

УДК 697.922.566

**Г. С. РАТУШНЯК, Р. В. СТЕПАНКОВСЬКИЙ**  
Вінницький національний технічний університет

## **ОЦІНКА ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЙ РЕГУЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ АЕРОДИНАМІЧНИХ МЕРЕЖ НА ЇХНІ КОЕФІЦІЄНТИ МІСЦЕВИХ ОПОРІВ**

Стаття присвячена проблемі удосконалення регулювання аеродинамічних мереж на промислових підприємствах, в громадських установах. Надана оцінка впливу конструкцій виконавчих органів регулювальних пристроїв аеродинамічних мереж (систем вентиляції, аспірації) на їх коефіцієнти опору, що характеризують енергоощадність систем. Для покращення аеродинамічних властивостей протікання струмینی робочого середовища в системах вентиляції та аспірації запропонована конструкція дросельного пристрою з зручнообтічними регулювальними елементами.

**аеродинамічна мережа, регулювальний пристрій, регулювальні елементи, робоче середовище, коефіцієнт місцевого опору**

### **ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ**

Енергоефективність та енергоощадність аеродинамічних мереж, особливо в системах аспірації переробних та харчових підприємств, визначаються коефіцієнтами опору запірних та регулювальних пристроїв (їх виконавчих органів), величини яких залежать від їх конструкції, що впливає на прямолінійність лінії течії потоку.

### **АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Існуючі конструкції регулювальних пристроїв з дисковим затвором не є енергоощадним, так як внаслідок раптового звуження та розширення течії відбувається різка зміна швидкостей, що сприяє вихроутворенню, які є причиною значного опору. Крім того, одностороннє розташування в дисковому затворі регулювального елемента підвищує пульсацію тиску та вібрацію трубопроводу, що суттєво погіршує налагодження на оптимальні режими роботи аеродинамічної мережі [1].

**Мета роботи** є оцінка впливу конструкцій виконавчих органів регулювальних пристроїв аеродинамічних мереж на їх коефіцієнти опору, що характеризують енергоощадність систем вентиляції та аспірації, а також розроблення методики інженерного розрахунку налаштування дроселюючих елементів на прогнозовані робочі режими.

### **ОСНОВНА ЧАСТИНА**

Для покращення аеродинамічних властивостей протікання струмینی робочого середовища в системах вентиляції та аспірації, а також плавного регулювання витрати робочого середовища запропонована конструкція дросельного пристрою з зручнообтічними регулювальними елементами [2]. Завдяки поступовому плавному переходу до звужувальних (регулювальних) зон покращуються аеродинамічні властивості протікання струмینی робочого середовища та підвищується експлуатаційна надійність аеродинамічної мережі в цілому. Проектування й експлуатація аеродинамічних мереж з використанням дросельних пристроїв з зручнообтічними регулювальними елементами вимагає обґрунтування їх конструктивних та енергоощадних переваг над існуючими дисковими регулювальними пристроями.

Для найбільш поширеного в аеродинамічних мережах регулювання витрат робочого середовища за допомогою пристроїв з одним дисковим затвором коефіцієнт опору в повітропроводах круглого перерізу для всього діапазону критеріїв Рейнольдса обчислюється за формулою [1]

$$\xi_1 \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \frac{A}{\text{Re}} + \left(1 - \frac{50}{\text{Re}}\right) \xi_{\text{кв}}, \quad (1)$$

де

$$A \approx 120 \left[ \frac{1 + 0,5 \bar{D}_d (1 + \sin \delta)}{(1 - \bar{D}_d^2 \sin \delta)^2} \right], \quad (2)$$

$\delta$  – кут відкриття клапана, °;

$D_d$  – діаметр диска, м;

$D_0$  – діаметр трубопроводу, м;

$\bar{D}_d = D_d / D_0 = 0,98$ ;

$\text{Re} = w_0 D_0 / \nu$  – критерій Рейнольдса;

$w_0$  – швидкість робочого середовища, м/с;

