

ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ДІЛЯНКИ ПОВТОРНОГО ПРИЄДНАННЯ ПОТОКУ ЗА ДІАФРАГМОЮ ТА СОПЛОМ

© Орел В.І., 2013

На основі літературного огляду одержано, що довжина ділянки повторного приєднання потоку не перевищує 10 та 6 висот уступу за діафрагмою при течії відповідно повітря та води та 8 висот уступу за соплом при течії повітря.

Ключові слова: діафрагма, сопло, ділянка повторного приєднання потоку.

On the basis of literary review the length of reattachment region of the stream does not exceed 10 and 6 of recirculation height after an orifice plate at the flow of air and water accordingly and 8 of recirculation height after a nozzle at the flow of air was obtained.

Key words: orifice, nozzle, reattachment region of the stream.

Вступ

Відомо [1, с.159], що більшість місцевих гідравлічних опорів зі змінною площею перерізу потоку з гідравлічного погляду діють аналогічно діафрагмі.

Основним параметром діафрагми, як і будь-якого іншого стандартного звужувального пристрою, є відносний діаметр її отвору (діаметр горловини) d/D , де d – відношення діаметра отвору діафрагми до внутрішнього діаметра вимірювального трубопроводу D перед нею при робочій температурі середовища [2].

Більшість випадків, цікавих для практичного застосування діафрагм, відповідають турбулентному режиму течії. У теперішній час немає коректного методу розрахунку турбулентної течії рідини в околі діафрагми. Тому основним методом дослідження залишається експеримент [3, с.151–152].

У літературі, в якій розглядають відривні течії, велику увагу приділяють визначенню точки приєднання потоку [4].

Вплив різних факторів на довжину ділянки повторного приєднання потоку

Відносна довжина циркуляційної течії води після діафрагми [5]

$$x_R/D = f(d/D, T/D, Re_D), \quad (1)$$

де T – товщина діафрагми. Але математичним експериментом показано [5], що вплив критерію Рейнольдса на довжину x_R в діапазоні $Re_D = (90 \dots 2760) \cdot 10^3$ при $D = 0,21$ м є незначним і ним можна знехтувати. При цьому $x_R/D = 3,15$ при $d/D = 0,5$ та $T/D = 0,1$.

У разі раптового розширення труби при течії води довжина ділянки повторного приєднання потоку x_R практично не залежить від критерію Рейнольдса в діапазоні $Re_d = (1 \dots 1000) \cdot 10^3$ [6, с.13], становлячи

$$x_R/h = 6 \dots 10, \quad (2)$$

а при $D/d = 1,3 \dots 2,5$ ($d/D = 0,400 \dots 0,769$) [7, с.158]

$$x_R/h = 8 \dots 9, \quad (3)$$

де h – висота уступу,

$$h = 0,5 \cdot (D - d) = 0,5D \cdot (1 - d/D). \quad (4)$$

Встановлено [8], що довжина ділянки повторного приєднання потоку при турбулентному обтіканні уступу та ребра залежить від передісторії течії.

При пульсуючій турбулентній течії в круглій трубі у діапазоні частот накладених пульсацій $Sh = 0,6 \dots 0,7$ виявлено [9] ефект різкого зменшення довжини відривної ділянки за діафрагмою. При цьому пульсації витрати створювалися періодичним перекриванням вихідного перерізу каналу.

Аналізуючи течію крізь діафрагму води та високомолекулярних полімерів, одержано зменшення коефіцієнта місцевого гідравлічного опору в останньому випадку при $d/D = 0,378 \dots 0,771$ [10]. На основі цього можна припустити збільшення довжини ділянки повторного приєднання потоку, як це було при течії полімеру поліакриламід у круглому трубопроводі порівняно з водою за уступом з $h = 6$ мм та $D = 40$ мм ($d/D = 0,700$) [11] та раптовим розширенням труби з $h = 13$ мм та $D = 52$ мм ($d/D = 0,500$) [12].

