

УДК 532.52(045)

<sup>1</sup>О.С. Пузік, асп.**М.М. Глазков**, к.т.н., проф.**В.Г. Ланецький**, к.т.н., доц.**Г.Й. Зайончковський**, д.т.н., проф.<sup>2</sup>**Т.В. Тарасенко**, к.т.н., доц.

## ГІДРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ КАВІТАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ

Національний авіаційний університет

<sup>1</sup>E-mail: oleksii.puzik@gmail.com<sup>2</sup>E-mail: nauggs18@ukr.net

За експериментальними даними побудовано залежності, які дають змогу отримати відомості щодо пропускної спроможності отворів і насадків для застосування в арматуробудуванні. Запропонований кавітаційний підхід дозволяє визначити коефіцієнт стискання за побудованими витратними характеристиками.

**Ключові слова:** дросель, кавітаційне витікання, коефіцієнти витрати, насадок.

### Постановка проблеми

Циркулювання робочих рідин у паливній і гідравлічній системах повітряних суден у багатьох випадках є витіканням палива, мастила чи масла через отвори та насадки.

З погляду діагностування властивостей дросельних пристроїв приділяють увагу швидкості витікання й витраті рідини.

Функціональні кавітаційні пристрої використовують для змішування різнорідних рідин, визначення вмісту води в паливі, очищення поверхонь тощо.

Таким чином, для діагностування робочих рідин паливних і гідравлічних систем повітряних суден функціональний ефект кавітації може бути реалізовано на основі використання існуючих дросельних пристроїв різного типу.

### Аналіз публікацій

Гідродинамічні характеристики в наукових працях [1; 2] зазвичай будувалися переважно для помірних типів витікання. Різні типи насадків повністю не досліджувалися, розроблялися циліндричний та конфузорний типи з видозмінами.

У працях [3; 4] більше значення приділялося вивченню кавітації. Критичні параметри завжди прив'язані до критерію Рейнольдса та критерію кавітації, наприклад, критерію Ейлера.

Для коректного функціонального застосування, тобто для виявлення функції, яку найуспішніше реалізовуватиме дросельний пристрій, необхідно визначити його критичні параметри щодо критерію Рейнольдса.

**Мета роботи** – розрахувати й обґрунтувати на підході, що враховує особливості кавітаційних режимів, гідродинамічні характеристики дросельних пристроїв.

### Аналіз експериментальних залежностей

Для вибору насадків з урахуванням того, що підхід до вирішення завдань враховує особливості кавітаційних режимів, побудовані витратно-перепадні характеристики, які свідчать про ефективність дроселів як кавітаційних пристроїв.

Узагальнені витратно-перепадні характеристики типових дроселів будують у координатах, тобто як базові кавітаційні пристрої в техніці використовують звичайні дроселі, враховуючи критерій Ейлера (рис. 1).

У праці [1] виділено коноїдальний насадок (сопло), який окреслюється приблизно за формою стиснутого струменя.

Завдяки цьому забезпечується безвідрильність протікання в насадку та паралельність струменів у вихідному перерізі.

Нерідко застосовується сопло, оскільки має:

- коефіцієнт витрати близький до одиниці;
- малі втрати;
- коефіцієнт стискання  $\varepsilon = 1$ ;
- стійкий режим витікання без кавітації.

Дифузорний насадок – це комбінація сопла і дифузора, додавання якого зумовлює зниження тиску у вузькому місці насадка, а отже, збільшення швидкості й витрати крізь насадок.

За однакових умов (діаметрі горловини, напорі) дифузорний насадок забезпечує витрату у 2,5 рази більшу за сопло.