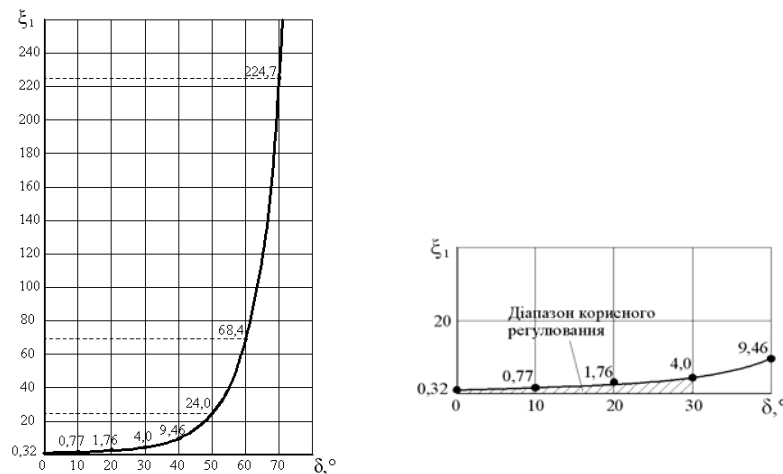
$\nu$  – кінематична в'язкість повітря, м<sup>2</sup>/с;

$\xi_{\text{кв}}$  – коефіцієнт опору в квадратичній зоні.

При куті відкриття клапана  $\delta > 20^\circ$  коефіцієнт опору в квадратичній зоні визначається за формулою

$$\xi_{\text{кв}} = \left( \frac{1,56}{1 - \bar{D}_d^2 \sin \delta} - 1 \right)^2. \quad (3)$$

Залежність коефіцієнта місцевого опору  $\xi_1$  регулювального пристрою від кута відкриття дискового затвора  $\delta$  за результатами моделювання згідно з формулами (1)–(3) зображено на рис. 1.



**Рисунок 1** – Залежність коефіцієнта місцевого опору регулювального пристрою від кута положення дискового затвора  $\xi_1 = f(\delta)$ .

Аналіз отриманих результатів (рис. 1) свідчить, що при зміні відкриття клапана  $\delta = 0 \dots 30^\circ$  відбувається повільне зростання коефіцієнта місцевого опору, що відповідає значенням  $\xi_1 = 0,32 \dots 4,00$ . При зміні кута відкриття клапана  $\delta$  від 0 до  $30^\circ$  на коефіцієнт опору дискового затвора впливає його форма та розміри [1]. У даних межах кута відкриття клапана  $\delta$  також порушується стабільність характеристик приводів затворів. При зміні відкриття клапана від  $\delta = 30^\circ$  і вище спостерігається швидке зростання коефіцієнта місцевого опору за параболічним законом. Це виключає можливість якісного, стабільного регулювання, так як зміна положення кута дискового затвора лише на  $\delta = 1^\circ$  обумовлює суттєве збільшення коефіцієнта опору  $\xi_1$ . Робочий діапазон застосування дискових затворів, що використовуються в схемах автоматичного регулювання, рекомендується обмежувати межами зміни  $\delta$  від  $30$  до  $90^\circ$ , при якому практично пропускна спроможність не залежить від конструкції затвора [1].

Отже, застосування регулювального пристрою, виконавчим елементом якого є дисковий затвор, обмежується малим діапазоном регулювання  $\delta = 0...30^\circ$ , що виключає можливість широкого варіювання зміни робочих параметрів аеродинамічної мережі.

Вдосконалення аеродинамічних властивостей регулювального пристрою потребує дослідження протікання робочого середовища через його виконавчий елемент. Основним елементом регулювального пристрою є тверде тіло, яке змінює поперечний переріз та з яким зіштовхується робоче середовище. Дослідження при визначенні опору тіл різної форми внаслідок обтікання течією показали, що найменші коефіцієнти сили лобового опору  $c_x$  мають зручнообтічні тіла, такі як циліндр, куля, каплеподібне тіло тощо [3, 4].

Для підвищення енергоощадності аеродинамічних мереж за рахунок покращення умов протікання струмینی робочого середовища запропоновано вдосконалену конструкцію регулювального пристрою з двома симетрично розташованими регулювальними елементами, виконаними у вигляді півсфер [2].

Налаштування дросельного пристрою запропонованої конструкції на прогнозовані робочі режими можливо при наявності відповідної методики інженерного розрахунку. Для регулювальних елементів, виконаних у вигляді двох півсфер, в повітропроводі при обтіканні потоком повітря коефіцієнт місцевого опору може бути визначений за формулою [1]

$$\xi_2 \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = c_x \frac{S_m / F_0}{(1 - 0,5 S_m / F_0)^3} \left(1 - \frac{2y}{D_0}\right)^{\frac{1}{3}}. \quad (4)$$

де  $c_x$  – коефіцієнт лобового опору регулювальних елементів;  
 $S_m$  – міделева площа регулювальних елементів, м<sup>2</sup>, яка дорівнює

$$S_m = \frac{\pi d_m^2}{4}, \quad (5)$$

$d_m$  – діаметр міделевого перерізу регулювальних елементів, м;

$D_0$  – діаметр повітропроводу, м;

$F_0$  – поперечний переріз повітропроводу, м<sup>2</sup>;

$y$  – відстань між осями повітропроводу та регулювальними елементами, м.

