

**НАУКОВІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА  
ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ**

УДК 532.528; 620.193.16

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО ВИТОКУ  
НАДЛИШКОВОСТІ СЕРЕДОВИЩА ЧЕРЕЗ ДИFUЗОР**

<sup>1)</sup>Порєв В. А., <sup>2)</sup>Троц А. А.

<sup>1)</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
м. Київ, Україна

<sup>2)</sup>Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», м. Київ, Україна  
[prof@barvinok.net](mailto:prof@barvinok.net)

*В сучасній газовій та рідинній динаміці існує проблема забезпечення регульованих газових та рідинних витоків через дифузори малої енергоємності. Це стосується систем аналізу та систем забезпечення процесів у пневмогідролічній та в сфері створення рушіїв малої потужності. На основі аналізу стану процесу витоків надлишкового середовища із обмеженого об'єму через дифузори рекомендовано методику розрахунку дифузора оптимального обтікання потоком. Проаналізовані універсальні конструкції регульованих сопел. Запропоновано конструктивне рішення регулювання процесу витоків надлишкового середовища формою та розмірами дифузора. Розроблено оптимальний дифузор з універсальним регулятором-подовжувачем витоків на базі комбінованого дифузора-напівсопла.*

**Ключові слова:** метод регулювання; дифузор; дифузор оптимального обтікання потоком; реактивний двигун.

### **Вступ**

Термодинаміка сопел передбачає існування трьох конструктивно необхідних технічних об'єктів: об'єму енергетично активної надлишковості внутрішнього середовища; дифузору витоків енергетично активної надлишковості внутрішнього середовища у зовнішнє середовище; зовнішнє середовище, за енергетичним станом нижче ніж стан об'єму енергетично активної надлишковості внутрішнього середовища [1]. Дифузор водночас, як перехідна система, виступає як регулятор цього пневмогідролічного процесу. В основі динамічної системи є дифузор як частина каналу (труби), в якій відбуваються уповільнення (розширення) потоку. Водночас, перепад статичних тисків на дифузори може бути менше, ніж на ділянці прямої труби вихідного перерізу, тобто його коефіцієнт місцевого опору буває негативний, а проте при зростанні довжини при постійному куті розкриття і при збільшенні кута розкриття дифузора може статися відрив потоку від стінок (поблизу них утворюються вихори), водночас коефіцієнт опору дифузора дуже сильно зростає [2].

**Реактивний двигун** – двигун-рушій, що створює тягу (реактивну) внаслідок швидкого витікання робочого тіла із сопла, найчастіше робочим тілом є гарячі гази, що утворюються внаслідок спалювання палива у камерах згорання. Бувають турбореактивні, пульсуючі (безкомпресорні), прямоточні (ефективно працюють тільки при надзвукових швидкостях) та ракетні двигуни [3].

### Постановка задачі

Дослідження процесу витоку енергетично активної надлишковості базується на класичній гідродинаміці і враховує визначення умов оптимальної побудови форми дифузора [1,2]. Але ця теорія будується в основному на аналізі рівняння Бернуллі і не враховує інших складових динамічного рівняння зменшення надлишкової маси в замкненому об'ємі. В статті диференціювання виразу зміни надлишкової маси в часі виведені рівняння чоритьох можливих станів поведінки потоку матеріальної надлишковості із замкненого об'єму в зовнішнє середовище. Класична гідродинаміка дає можливість розробки різних типів реактивних двигунів великої потужності [3]. Конструкції таких двигунів розроблені на базі технічних розрахунків, наприклад [4,5]. Метою статті є дослідження умов витоку енергетично активної надлишковості внутрішнього середовища через дифузор у зовнішнє середовище, за енергетичним станом нижче ніж стан об'єму енергетично активної надлишковості внутрішнього середовища, з метою створення дифузора оптимального обтікання потоком та розробки реактивного двигуна з універсальним регулятором-подовжувачем тяги на базі комбінованого дифузора-напівсопла для створення нового типу двигуна.