Задачі досліджень

Метою роботи є визначення довжини ділянки повторного приєднання потоку за діафрагмою та соплом на основі літературного огляду.

Визначення точки повторного приєднання потоку за діафрагмою та соплом

Зауважимо, що для вимірювання витрати рідини в трубопроводах з діаметрами $50 \text{ мм} \leq D \leq 1000 \text{ мм}$ застосовують стандартні діафрагми з діаметрами $d > 12,5$ мм; при цьому відносний діаметр отвору $0,2 \leq d/D \leq 0,75$. Для сопел ISA-1932 мають бути дотримані такі умови: $50 \text{ мм} \leq D \leq 500 \text{ мм}$; $0,3 \leq d/D \leq 0,8$ [2].

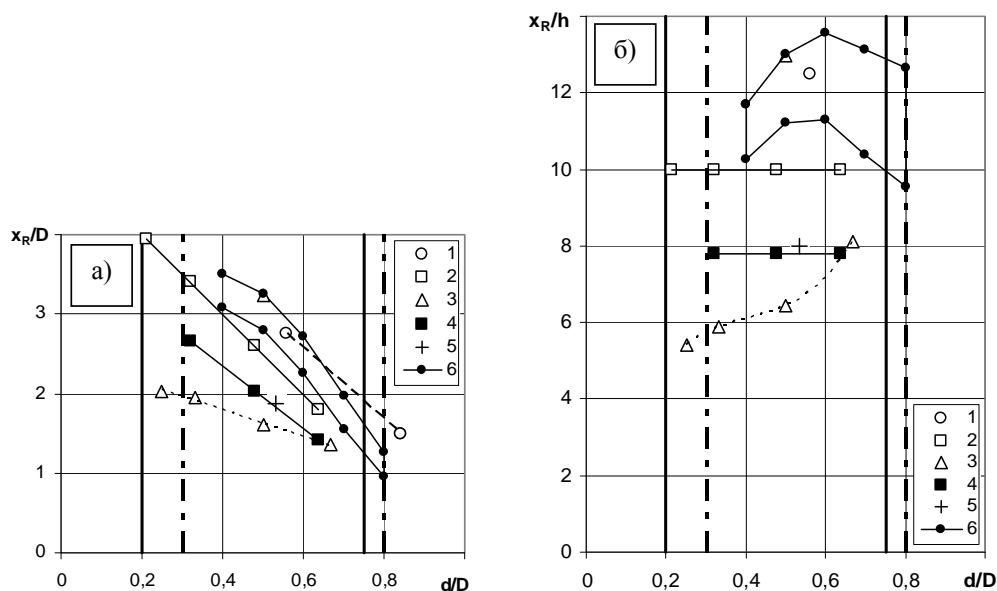
Довжини ділянки повторного приєднання потоку після діафрагм та сопел наведено в таблиці.

У дослідах [14] точка повторного приєднання потоку зсувається донизу за течією зі зменшенням діаметра отвору діафрагми від $0,667D$ до $0,250D$ (див. таблицю). Проте, це переміщення за критерію Прандтля $Pr = 3$ без урахування діафрагми діаметром $d = 0,667D$ є дуже малим, оскільки $x_R/h = 5,91 \pm 0,52$, тобто точність, як і в роботі [13].

Як видно з табл. 1, довжина ділянки повторного приєднання потоку x_R не залежить від критерію Рейнольдса, що збігається з [5], але залежить від критерію Прандтля.

Відносна довжина ділянки повторного приєднання потоку за діафрагмою не залежить від критерію Рейнольдса при $d/D = 0,25 \dots 0,50$ та при течії повітря та води становить відповідно $x_R/h = 10 \pm 0,5$ та $5,9 \pm 0,5$. При течії повітря за соплом $x_R/h = 7,8 \dots 8,0$ при $d/D = 0,32 \dots 0,64$.

За даними таблиці побудовано залежності $x_R/D = f(d/D)$ та $x_R/h = f(d/D)$.