Коефіцієнт лобового опору регулювальних елементів  $c_x$  залежить від ступеня турбулентності, що характеризується критерієм Рейнольдса [5, 6].

Так при степені турбулентності  $\varepsilon_T = \sqrt{w'^2} / w_0 \approx 0$  і діапазоні  $0 < Re' < 5 \cdot 10^3$  при всіх режимах обтікання Вахрушев І. А. рекомендує узагальнену формулу [1]

$$c_x \approx \left( \frac{28,47}{Re' \lg(15,38 / \varphi)} + \frac{4,565\varphi}{\sqrt[3]{Re'}} - \frac{0,491\varphi}{\sqrt{Re'}} \right) \cdot [1 - th(0,01282 Re'(\varphi - 0,9805))] + \\ + 2,86(\varphi - 0,8531) th[0,01282 Re'(\varphi - 0,9805)] + \\ + (7,76 - 2,86\varphi - 4,88 / \varphi) th[0,00104 Re'(\varphi - 0,9038)] \quad (6)$$

де  $w'$  – подовжня пульсаційна швидкість потоку, м/с;

$\varphi$  – коефіцієнт несферичності частинок, що дорівнює відношенню площі поверхні частинки до площі поверхні кулі, рівноцінній їй за об'ємом. За визначальний розмір частинки, що входить в критерій Рейнольдса, приймається діаметр рівновеликої кулі  $d_e = Re' \cdot \nu / w_0$ ;

$d_e$  – еквівалентний діаметр частинки;

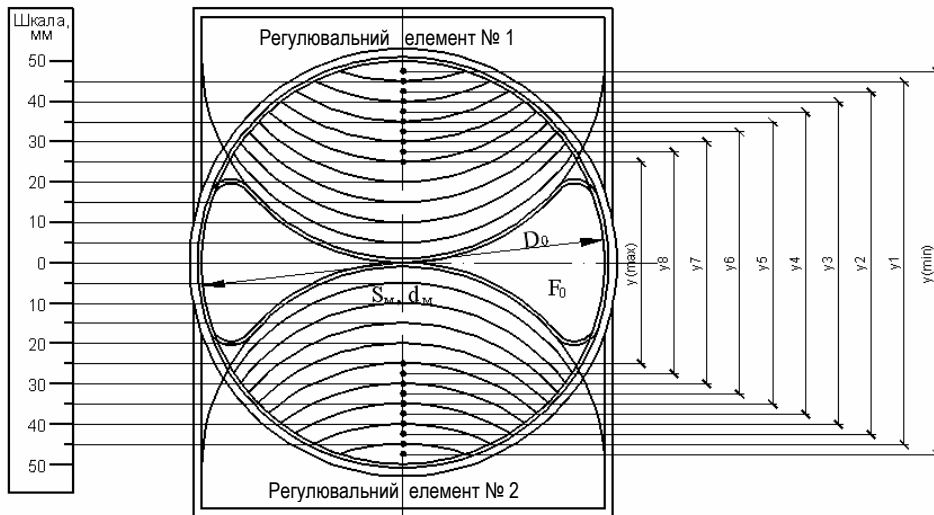
$th(\varphi)$  – функція – гіперболічний тангенс.

Для кулі коефіцієнт несферичності  $\varphi = 1$ , тоді формула (6) буде мати вигляд [1]

$$c_x \approx \left( \frac{24}{Re'} + \frac{4,565}{\sqrt[3]{Re'}} - \frac{0,491}{\sqrt{Re'}} \right) \cdot [1 - th(0,00025 Re')] + 0,42 th(0,00025 Re') + 0,02 th(0,0001 Re'). \quad (7)$$

Отже, коефіцієнт місцевого опору регулювального пристрою з виконавчими елементами у вигляді двох півсфер визначається силою лобового опору струмینی повітря та ступенем перекриття поперечного перерізу повітропроводу.