### Вирішення поставленої задачі

Маса  $M$  надлишкового середовища знаходиться в замкненому об'ємі 2 під тиском  $P_0 + P$  зі щільністю  $\rho$  і займає об'єм  $V$ . В результаті витоку через дифузор зі змінною площею поперечного розрізу  $s$  створюється направлений рух середовища із об'єму 2 в зовнішнє середовище 1 зі швидкістю  $v$  (рис. 1).

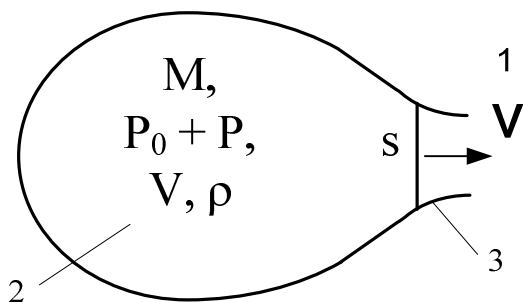


Рис. 1. Стан надлишковості середовища в процесі витоку через дифузор: 1 – зовнішнє середовище; 2 – замкнений об'єм надлишковості середовища; 3 – дифузор

Водночас, враховуючи зазначені умови процесу, для надлишкового середовища рівняння нерозривності має вигляд:

$$M_2 = \rho s v t \quad , \quad (1)$$

де  $t$  – час витоку середовища через дифузор 3;  $M_2$  – маса середовища в об'ємі 2 [1].

В загальному випадку  $M_2$ ,  $\rho$ ,  $s$ ,  $v$  є функціями від часу  $t$ . Тобто,

$$M_2 = M_2(t); \rho = \rho(t); s = s(t); v = v(t).$$

Зміна маси  $M_2$  надлишкового середовища в об'ємі 2 з часом є диференціал  $dM_2$  по  $dt$  залежності (1). Тобто,

$$\frac{dM_2}{dt} = \frac{d\rho}{dt} s v t + \frac{ds}{dt} \rho v t + \frac{dv}{dt} \rho s t + \frac{dt}{dt} \rho s v. \quad (2)$$

Три перші члени в (2) в правій частині є складові процесу витoku, які можна регулювати на протязі певного часу  $t$ . Остання складова правої частини (2) і є, власне, рівняння нерозривності потоку [4]. Проведемо аналіз умов можливого регулювання процесу витoku надлишкового середовища через дифузор 3.

$$\frac{dM_2^p}{dt} = \frac{dp}{dt} svt \quad (3)$$

є характеристика процесу витoku через дифузор з постійними  $s$ ,  $v$  і  $t$  (див. рис. 2), де  $t = \frac{l}{v}$  ( $l$  – довжина робочої частини дифузора «трубка-капіляр»).

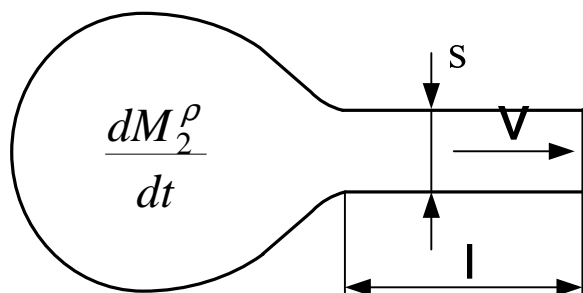


Рис. 2. Умови витoku для залежності (3)

$$\frac{dM_2^s}{dt} = \frac{ds}{dt} \rho vt \quad (4)$$

є характеристика процесу витoku через дифузор з постійними  $\rho$ ,  $v$  і  $t$  (див. рис. 3).

$$\frac{dM_2^v}{dt} = \frac{dv}{dt} \rho st \quad (5)$$

є характеристика процесу витoku через дифузор з постійними  $\rho$ ,  $s$  і  $t$  (див. рис. 4).