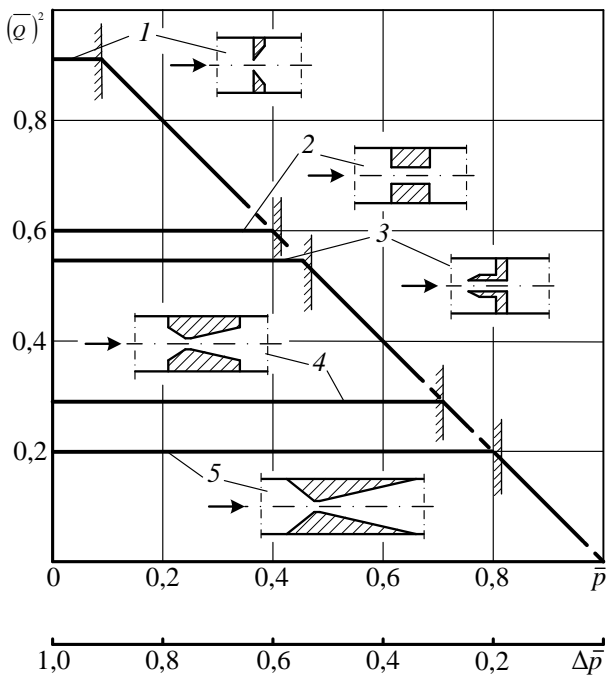


Рис. 1. Витратно-перепадні характеристики дросельних пристроїв різної геометрії для  $Re \geq 10^4$ :  
 1 – діафрагма;  
 2 – циліндричний насадок Вентурі;  
 3 – насадок Борда;  
 4 – конфузорно-дифузорний скорочений насадок;  
 5 – конфузорно-дифузорний насадок типу трубки Вентурі

Сопло і дифузорний насадок застосовують при заданих діаметрі горловини і напорі та необхідності отримати більшу витрату. Але застосування дифузорного насадка можливе при відносно

невеликому напорі, інакше виникає кавітація, що збільшує опір і зменшує пропускну спроможність.

Аналіз рис. 1 показує, що в разі зменшення протитиску  $\bar{p}$  збільшується перепад тиску  $\Delta \bar{p}$ . Кавітація настає раніше в насадку конфузорно-дифузорного типу 5, потім у насадку Борда 4, далі – в інших 3, 2, 1.

Таким чином, насадки конфузорно-дифузорного типу дають змогу перетворювати більшу частину енергії потоку в кавітаційні коливання.

Найнижчу кавітаційну спроможність має діафрагма 1, оскільки кавітація в ній настає при найбільших значеннях перепаду тиску.

Для підвищення ефективності роботи конфузорно-дифузорних насадків останні виконують короткими з характерним «ступеневим» переходом від дифузору до трубопроводу, під час обтікання якого рідиною утворюються вихрові структури.

Криві на рис. 2 показують, що в зоні досліджуваних високих чисел Рейнольдса коефіцієнти витрати поступово зростають зі збільшенням напору до появи кавітації і стабілізуються зі збільшенням  $Re$ .

Збільшення діаметра циліндричного насадка на 95, 140, 220 % майже не впливало на значення витратних коефіцієнтів.

Коефіцієнт  $\epsilon$  зі збільшенням числа  $Re$  зменшується. Це відбувається внаслідок зменшення гальмування швидкості на краю отвору.

