидкістю підтікання повітря v та максимальною швидкістю повітря u_m .

Класична схема прямолінійної ненастильної струмини наведена на рисунку. Ця схема успішно застосовується для вільних плоских і круглих струмин. Плоска напівобмежена струмина розраховується як половина плоскої вільної струмини.

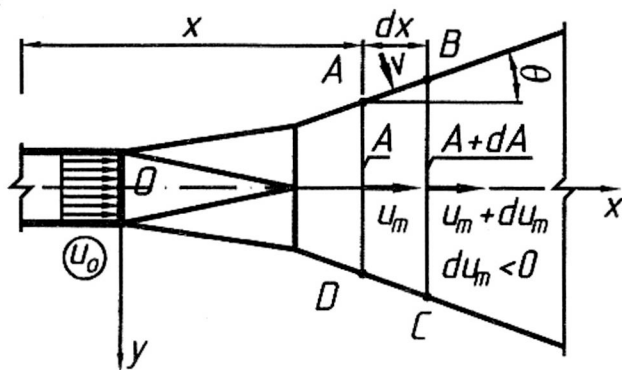


Рисунок. Схема струмини

Вихрові утворення у струмині, що визначають інтенсивність підсмоктування повітря, характеризуються числом Рейнольдса Re_u , запи-

саним з використанням максимальної швидкості повітря у перерізі u_m та товщини струминного примежового шару B .

З іншого боку, цей вихровий стан визначає швидкість підтікання повітря v . Тоді можна припустити пряму пропорційність між одержаним числом Рейнольдса Re_u та числом Рейнольдса Re_v , записаним за швидкістю підтікання v . При цьому характерний розмір залишається тим же, адже переріз струминного примежового шару характеризується лише його шириною. Тоді пряма пропорційність чисел Рейнольдса Re_u та Re_v означатиме пряму пропорційність між відповідними швидкостями повітря u_m та v . Назвемо коефіцієнт пропорційності коефіцієнтом підтікання повітря E . Тоді можна записати

$$\frac{Re_v}{Re_u} = \frac{v}{u} = E. \quad (1)$$

Визначимо коефіцієнт підтікання повітря E для вільної плоскої та круглої струмини.

Проведемо крізь вісь струмини вісь Ox в напрямку руху повітря. Введемо контур $ABCD$, де AB і CD — нормальні до осі струмини перерізи на нескінченно малій відстані dx .

Запишемо рівняння балансу об'ємів повітря для контура $ABCD$:

$$d(u_c A) = v \chi_s \frac{dx}{\cos(\theta)}, \quad (2)$$

де u_c — середня швидкість повітря у перерізі струмини, а A і χ_s — відповідно площа перерізу струмини та вільний периметр перерізу, тобто площа контакту перерізу струмини з навколишнім повітрям. Для плоских ненастильних струмин (півширина перерізу позначається B) $A = 2B$ та $\chi_s = 2$, а для вісесиметричних струмин (діаметр перерізу становить R) $A = \pi R^2$ і $\chi_s = 2\pi R$.

З рівняння (2) визначимо швидкість підтікання повітря:

$$v = \frac{d(u_c A)}{\chi_s dx} \cos(\theta). \quad (3)$$

Розділимо залежність (3) на початкову швидкість повітря u_o :

$$\bar{v} = \frac{d(\bar{u}_c A)}{\chi_s dx} \cos(\theta), \quad (4)$$

де $\bar{v} = v/u_o$ — безрозмірна швидкість підтікання повітря, а $\bar{u}_c = u_c/u_o$ — безрозмірна середня швидкість повітря.

Подальший перехід до безрозмірних величин здійснюватиметься для кожного виду струмин скороченням дробу формули (4) на початкову ширну B_o або площу $A_o = \pi R_o^2$.

Запишемо шукану функцію E у безрозмірних швидкостях $\bar{u}_m = u_m/u_o$ та $\bar{v}$:

$$E = \frac{\bar{v}}{\bar{u}_m}. \quad (5)$$

Результати розрахунків вільних струмин занесемо до таблиці.

Визначення функції E для різних видів вільних струмин

Струмина / ділянка	Безрозмірні параметри						Коефіцієнт підтікання, $E \times 10^{-2}$
	Координата, $\bar{x}$	Середня швидкість, $\bar{u}_c$	Осьова швидкість, $\bar{u}_m$	Розмір перерізу, $\bar{B}, \bar{R}$	Вільний периметр, $\bar{\chi}_o$	Швидкість підтікання, $\bar{v}$	
1	2	3	4	5	6	7	8
Плоска / початкова	$\frac{x}{B_o}$	$(1 + 0,0295 \times \bar{x}) + (1 + 0,151\bar{x})$	1	$1 + 1,51 \times 10^{-1} \bar{x}$	2	$\frac{d(\bar{u}_c \bar{y}_{\text{мек}})}{d\bar{x}} \cos(12^\circ 25') =$ $= 0,977 \times \frac{d}{d\bar{x}} (1 + 0,0295\bar{x}) =$ $= 0,0288$	2,88
Та сама / основна	$\frac{x}{B_o}$	$\frac{1,71}{\sqrt{\bar{x}}}$	$\frac{3,8}{\sqrt{\bar{x}}}$	$0,22\bar{x}$	2	$\frac{d(\bar{u}_c \bar{y}_{\text{мек}})}{d\bar{x}} \cos(12^\circ 25') =$ $= \frac{d}{d\bar{x}} \left(\frac{1,71}{\sqrt{\bar{x}}} \cdot 0,22\bar{x} \right) \cdot 0,977 =$ $= \frac{0,1838}{\sqrt{\bar{x}}}$	4,84
Вісесиметрична / початкова	$\frac{x}{R_o}$	$(1 + 0,0396 \times \bar{x} + 0,00278 \times \bar{x}^2) \div (1 + 0,14\bar{x})^2$	1	$1 + 0,14\bar{x}$	$2\pi(1 + 0,14 \times \bar{x})$	$\frac{d(\bar{u}_c \bar{R}^2)}{2R d\bar{x}} \cos(12^\circ 25') =$ $= 0,977 \frac{1}{2} \frac{1}{1 + 0,14\bar{x}} \frac{d}{d\bar{x}} \times$ $\times (1 + 0,0396\bar{x} + 0,00278\bar{x}^2) = 0,0193$	1,93

* За даними [1] таблиць 8.1 і 8.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Та ж/ основна	$\frac{x}{R_0}$	$\frac{3,2}{x}$	$\frac{12,4}{x}$	$0,22\bar{x}$	$2\pi 0,22\bar{x} =$ $= 0,44\pi\bar{x}$	$\frac{d(\bar{u}_c \bar{R}^2)}{2R d\bar{x}} \cos(12^\circ 25') =$ $= \frac{1}{2 \cdot 0,22\bar{x}} \frac{d}{d\bar{x}} \left(\frac{3,2}{x} 0,22^2 \bar{x}^2 \right) \times$ $\times 0,977 = \frac{0,344}{x}$	2,77

Можна зробити висновок, що коефіцієнт E , справді, є константою протягом початкової та основної ділянки струмнини окремо. На початковій ділянці ця константа значно менша. Пояснюється це тим, що струминний шар на початковій ділянці частково живиться повітрям за рахунок ядра струмнини. На основній ділянці струминний шар вимушений присмоктувати усе необхідне для його розвитку повітря лише ззовні.

Використана література

Ташев В. Н. Аэродинамика вентиляции: Учеб. пособие для вузов. — М.: Стройиздат, 1979. — 295 с., ил.