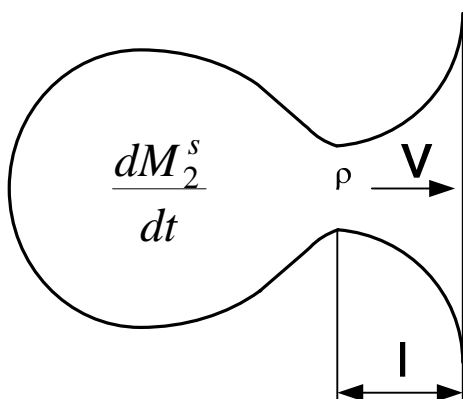


Рис. 3. Умови витoku надлишкового середовища через дифузор для залежності (4)

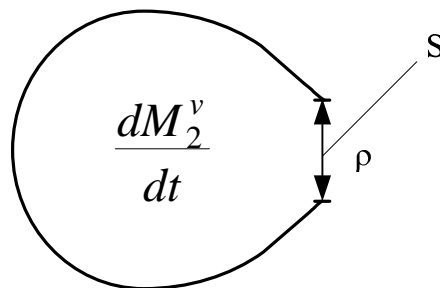


Рис. 4. Умови витoku надлишкового середовища через дифузор для залежності (5)

Залежність

$$\frac{dM_2^t}{dt} = \frac{dt}{dt} \rho sv \quad (6)$$

є умовою нерозривності потоку у звичайному нескінченному трубопроводі, коли зміна маси є постійною на протязі всього процесу витoku (див. рис. 5).

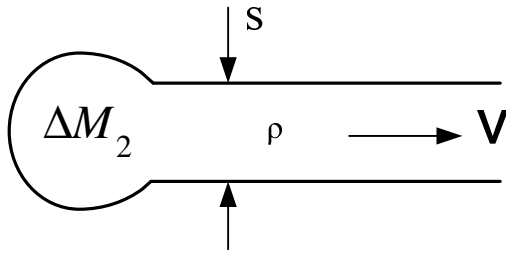


Рис. 5. Умови витоку надлишкового середовища через дифузор для залежності (6)

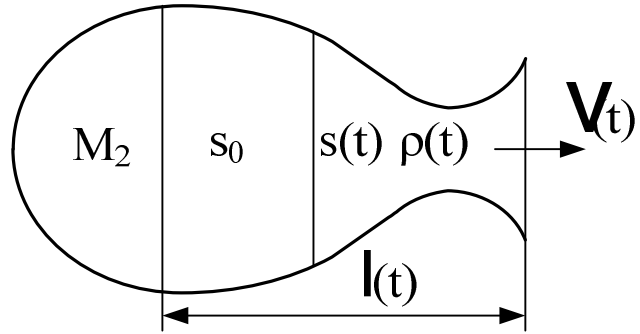


Рис. 6. Умови оптимального витоку через дифузор оптимального обтікання потоком середовища

Умовою оптимізації процесу витоку надлишкового середовища із об'єму 2 є об'єднання 4-х варіантів витоку з метою побудови дифузору оптимального обтікання потоком надлишкового середовища. У загальному випадку дифузор оптимального обтікання потоком має вигляд (див. рис. 6).

Якщо створити умови

$$M_2(t) = M_0 + \Delta M = M_0 + \frac{dM_2}{dt}, \quad (7)$$

тобто, постійно в об'єм 2 вводити додаткову постійну масу середовища  $\Delta M$  або прогнозовану  $\frac{dM_2}{dt}$ , то процес витоку можна, в першому випадку, за стабілізувати, в другому випадку – контролювати.

На основі приведеного можна побудувати наступний ланцюг пристроїв оптимізації процесу витоку надлишкового середовища через відповідний дифузор [4, 5] (рис. 7 - 11).

