

УДК 697.922.566

## Експериментальні дослідження коефіцієнта місцевого опору удосконаленої конструкції регулювальних пристроїв у системах вентиляції

Г. С. Ратушняк<sup>1</sup>, Р. В. Степанковський<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., проф., Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, ratusnak@gmail.com

<sup>2</sup>магістр з теплогазопостачання та вентиляції, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, stepankovsky@ukr.net.

*Анотація.* За результатами аналізу теоретичних досліджень виявлена необхідність удосконалення конструкції дросельних пристроїв системи вентиляції з метою підвищення їхньої енергоефективності. Розроблено експериментальну установку для визначення місцевого опору дросельного пристрою вентиляційної системи із зручнообтічними виконавчими робочими елементами. За результатами експериментальних досліджень встановлено значення місцевого опору при різній степені перекривання площі перерізу повітропроводу регулювальним пристроєм із зручнообтічними виконавчими елементами. Наведено графічну залежність для інженерного розрахунку запропонованих дросельних пристроїв. Отримано логарифмічну характеристику регулювання, що забезпечує плавне регулювання витрати вентиляційної мережі та розширення області регулювання. Зменшення майже вдвічі величини коефіцієнтів місцевого опору порівняно із традиційними свідчить про розширення можливості регулювання витрати в повітропроводах та підвищення енергоефективності систем вентиляції.

*Ключові слова:* дросельний пристрій, коефіцієнт місцевого опору, експериментальна установка, втрата тиску.

**Вступ.** Кількісне регулювання витрати відгалужень вентиляційних систем виконують за допомогою дросельних пристроїв, що утворюють місцеві опори [1]. Переформування поля швидкості та підтримання обертання утворених вихорів у зоні регулювального пристрою потребує затрати енергії. При застосуванні сучасних пристроїв кількісного регулювання – дроселів, – основним регулювальним елементом якого є пластина або ряд пластин, виникають кутові або перпендикулярні перешкоди руху повітря. Попадання повітря на регулювальний елемент під кутом або перпендикулярно утворює нерівномірну хаотичну епіюру аеродинамічних коефіцієнтів, призводить до інтенсивного формування ділянок завихрень та супроводжується різким коливанням втрат тиску [6]. Вирішення проблеми підвищення енергоефективності систем вентиляції спонукало до створення дросельного пристрою з плавним обтічним регулювальним елементом, що забезпечить зменшення інтенсивності вихроутворення, впорядкованості, стабільності аеродинамічної структури потоку та утворення умов стабільного налаштування втрат тиску [6-8].

**Актуальність дослідження.** Впровадження прогресивних технологій нової техніки, проведення заходів щодо покращення умов праці на підприємствах харчової промисловості, громадських установах призводить до необхідності реконс-

труювання та створення ефективних аеродинамічних мереж. Складність розрахунків опорів робочого середовища в регулювальних пристроях зумовлена наявністю в них зміни швидкості руху, відриву потоку, виникнення вихроутворення. Застосування ефективних засобів регулювання вентиляційних систем вимагає забезпечення стійкої аеродинамічної структури потоку.

**Останні дослідження та публікації.** Розподілення потоків у повітропроводах, регулювальних пристроях, розподільних пристроях вентиляційних систем досліджували С. С. Жуковський [2], О. Т. Возняк [2], В. Б. Довгалюк [3], П. Л. Зінич [4], Е. С. Малкін [5] та інші.

Конструктивне виконання регулювального пристрою з кутувими або незручнообтічними регулювальними елементами (поворотні стулки) всередині призводить до появи нестабільної збуреної аеродинамічної структури течії робочого середовища. Запобігти цим недолікам можливо шляхом винесення регулювального елемента з внутрішнього простору регулювального пристрою назовні та його заміною на некутовий зручнообтічний регулювальний елемент. При обтіканні кулеподібного (зручнообтічного) тіла спостерігається поступовий (плавний) перехід від надлишкового тиску до розрідження, що свідчить про зменшення інтенсивності вихроутворення, упорядкованість і стабільність аеродинамічної структури потоку.

**Формулювання цілей статті.** Метою роботи є визначення за результатами експериментальних досліджень коефіцієнтів місцевого опору регулювального пристрою з плавним зручнообтічним виконавчим органом при різних схемах перекирвання перерізу повітропроводу системи вентиляції.