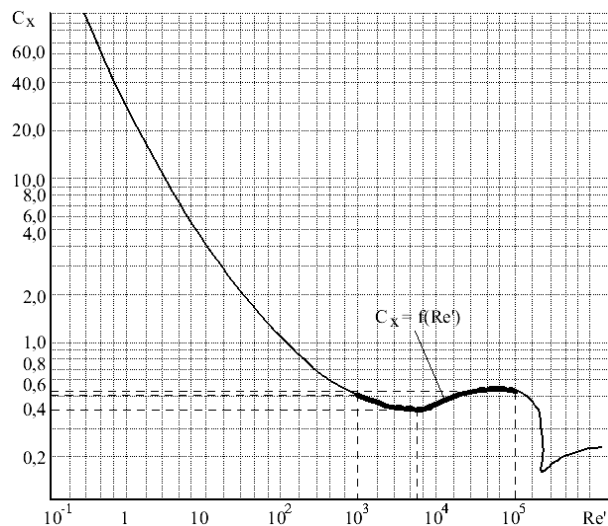
Схема до визначення коефіцієнта місцевого опору  $\xi_2$  вдосконаленої конструкції регулювального пристрою від ступеня його закриття  $S_m / F_0$  наведено на рис. 2.



**Рисунок 2** – Схема до визначення коефіцієнта місцевого опору  $\xi_2$  вдосконаленої конструкції регулювального пристрою від ступеня його закриття  $S_M/F_0$ .

При моделюванні режиму аеродинамічного процесу визначення коефіцієнта місцевого опору  $\xi_2$  регулювального пристрою виконувалось при одночасному зближенні кожного регулювального елемента через  $1/10$  відстані до осі регулювального пристрою  $y_{\min} \rightarrow y_{\max}$ . Для чисельного експерименту визначення коефіцієнта опору розглянуто регулювальний пристрій з внутрішнім діаметром  $D_0 = 100$  мм. Діаметр регулювальних елементів рівний діаметру регулювального пристрою. Ступінь закриття  $S_M/F_0$  при різних діаметрах регулювальних пристроїв є величина стала, так наприклад, при  $D_1 = 125$  і  $D_2 = 160$  мм, при  $y_{\max}$  відношення  $S_M/F_0(\max) = 0,76$ .

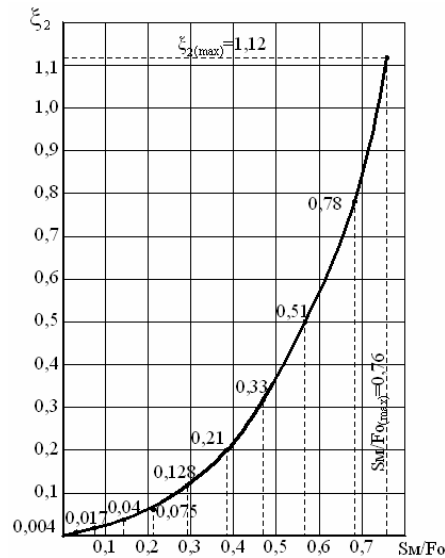
Залежність коефіцієнта сили лобового опору регулювальних елементів, виконаних у вигляді двох півсфер від критерію Рейнольдса згідно з проведеним чисельним моделюванням змінюється в межах  $Re' = 10^3 \dots 10^5$  (рис. 3) [4].



**Рисунок 3** – Залежність коефіцієнта сили лобового опору регулювальних елементів від критерію Рейнольдса  $c_x = f(Re')$ .

На графіку залежності коефіцієнта сили лобового опору регулювальних елементів від критерію Рейнольдса (рис. 3) виділяється діапазон  $Re' = 10^3 \dots 10^5$ , в якому коефіцієнт сили лобового опору коливається в межах  $c_x = 0,38 \dots 0,48$ . Підставляючи отримані величини  $c_x$  в формулу (4) отримуємо значення коефіцієнтів місцевих опорів  $\xi_2$  регулювального пристрою при різних положеннях регулювальних елементів  $y$ .

Залежність коефіцієнта місцевого опору  $\xi_2$  вдосконаленої конструкції регулювального пристрою від ступеня його закриття  $S_m/F_0$  наведено на рисунку 4.



**Рисунок 4** – Залежність коефіцієнта місцевого опору регулювального пристрою вдосконаленої конструкції від ступеня його закриття  $\xi_2 = f(S_m / F_0)$ .

З графіка (рис. 4) видно, що значення коефіцієнта місцевого опору змінюється в межах  $\xi_2 = 0 \dots 1,12$  залежно від ступеня закриття регулювальних елементів  $S_m/F_0 = 0 \dots 0,76$ . Параболічні залежності, що характеризують закриття регулювального пристрою більше ніж на  $2/3$  прохідного перерізу, і незначна зміна  $\xi_2 = 0 \dots 1,12$  свідчать про плавне, поступове, впорядковане регулювання аеродинамічної мережі, на відміну від регулювального пристрою з дисковим затвором (рис. 1).