Залежності $x_R/D = f(d/D)$ – (а) та $x_R/h = f(d/D)$ – (б): при фізичному експерименті

для діафрагм (1–3) при течії повітря (1) [14, досліди Белтера та ін.]; (2) [13] та води (3) [14] та для сопел при течії повітря: (4) [13]; (5) [15]; при математичному експерименті для діафрагм при течії води при відносній товщині діафрагм $T/D = 0,05 \dots 0,25$ (6) [5]; вертикальні лінії – межі використання стандартних діафрагм (суцільна) та сопел ISA-1932 (штрих-пунктирна) для вимірювання витрати рідин

Вихідні дані при течії плинних середовищ крізь діафрагми та сопла

Ч/ч	Діаметр отвору діафрагми d , мм	Діаметр трубопроводу D , мм	Відносний діаметр отвору діафрагми d/D	Робоче середовище	Відносна довжина ділянки повторного приєднання потоку		Критерій Рейнольдса $Re_D \cdot 10^3$	Критерій Прандтля Pr	Джерело
					x_R/h	x_R/D			
Діафрагми									
1.	40,0	188,0	0,213	повітря	10,0±0,5	—	—	—	[13]
2.	60,0		0,319		10,0±0,5	—	—	—	
3.	90,0		0,479		10,0±0,5	—	—	—	
4.	120,0		0,638		10,0±0,5	—	—	—	
5.	—	19,1	0,250	вода	—	2,03±0,2 1	9,9...51,6	3,0	[14]
6.	—		0,333		—	1,96±0,3 1	10,3...102,0	3,0	
7.	—		0,500		—	1,61±0,1 7	10,2...130,0	3,0	
8.	—		0,500		—	3,24±0,1 2	15,8...100,0	6,0	
9.	—		0,667		—	1,35±0,0 4	10,1...131,0	3,0	
10.	—	—	0,840	повітря	—	1,50	22,0	0,7	[14, Белгер та ін.]
11.	—	—	0,840		—	1,50	50,0	0,7	
12.	—	—	0,560		—	2,75	23,0	0,7	
Сопла									
13.	60,0	188,0	0,319	повітря	7,8±0,5	—	—	—	[13]
14.	90,0		0,479		7,8±0,5	—	—	—	
15.	120,0		0,638		7,8±0,5	—	—	—	
16.	50,8	95,2	0,534	повітря	8,0	—	153,95	—	[15]
<p>Примітки: 1. У дослідях [13] початкова швидкість течії повітря була 26...90 м/с, що відповідає значенням критерію Рейнольдса $Re_d \approx (100...540) \cdot 10^3$ [6, с.10].</p> <p>2. Для дослідів [14] відносну довжину ділянки повторного приєднання потоку x_R/D визначали за максимумом кривих $Nu_x/Nu_{fd} = f(x_R/D)$, де Nu – критерій Нусельта, а індекси “x” та “fd” відповідають осьовій координаті та повністю розвиненому потоку.</p> <p>3. У дослідях [14] товщина діафрагми $T = 2,38$ мм ($T/D = 0,125$).</p>									

З рисунку видно, що довжини x_R/D та x_R/h є більшими при течії за діафрагмою, ніж за соплом. Так, відносна довжина ділянки повторного приєднання потоку повітря за діафрагмою дорівнює $x_R/D = 4,0...1,3$, а за соплом – $x_R/D = 2,7...0,8$ (рис. а). Це не перевищує $x_R/h = 10$ за діафрагмою та $x_R/h = 8$ за соплом (рис. б).

При течії води за соплом $x_R/D = 2,0...1,2$ за критерію Прандтля $Pr = 0,3$. Для діафрагми при $d/D = 0,5$ за $Pr = 0,6$ відносна довжина $x_R/D = 3,24 \pm 0,12$ при $T/D = 0,125$ [14], що практично відповідає $x_R/D = 3,15$ при $T/D = 0,1$ [5].

Товщина діафрагми, за даними [5], незначно впливає на довжину ділянки повторного приєднання потоку води.

