УДК 621.396.6+697.685.8

В.М. Фаст
Національний університет "Львівська політехніка"

МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОМЕТРІЇ ПОВІТРОВОДІВ СИСТЕМ ПРИМУСОВОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ДЛЯ РОЗДАЧІ ПОВІТРЯ ЗА ЗАДАНИМ ЗАКОНОМ

Запропонована математична модель синтезу геометричних параметрів роздаючих ланок повітроводів із заглушеним торцем за умови неперервної роздачі повітря вздовж грані, згідно з заданим законом.

При проектуванні складної електронної апаратури, такої як шафи, стояки, системи, комплекси, виникає проблема стабілізації температурного режиму. Це викликано високою щільністю компоновки вузлів, застосуванням більш потужних електрорадіоелементів, нових матеріалів. Одним з шляхів вирішення вказаної проблеми є використання систем локального примусового повітряного охолодження, які забезпечують подачу холодоносія – повітря до окремих вузлів конструкції, пропорційно їх тепловиділенням. Подібні задачі вирішуються під час розробки спеціального технологічного обладнання термопрогону чи сушіння електронних модулів. У цьому випадку системи подачі повітря повинні забезпечувати створення заданих температурних зон в середині об'єкта, в тому числі тих, що описуються певним законом. Нині, при наявності математичного апарату опису руху повітря при рівномірній роздачі повітря, або при постійній ширині щілини [1], відсутні моделі, які б дозволяли розраховувати геометрію повітроводів для забезпечення витрат повітря вздовж грані, що відповідають певному закону.

Метою даної роботи є моделювання геометрії поздовжньої щілини у системах повітророзподілу для забезпечення таких витрат вздовж грані, які підпорядковуються закону, що описується функцією $f(x)$.

Для спрямування повітря всередині конструкцій використовують системи повітророзподільних та направляючих пристроїв, що складаються з окремих ланок. Розглянемо роздавальну ланку – короткий короб, із заглушеним торцем довжиною l, що має постійний прямокутний поперечний розріз $F = a \cdot b$ (a та b – сторони повітроводу) і вздовж однієї з граней – поздовжню щілину шириною δ_x, через яку здійснюється роздача повітря (рис. 1).

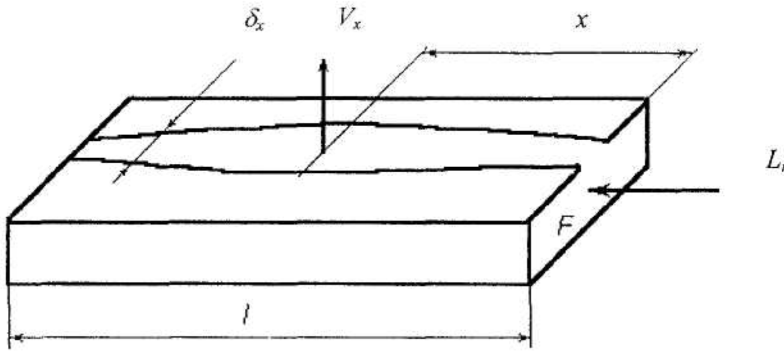

Рис. 1. Ланка коробу для роздачі повітря

Витрати повітря на вході у повітровід L_n. Задача визначення геометрії поздовжнього отвору для забезпечення відповідних витрат повітря $L_x = f(x)$ зводиться до визначення закону зміни ширини щілини δ_x вздовж повітроводу.

При цьому очевидно, що функція $f(x)$ для забезпечення умов повітророздачі повинна задовольняти рівності:

$$\int_0^l f(x)dx = L_n . \tag{1}$$

Функція L_x буде визначеною, якщо буде задано значення початкових витрат через щілину L_0 (величина L_x при $x = 0$).

Приймемо за початок координат відкритий торець повітроводу та спрямуємо вісь абсцис у напрямку руху повітря. Проведемо у повітроводі поперечний переріз на відстані x від входу. Ширина щілини у перетині x визначатиметься з виразу:

$$\delta_x = \frac{L_x}{V_x} = \frac{f(x)}{V_x}, \tag{2}$$

де V_x – нормальна до осі повітроводу швидкість у перетині x.