**Основна частина.** При проходженні повітря через регулювальну діафрагму (рис. 1а,в) виникають місцеві опори. Значення втрати тиску в регулювальному пристрої визначаються за формулами:

- внаслідок звуження діафрагми

$$\Delta P_{M1} = \zeta_1 \rho v^2 / 2, \text{ Па}; \quad (1)$$

- внаслідок завихрення течії до та після регулювальних лопатей

$$\Delta P_{M2} = \zeta_2 \rho v^2 / 2, \text{ Па}, \quad (2)$$

де  $\rho$  – густина повітря,  $\text{кг/м}^3$ ;  $v$  – швидкість руху повітря через регульований пристрій,  $\text{м/с}$ ;  $\zeta_1$  і  $\zeta_2$  – коефіцієнти місцевих втрат тиску.

Загальні місцеві втрати тиску в регулювальному пристрої за формулами (1-2) становлять

$$\Sigma \Delta P_{M3} = (\zeta_1 + \zeta_2) \rho v^2 / 2, \text{ Па} \quad (3)$$

При проходженні повітря через дросельний пристрій з плавними зручнообтічними регулювальними елементами (рис.1б) основна частина затрати енергії йде на подолання опору через звужену область

$$\Delta P_M = \zeta \rho v^2 / 2, \text{ Па,} \quad (4)$$

де  $\zeta$  – коефіцієнт місцевих втрат тиску.

Плавний поступовий перехід до регулювальної області завдяки зручнообтічним регулювальним елементам супроводжується малою інтенсивністю вихроутворення до і після останнього. Це сприяє стабілізації потоку повітря, зниженню коливання (пульсацій) втрат тиску в регулювальному пристрої. Як наслідок, отримуємо підвищення точності налагодження витрати вентиляційної системи та підвищення її енергоефективності.

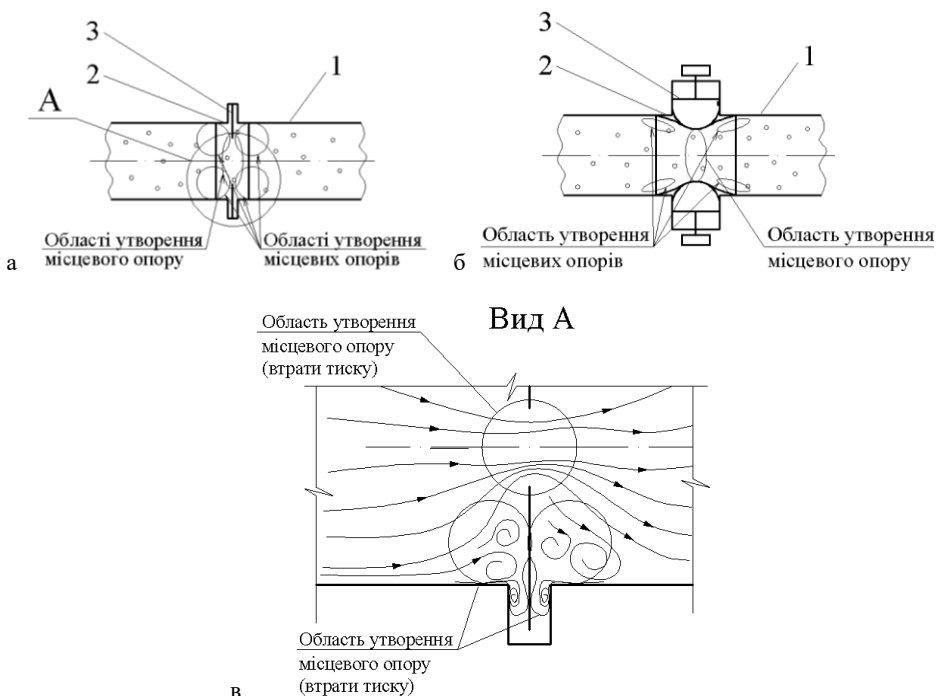


Рис. 1. Схеми регулювальних пристроїв з зонами утворення коефіцієнтів місцевих опорів: а – діафрагма регулювальна звичайного виконання; б – діафрагма регулювальна із зручнообтічними виконавчими елементами; в – вид А

Теоретичні дослідження втрат тиску в місцевих опорах представлені в роботі [9], але до даного часу не розроблений загальний аналітичний метод розрахунку значень місцевих опорів. Внаслідок цього втрати тиску в місцевих опорах головним чином визначаються експериментальним шляхом.