Висновки

На основі літературного огляду отримано, що відносна довжина ділянки повторного приєднання потоку x_R/h за діафрагмою не залежить від критерію Рейнольдса при $d/D = 0,25 \dots 0,50$ та при течії повітря та води становить відповідно $10 \pm 0,5$ та $5,9 \pm 0,5$. При течії повітря за соплом $x_R/h = 7,8 \dots 8,0$ при $d/D = 0,32 \dots 0,64$.

Товщина діафрагми незначно впливає на довжину ділянки повторного приєднання потоку.

1. Альтиуль А.Д. Гидравлические сопротивления / А.Д. Альтиуль. – М.: Недра, 1982. – 224 с.
2. ГСИ. Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления. Диафрагмы, сопла ИСА-1932 и трубы Вентури, установленные в заполненных трубопроводах круглого сечения. Технические условия: ГОСТ 8.563.1–97. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. – 62 с.
3. Тананаев А.В. Течение в каналах МГД-устройств / А.В. Тананаев. – М.: Атомиздат, 1979. – 368 с.
4. Лэнгрен. Отрыв и последующее развитие течения за диафрагмой, расположенной во входном сечении трубы / Лэнгрен, Спэрроу // Теор. основы инж. расчетов: Труды Амер. об-ва инж.-мех. – 1967. – Т.89, № 1. – С.267–270.
5. Wu Jianhua. Head loss coefficient of orifice plate energy dissipator / Wu Jianhua, Ai Wanzheng, Zhou Qi // J. Hydraulic Res. – 2010. – Vol.48, №4. – P.526–530.
6. Назарчук М.М. Ограниченные струи / М.М. Назарчук, В.Н. Панченко. – К.: Наук. думка, 1981. – 212 с.
7. Турбулентность / П. Брэдишоу, Т. Себеси, Г.-Г. Фернгольц и др.; Под ред. П. Брэдишоу. – М.: Машиностроение, 1980. – 343 с.
8. Терехов В.И. Особенности течения и теплообмена при отрыве турбулентного потока за уступом и ребром. 1. Структура течения / В.И. Терехов, Н.И. Ярыгина, Р.Ф. Жданов // Прикладная механика и техническая физика. – 2002. – Т.43, №6. – С.126–133.
9. Михеев Н.И. Длина отрывной области за диафрагмой при пульсирующем турбулентном течении в круглой трубе / Н.И. Михеев, В.М. Молочников, И.А. Давлетишин, Д.И. Романов // Труды Академэнерго. – 2005. – №1. – С.8–11.
10. Орел В.І. Вплив додатків полімерів на гідравлічний опір діафрагм / В.І. Орел, В.В. Чернюк // Вісник Нац. ун-ту “Львів. політехн.”. Теплоенергетика. Інженерія довілля. Автоматизація. – 2006. – № 561. – С.32–37.
11. Poole R.J. Turbulent flow of non-Newtonian liquids over a backward-facing step. Part II. Viscoelastic and shear-thinning liquids / R.J. Poole, M.P. Escudier // J. Non-Newtonian Fluid Mech. – 2003. – Vol.109. – P.193–230.
12. Poole R.J. Turbulent flow of viscoelastic liquids through an axisymmetric sudden expansion / R.J. Poole, M.P. Escudier // J. Non-Newtonian Fluid Mech. – 2004. – Vol.117. – P.25–46.
13. Кталхерман М.Г. Исследования распространения струи в канале / М.Г. Кталхерман, Я.И. Харитоновна // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. – 1969. – № 8, вып.2. – С.36–44.
14. Кралл. Турбулентный теплообмен в областях отрыва и присоединения потока и развития течения после присоединения в круглой трубе / Кралл, Спэрроу // Теплопередача: Тр. Амер. об-ва инж.-мех. – 1966. – №1. – С.145–152.
15. Стивенсон. Лазерные измерения скорости в рециркуляционных течениях с высоким уровнем турбулентности / Стивенсон, Томпсон, Крэйг // Теор. основы инж. расчетов: Труды Амер. об-ва инж.-мех. – 1984. – Т.106, №2. – С.146–153.