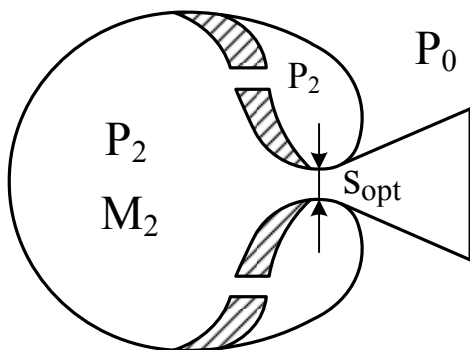


Рис. 7. Регулювання оптимального поперечного розрізу дифузора (пневморегулятор)

Тут  $s_{opt} = f(\Delta P)$ , де  $\Delta P = P_2 - P_0$ .

Регулюється стійка тяга на більшому проміжку часу з ефектом загладження сили початкового вибуху паливної суміші в камері 1. Для створення регульованого (розрахункового) потоку газів через сопло-дифузор при разовому вибуху паливної суміші.

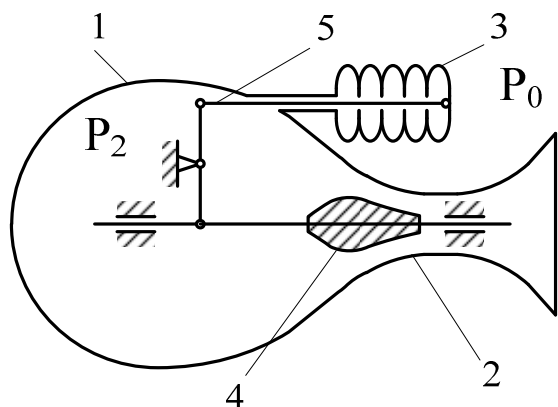


Рис. 8. Аналог механічного регулювання форми диффузора, де: 1 – камера; 2 – дифузор; 3 – сильфон; 4 – рухомий шток; 5 – передаточний механізм

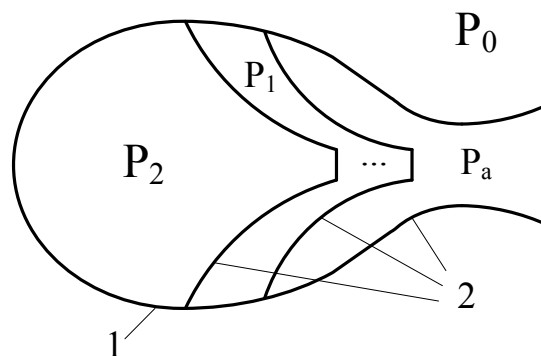


Рис. 9. Багатоступеневий дифузор: 1 – камера; 2 – система дифузорів

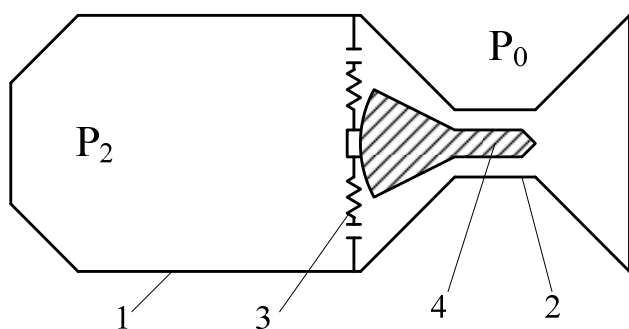


Рис. 10. Регулятор тяги, де: 1 – камера; 2 – дифузор; 3 – мембрана (сильфон); 4 – регулюючий профільний шток

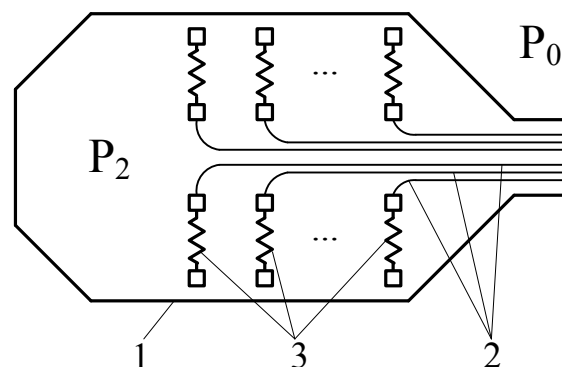


Рис. 11. Реактивний двигун з універсальним регулятором-подовжувачем тяги, де: 1 – камера; 2 – система напівсопел; 3 – мембрани