Запропонована удосконалена конструкція дросельного пристрою із зручно-обтічними регулювальними елементами для систем вентиляції, що захищена патентом Україна на корисну модель [11].

Для дослідження роботи регулювального пристрою у вентиляційній системі та для визначення коефіцієнта місцевого опору дросельовальних пристроїв із зручнообтічними елементами розроблена експериментальна установка (рис. 2).

Експериментальні дослідження коефіцієнта місцевого опору регулювального пристрою виконані за методикою [10, 12]. У точках T1 і T2 визначали втрати тиску на регулювальному пристрої  $\Delta P$ , Па, а в точці T3 швидкість руху робочого середовища  $v$ , м/с, при різному положенні зручнообтічних регулювальних виконавчих елементів (рис. 3).

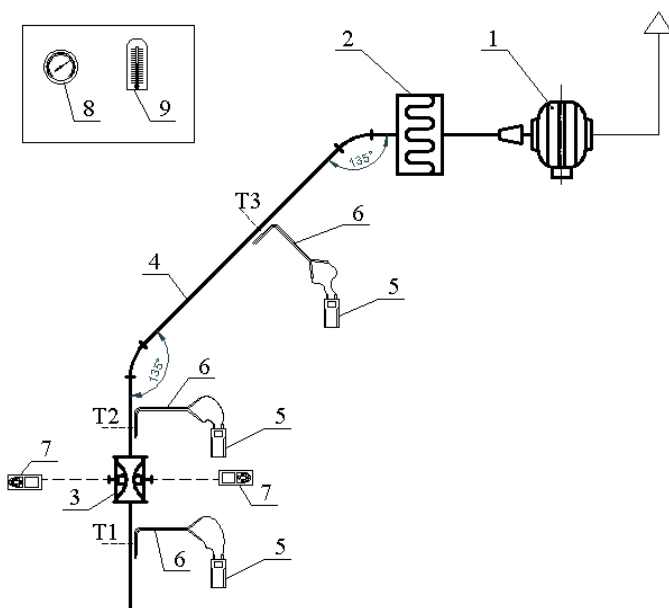


Рис. 2. Схема експериментальної установки для визначення величини коефіцієнта місцевого опору регулювального пристрою: 1 – вентиляційний агрегат VKA125LD; 2 – пилоочисне обладнання (фільтр); 3 – регулювальний пристрій із зручнообтічними виконавчими елементами (ДКЕВ); 4 – вентиляційна мережа; 5 – диференційний манометр TESTO 510; 6 – трубка Піто; 7 – лазерний вимірювач дистанції Leica DISTO D2; 8 – барометр-анероїд БАММ-1; 9 – термометр спиртовий

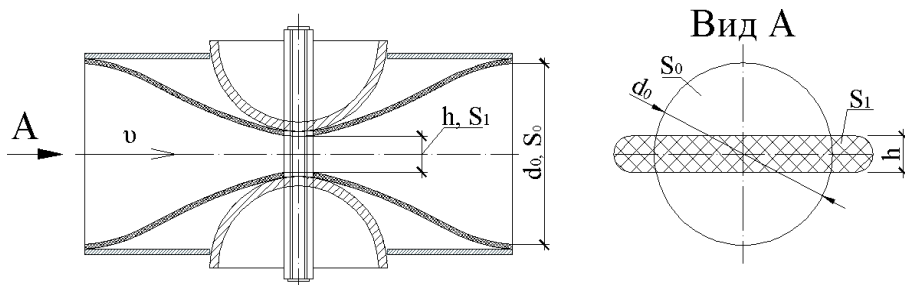


Рис. 3. Схема регулювального пристрою при перекриванні зручнообтічними виконавчими елементами перерізу повітропроводу

Зміну площі прохідного перерізу повітропроводу  $S_1$  проводили переміщуючи регулювальні елементи на 5 мм із кожного боку. Розміри щілини контролювалися лазерним вимірювачем розміру Leica DISTO D2 (рис. 2, поз. 7). Вимірювання параметрів повітря в повітропроводі, а саме, втрати тиску  $\Delta P$ , Па, та швидкості руху робочого середовища  $v$ , м/с, виконували за допомогою диференційного манометра TESTO 510 (рис. 2, поз. 5).