Отримана графічна залежність  $\xi_2 = f(S_m / F_0)$  (рис. 4) може бути використана для інженерного розрахунку аеродинамічної мережі повітропроводів з прогнозованим налаштуванням регулювальних пристроїв на відгалужувальних ділянках на задані коефіцієнти місцевих опорів.

## ВИСНОВКИ

1. Застосування регулювального пристрою, виконавчим елементом якого є дисковий затвор, обмежується малим діапазоном регулювання  $\delta = 0 \dots 30^\circ$ , що виключає можливість широкого варіювання зміни робочих параметрів аеродинамічної мережі. Зміна положення кута дискового затвора лише на  $\delta = 1^\circ$  обумовлює суттєве збільшення коефіцієнта опору  $\xi_1$  та унеможливує якісне, стабільне регулювання.

2. Вдосконалена конструкція регулювального пристрою з виконавчими елементами, виконаними у вигляді двох півсфер, призводить до плавного, поступового, впорядкованого регулювання аеродинамічної мережі, про що свідчить параболічна залежність  $\xi_2 = f(S_m / F_0)$ .

3. Аналітично отримані значення коефіцієнта місцевого опору  $\xi_2$  регулювального пристрою вдосконаленої конструкції з двома виконавчими елементами, виконаними у вигляді двох півсфер, від ступеня його закриття  $S_m/F_0$ , графічна залежність яких  $\xi_2 = f(S_m / F_0)$  може бути використана для інженерного розрахунку аеродинамічної мережі повітропроводів з прогнозованим налаштуванням регулювальних пристроїв на відгалужувальних ділянках на задані коефіцієнти місцевих опорів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Идельчик, И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / И. Е. Идельчик; Под ред. М. О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1992. – 672 с.
- Пат. 33043 Україна, МПК F16K 7/00. Дросельний пристрій [Текст] / Г. С. Ратушняк, Р. В. Степанковський ; заявник та патентовласник Вінницький Національний технічний Університет. – № u200801268 ; заявл. 01.02.2008 ; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11. – 6 с.
- Талиев, В. Н. Аэродинамика вентиляции [Текст] : Учеб. пособие для вузов / В. Н. Талиев. – М. : Стройиздат, 1979. – 295 с.

4. Cebeci, T. Analysis of Turbulent Boundary Layers [Текст] / T. Cebeci, A. M. O. Smith. – New York : Academic, 1974. – 404 p.
5. Sokolov, V. Temporal characteristics of the initial stages diffusion of aerosols in a turbulent flow [Текст] / V. Sokolov, S. Kuz'menko, A. Veligura // ТЕКА Ком. Mot. i Energ. Roln. – OL PAN. – Lublin, 2010. – Volume 10B. – P. 178–185.
6. Launder, B. E. The Numerical Computation of Turbulent Flows [Текст] / B. E. Launder, D. B. Spalding // Comp. Meth. Appl. Mech. Eng. – 1974. – Vol. 3. – P. 269–289.

Отримано 03.04.2013

Г. С. РАТУШНЯК, Р. В. СТЕПАНКОВСКИЙ  
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ РЕГУЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ  
АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА ИХ КОЭФФИЦИЕНТЫ МЕСТНЫХ  
СОПРОТИВЛЕНИЙ

Винницкий национальный технический университет

Статья посвящена проблеме совершенствованию регулирования аэродинамических сетей на промышленных предприятиях, в общественных учреждениях. Дана оценка влияния конструкций исполнительных органов регулирующих устройств аэродинамических сетей (систем вентиляции, аспирации) на их коэффициенты сопротивления, характеризующие энергоэффективность систем. Для улучшения аэродинамических свойств протекания струи рабочей среды в системах вентиляции и аспирации предложена конструкция дроссельного устройства с удобообтекаемыми регулируемыми элементами.

**аэродинамическая система, регулирующее устройство, регулирующие элементы, рабочая среда, коэффициент местного сопротивления**

GEORGE RATUSHNYAK, ROMAN STEPANKOVSKYY  
ASSESSING THE IMPACT OF STRUCTURAL CONTROL DEVICES ON THEIR  
NETWORKS AERODYNAMIC COEFFICIENTS OF LOCAL RESISTANCE

Vinnitsia National Technical University

The article deals with the improvement of aerodynamic control networks in industrial enterprises, public institutions. Provided impact assessment designs executive control devices aerodynamic networks (ventilation, aspiration) for their resistance coefficients characterizing energy-saving systems. The construction throttle device streamlined regulatory elements has been suggested to improve the aerodynamic properties of the flow stream working environment in ventilation and suction.

**aerodynamic system, control device, control elements, the environment, the coefficient of local resistance**