Швидкість V_x визначається за формулою [1, с. 181]:

$$V_x = \mu\sqrt{\frac{2\Delta p_x}{\rho}}, \tag{3}$$

де μ – коефіцієнт розходу повітря;

ρ – густина повітря;

Δp_x – надлишковий статичний тиск у перетині x.

Складемо стосовно до перетинів x та x=0 (перетин що співпадає з відкритим торцем повітроводу) рівняння Бернуллі:

$$\Delta p_n + \frac{\rho\omega_n^2}{2} = \Delta p_x + \frac{\rho\omega_x^2}{2} - \int_0^x \frac{\lambda}{d_e}\frac{\rho\omega_x^2}{2}dx, \tag{4}$$

де ω_x – швидкість повітря у повітророзподільнику в перетині x;

ω_n – початкова швидкість повітря у повітророзподільнику;

Δp_n – надлишковий статичний тиск на початку короба:

$$\omega_n = L_n/F.$$

Підінтегральний вираз характеризує втрати на тертя на відрізку $(0...x)$. Оскільки у коротких повітроводах, якими є повітроводи спеціального технологічного обладнання та примусової вентиляції ЕЗ, ці втрати є незначними, то третім доданком виразу (4) можна знехтувати. Таким чином, рівняння Бернуллі запишеться у простішому вигляді:

$$\Delta p_n + \frac{\rho\omega_n^2}{2} = \Delta p_x + \frac{\rho\omega_x^2}{2}. \tag{5}$$

Швидкість повітря у повітроводі ω_x можна виразити через L_x:

$$\omega_x = L_x/F = \int_x^l f(x)dx \Big/ F. \tag{6}$$

Здійснюємо підстановку ω_x в (5) та знаходимо вираз для надлишкового статичного тиску в перетині x:

$$\Delta p_x = \Delta p_n + \frac{\rho\omega_n^2}{2} - \frac{\rho}{2F^2}\left(\int_x^l f(x)dx\right)^2. \tag{7}$$

Проведемо підстановку Δp_x у формулу (3) та виразимо ширину щілини через отримане значення V_x згідно з (2). Після нескладних перетворень отримаємо:

$$\delta_x = L_x \Bigg/ \sqrt{\frac{2\mu^2\Delta p_n}{\rho} + \frac{\mu^2}{F^2}\left[L_n^2 - \left(\int_x^l f(x)dx\right)^2\right]}. \tag{8}$$

Розглянемо перший доданок підкореневого виразу та проведемо, використовуючи (3), наступні перетворення:

$$\frac{2\mu^2\Delta p_n}{\rho} = V_n^2, \tag{9}$$

де V_n^2 – швидкість витікання повітря через щілину на її початку.

Тоді, для забезпечення заданих витрат повітря $f(x)$, ширина щілини повітророзподільника у перерізі з координатою x повинна змінюватись за законом:

$$\delta_x = f(x) \Bigg/ \sqrt{V_n^2 + \frac{\mu^2}{F^2}\left[L_n^2 - \int_x^l f(x)dx\right]^2}. \tag{10}$$

Отриманий вираз для δ_x являє собою рекурентну математичну модель повітророзподільника. Як відомо, розрахунок рекурентної моделі може бути проведений виключно чисельними методами, що вимагає задавання стартового значення для ініціалізації розрахунку.

За стартове значення приймаємо величину швидкості витікання повітря з щілини на початку повітророзподільника V_n. Задавши V_n, можна обчислити значення δ_x для довільних перерізів, розташованих на відстані x від відкритого торця короба, а значить встановити закон зміни ширини поздовжньої щілини.