Результати дослідження значень коефіцієнта місцевого опору  $\xi$  при різній степені перекривання площі перерізу повітропроводу регулювальними пристроями із зручнообтічними виконавчими елементами (ДКЕВ) наведено в табл. Графічна візуалізація залежності коефіцієнта місцевого опору  $\xi$  від степені перекривання поперечного перерізу  $h/d_0$  або  $S_1/S_0$  повітропроводу в системі вентиляції наведена на рис.4.

Таблиця

Дослідні значення коефіцієнта місцевого опору  $\xi$  регулювального пристрою зі зручнообтічними виконавчими елементами (ДКЕВ) при різній степені перекривання перерізу повітропроводу

$h/d_0$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$S_1/S_0$	0,36	0,51	0,64	0,75	0,84	0,91	0,96	0,99	1,0
$\xi$	9,67	2,87	1,03	0,56	0,48	0,38	0,3	0,19	0,08

Логарифмічна характеристика регулювання  $\xi = f(h/d_0; S_1/S_0)$  свідчить про плавне регулювання витрати вентиляційної мережі та розширення області регулювання. Згідно з результатами експериментальних досліджень роботи регулювальних пристроїв – шиберів у прямокутних та круглих перерізах повітропроводів [8] при степені перекривання  $h/d_0 = 0,25 \dots 0,3$  коефіцієнт місцевого опору становить  $\xi = 16 \dots 20$ , тобто значно зростає. Також аналогічне дослідження наведено в попередній роботі [9] при роботі дросель-клапана звичайного виконання з одностулковим регулювальним елементом.

При застосуванні регулювального пристрою із зручнообтічними регулювальними елементами при степені закриття  $h/d_0 = 0,2$  коефіцієнт місцевого опору становить  $\xi = 9,67$ . Це свідчить про розширення можливості регулювання при ще меншому перекриванні регулювальним пристроєм площі поперечного перерізу повітропроводу вентиляційної мережі та суттєве зменшення місцевого опору, тобто підвищення енергоефективності систем вентиляції.

**Висновки.** Отримано логарифмічну характеристику регулювання  $\xi = f(h/d_0; S_1/S_0)$ , яка може бути використана в методиці інженерного розрахунку вентиляційної мережі при встановленні регулювального пристрою із зручнообтічними виконавчими елементами. Регулювання витрати вентиляційної мережі за допомогою регулювального пристрою з зручнообтічними регулювальними елементами характеризується плавністю та розширеною областю регулювання, а також підвищенням енергоефективності систем вентиляції.

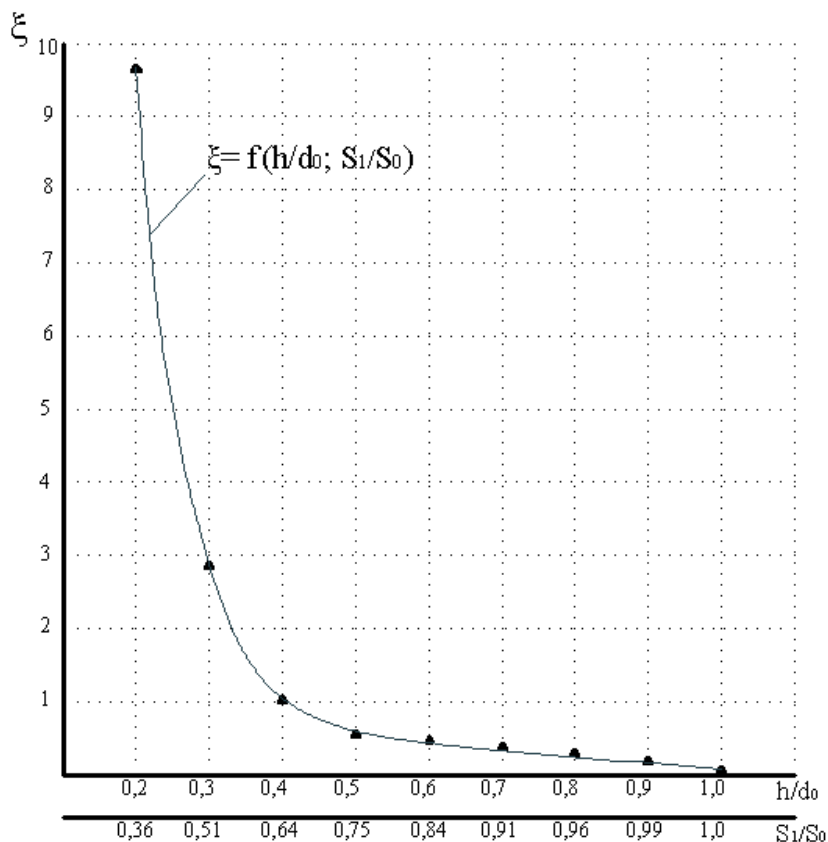


Рис.4. Залежність коефіцієнта місцевого опору від степені регулювання  $\xi = f(h/d_0; S_1/S_0)$