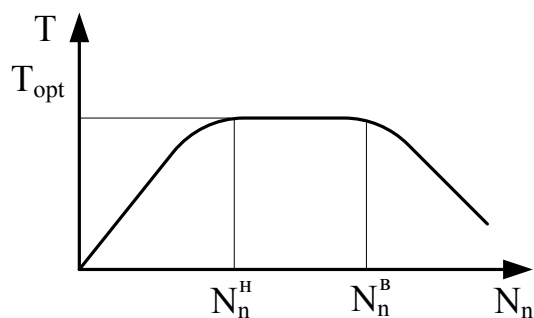


Рис. 12. Графік залежності тяги  $T$  від кількості поданого в камеру 1 палива  $N_n$

При постійній подачі палива в камеру 1 і стабільного горіння тяга регулюється подачею палива на рівні оптимуму (див. рис. 12) [3], де позначено:  $T_{opt}$  – оптимальна тяга;  $[N_n^H \div N_n^B]$  – оптимальні витрати палива;  $N_n^H$  – найменша оптимальна кількість палива;  $N_n^B$  – найбільша оптимальна кількість палива.

## **Висновки**

На основі аналізу стану процесу витоку надлишкового середовища із обмеженого об'єму через дифузор рекомендовано методику розрахунку дифузора оптимального обтікання потоком.

Запропоновано конструктивне рішення регулювання процесу витоку надлишкового середовища формою та розмірами дифузору. Розроблено реактивний двигун з універсальним регулятором-подовжувачем тяги на базі комбінованого дифузора-напівсопла.

## **Література**

1. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. Издание 5-е / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М., 2006. – Т. VI: Гидродинамика. – 736 с.
2. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям; под ред. М. О. Штейнберга. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 284 с.
3. Абіанц Л. П. Реактивні двигуни та великі швидкості. – М., 1978. – 178 с.
4. Иванова Т. М. Теплотехнические измерения и приборы / Т. М. Иванова, И. Д. Кузнецов, В. С. Чистяков. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 250 с.
5. Чистяков С. Ф. Теплотехнические измерения и приборы / С. Ф. Чистяков, Д. В. Радун. – М.: Энергия, 1972. – 327 с.

*Надійшла до редакції  
11 вересня 2014 року*

© Порєв В. А., Троц А. А., 2014

УДК 681.121

## **ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ НЕОДНОРІДНОСТІ ПОТОКУ РІДИНИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕРЕЖАХ**

*Коробко І. В.*

*Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”,  
м. Київ, Україна  
[i.korobko@kpi.ua](mailto:i.korobko@kpi.ua)*

*Запропонована методика оцінювання гідродинамічних характеристик потоку вимірюваного середовища за наявної його неоднорідності та розроблені нові принципи визначення ступеня асиметричності набігаючого потоку по розсіянню енергії, яка дозволяє визначити кількісно і якісно розвиток асиметрії течій рідини при проходженні крізь локальні гідравлічні опори різної просторової конфігурації, що входять до складу вузлів вимірювання витрати та кількості рідиннофазних середовищ технологічних мереж. Це надає можливість окреслювати обмеження на місце монтажу лічильників та визначити їх доцільне розташування в технологічних мережах з урахуванням стратегічного впливу кінематичних і силових чинників їх локального позиціонування.*

**Ключові слова:** витрата, рідиннофазні потоки, асиметрія потоків.

## **Вступ. Постановка проблеми**

У зв'язку з модернізацією систем постачання паливно-енергетичних ресурсів зростають вимоги до точності вимірювань на вузлах їх комерційного обліку.