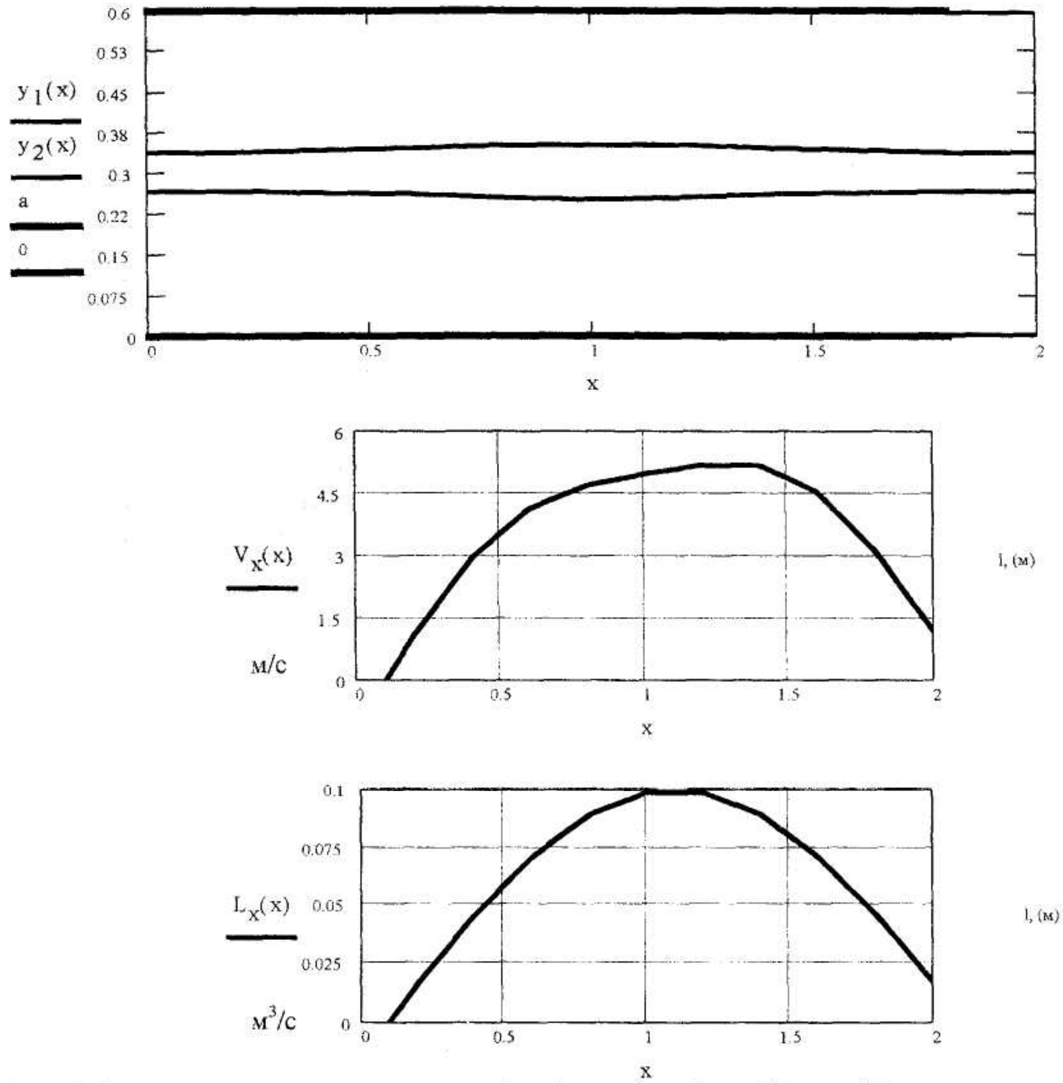

Рис. 2. Результати синтезу параметрів щілини для функції розподілу витрат повітря

$$L_x = Sin\left(\frac{x\pi}{l}\right)$$

Розроблена модель була апробована для різних функцій розподілу $f(x)$. Результати моделювання для рівномірного розподілу $L_x = a$ повністю співпадають з відомими [1]. Геометрія щілини та розподіл витрат і швидкості повітря для синусоїдальної функції $L_x = Sin\left(\frac{x\pi}{l}\right)$ наведені на рис. 2. Отже, модель є універсальною та дозволяє проводити розрахунки для довільних функцій $f(x)$ при умові, що синтезована конфігурація щілини може бути реалізована технічно. Порівняльний аналіз отриманих результатів з експериментальними даними дозволяє зробити висновок про можливість застосування розробленої моделі синтезу для інженерних розрахунків роздавальних ланок коротких повітроводів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Талієв В.А.* Аэродинамика вентиляции: Учеб. пособие для вузов. – М.: Стройиздат, – 1979. – 295 с.

Подано 25.09.2002