**Перспективи подальших досліджень.** Для отримання більш точних результатів роботи запропонованої конструкції регулювального пристрою потрібно розглянути розгалужену мережу вентиляційної системи з кількома регулювальними пристроями на відгалуженнях. Також необхідно детальніше дослідити зони нестабільності регулювання, де спостерігається швидке зростання втрат тиску в регулювальному пристрої.

**Подяки.** Автори вдячні професорам кафедри теплогазопостачання та вентиляції Київського національного університету будівництва і архітектури Е. С. Малкіну, В. Б. Довгалюку, доценту В. О. Мілейковському, а також професору кафедри теплогазопостачання та вентиляції Національного університету “Львівська політехніка” С. С. Жуковському, доценту О. Т. Возняку, праці яких дали поштовх для розвитку даного напрямку досліджень.

### Література

1. Вахвахов Г. Г. Энергосбережение и надежность вентиляторных установок / Г.Г. Вахвахов. – Москва: Стройиздат, 1989. – 176 с.

2. Вентилювання приміщень. Навчальний посібник / С. С. Жуковський, О. Т. Возняк, О. М. Довбуш, З. С. Люльчак. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2007. – 476 с. (ISBN 978-966-553-645-1).
3. Довгалюк В.Б. Розрахункова модель неізотермічної струмини, що насталяється на опуклу циліндричну поверхню / В.Б. Довгалюк, В.О. Мілейковський // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2008. – Вип. 12. – с. 11-32.
4. Зінич П. Л. Вентиляція громадських будівель: навч. посіб. / П.Л. Зінич. – Київ: КНУБА, 2002. – 256 с.
5. Малкін Е. С. Особливості нерівномірного розподілу повітряного потоку в трубному пучку / Е.С. Малкін, Н.В.Чепурна, М.А.Кириченко // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2012. – Вип. 16. – с. 17 – 19.
6. Талиев В. Н. Аэродинамика вентиляции: учеб. пособие для вузов / В.Н.Талиев. – Москва: Стройиздат, 1979. – 295 с., ил.
7. Калицун В. И. Основы гидравлики и аэродинамики: учебник для техникумов / В. И. Калицун, Е. В. Дроздов. – Москва: Стройиздат, 1980. – 247 с.
8. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Под ред. М.О.Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. / И.Е. Идельчик. – Москва: Машиностроение, 1992. – 672 с.
9. Ратушняк Г. С. Вдосконалення регулювання аеродинамічних потоків трубопровідних систем / Г. С. Ратушняк, Р. В. Степанковський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – №4, серія «Технічні науки». – С. 26-33.
10. Ратушняк Г. С. Регулювання витрати аеродинамічних потоків в системах вентиляції та аспірації : монографія / Г. С.Ратушняк, Р. В. Степанковський. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 112 с.
11. Пат. 52768 Україна, МПК F16K 7/00, B08B 15/00. Дросельний пристрій / Р. В. Степанковський, Г. С. Ратушняк. – № u 2010 02050 ; заявл. 25.02.2010 ; опублік. 10.09.2010 бюл. №17.
12. ГОСТ 12.3.018-79. Методы аэродинамических испытаний. – Москва: Изд-во стандартов, 1981. – 10 с.

## References

1. Vahvahov G. G. *Energoberejenie i nadejnoct ventilyatornih*. Stroyizdat, 1989.
2. Zhukovsky S. S., Vozniak O. T., Dovbush O. M., Lyulchak Z. S. *Ventilyuvannya primishchen*, Vidavnistvo Lvivskoi politechniki, 2007.
3. Dovgalyuk V. B., Mileykovskiy V. O. “Rozrakhunkova model neizotermichnoi strumini, scho nastilayetsya na opuklu tsilindrichnu poverkhnyu.” *Ventilatsia, osviltlenya ta teplogazopostachanya: Naukovo-technichny zbirnik*, Iss. 12, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2008, pp. 11 – 32.
4. Zinich P. L. *Ventilyatsia gromadskih budivel*. Kyiv National University of Construction and Architecture, 2002.
5. Malkin E. S., Chepurna N. V., Kirichenko M. A. “Osoblivosti nerivnomirnogo rozpodilu povitryanogo potoku v trubnomu puchku.” *Ventilatsia, osviltlenya ta teplogazopostachanya: Naukovo-technichny zbirnik*. Iss. 16, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2012, pp. 17 – 19.
6. Taliev V. N. *Aerodinamika ventilyatsii*. Stroyizdat, 1979.

7. Kalitsun V. I., Drozdov E. V. *Osnovi gidravliki I aerodinamiki*. Stroyizdat, 1980.
8. Idelchik I. E. *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniam*. Edited by Shteynberg M. O., 3<sup>rd</sup> ed., Mashinostroyeniye, 1992.
9. Ratushnyak G. S., Stepankovskiy R. V. “Vdoskonalennyya regulyuvanya aerodinamichnih potokiv truboprovodnih system.” *Visnik Khmel'nitskogo natsionalnogo universitetu*, Iss. 4, 2010. – №4, pp. 26-33.
10. Ratushnyak G. S., Stepankovskiy R. V. *Regulyuvanya vytraty aerodynamichnykh potokiv v sistemakh ventilyatsii ta aspiratsii*. Vinnytsia National Technical University, 2015.
11. Stepankovskiy R. V., Ratushnyak G. S. “Droselnyy pristryi.” Patent of Ukraine 52768. 10 September 2010.
12. *Metody aerodinamicheskikh ispytaniy*. GOST 12.3.018-79, Izdatelstvo standartov, 1981.

**УДК 697.922.566**

## **Экспериментальные исследования коэффициента местного сопротивления усовершенствованной конструкции регулировочных устройств в системах вентиляции**

Г. С. Ратушняк<sup>1</sup>, Р. В. Степанковский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., проф., Винницкий национальный технический университет, г. Винница, Украина, ratusnag@gmail.com

<sup>2</sup>магистр по теплогазоснабжению и вентиляции, Винницкий национальный технический университет, г. Винница, Украина, stepankovskyy@ukr.net.

*Аннотация. По результатам анализа теоретических исследований обнаружена необходимость усовершенствования конструкции дроссельных устройств системы вентиляции с целью повышения их энергоэффективности. Разработана экспериментальная установка для определения величины местного сопротивления дроссельного устройства вентиляционной системы с удобнообтекаемыми исполнительными рабочими элементами. По результатам экспериментальных исследований установлено значение коэффициента местного сопротивления при различной степени перекрытия площади сечения воздуховода регулировочным устройством с удобнообтекаемыми исполнительными элементами. Приведена графическая зависимость для инженерного расчёта предложенных дроссельных устройств. Получена логарифмическая характеристика регулирования, что обеспечивает плавное регулирование расхода вентиляционной сети и расширение области регулирования. Уменьшение почти вдвое величины коэффициента местного сопротивления по сравнению с традиционными свидетельствует о расширении возможностей регулирования расхода в воздуховодах и повышения энергоэффективности систем вентиляции.*

*Ключевые слова: дроссельное устройство, коэффициент местного сопротивления, экспериментальная установка, потеря давления.*



UDC 697.922.566

## Experimental Research of Coefficient of Local Resistance for Improved Construction of Control Devices in Ventilation System

G. Ratushnyak<sup>1</sup>, R. Stepankovsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ph.D., Professor, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, Ukraine, ratusnag@gmail.com

<sup>2</sup> Heating and ventilation Master, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, Ukraine, stepankovskyy@ukr.net.

*Abstract. The analysis of theoretical research revealed the need to improve the design of throttling devices for ventilation systems in order to enhance their energy efficiency. An experimental setup is developed for the determination of the local resistance of the throttle device for ventilation system with convenient streamlined by executive working elements. According to the results of experimental studies there is set of local resistance values at different degrees of overlapping area of section of the duct adjusting device conveniently streamlined actuating elements. The graphical dependence for the engineering calculation of the proposed throttling devices is given. The logarithmic characteristic of control is obtained, which ensures smooth flow control in the ventilation system and expansion of the control range. The almost twice decrease of the coefficient of local resistance as compared to traditional throttles shows the possibility of extension of flow control range in air ducts and ventilation systems energy efficiency rise.*

*Keywords: throttle device, coefficient of local resistance, experimental device, pressure drop.*

*Надійшла до редакції 27 квітня 2017 р.*