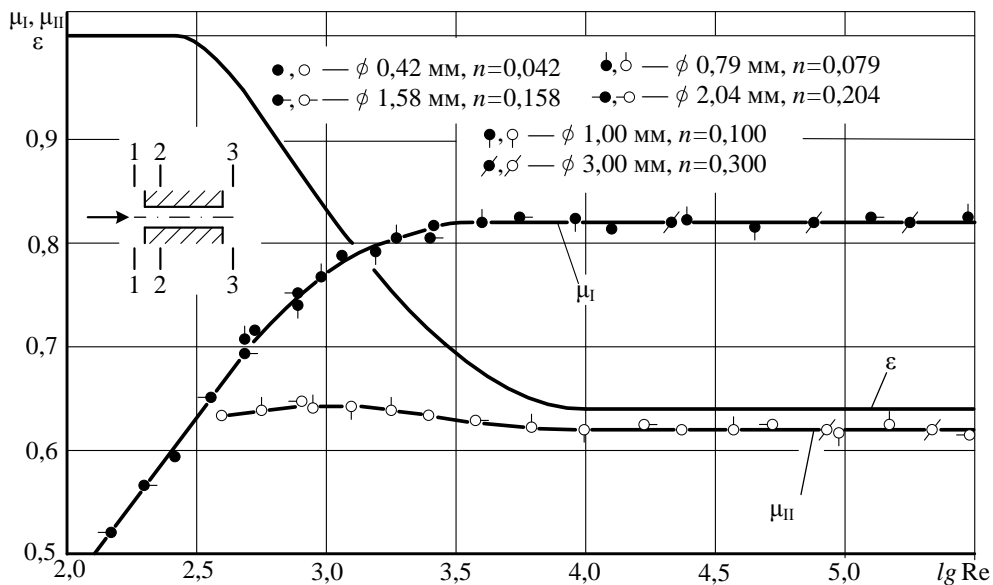


Рис. 2. Залежність коефіцієнтів  $\mu$ ,  $\mu_{II}$ ,  $\epsilon$  циліндричного насадка Вентурі різного діаметра від  $Re$

Для дросельних пристроїв із відомими безрозмірними коефіцієнтами  $\varepsilon$ ,  $\zeta$ ,  $\lambda$  отримано аналітичні залежності розрахунку критичних параметрів витікання:

– для діафрагми, встановленої в трубі постійного перерізу:

$$\bar{p} = \frac{2n\varepsilon(1-n\varepsilon) - n^2\varepsilon^2\lambda \frac{1}{d}}{1 + \zeta_{\text{т.ст}} - n^2\varepsilon^2}$$

або

$$\bar{p} = \frac{2n\varepsilon(1-n\varepsilon)}{1 + \zeta_{\text{т.ст}}},$$

якщо  $d_{\text{др}} \ll d_{\text{тр}}$ ,

де  $d_{\text{тр}}$  – діаметр трубопроводу;

– для циліндричного насадка:

$$\bar{p} = \frac{2\varepsilon(1-n\varepsilon)}{1 + \zeta_{\text{т.ст}}};$$

– для конфузorno-дифузornoного насадка

$$\bar{p} = \frac{1 - \zeta_{\text{диф}}}{1 + \zeta_{\text{т.ст}}}.$$

Криві  $\mu_1$  на рис. 3, 4 відповідають режиму витікання без кавітації і розраховані за перепадом тиску на зрізі насадків. Криві  $\mu_{II}$  відповідають режиму витікання з кавітацією і розраховані за перепадом тиску, що дорівнює абсолютному тиску на вході в насадок.

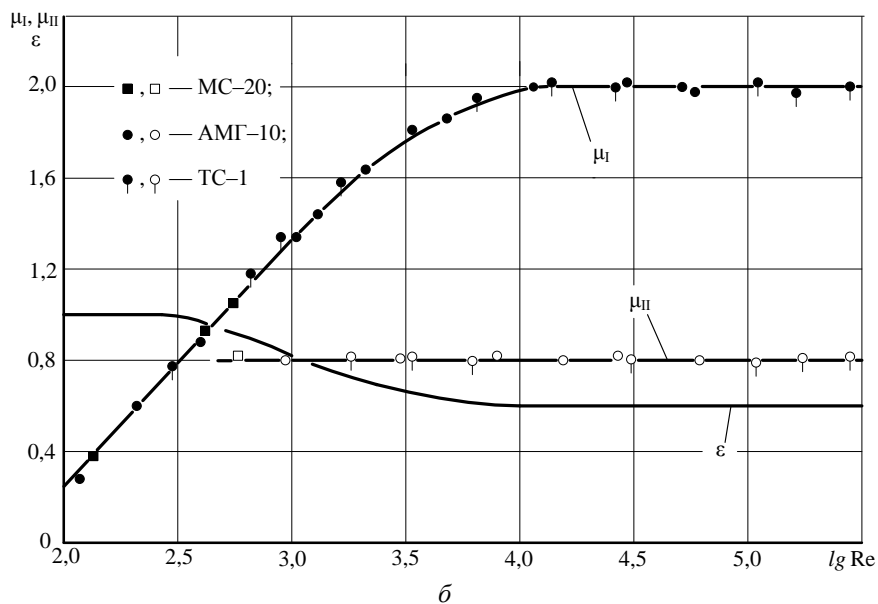
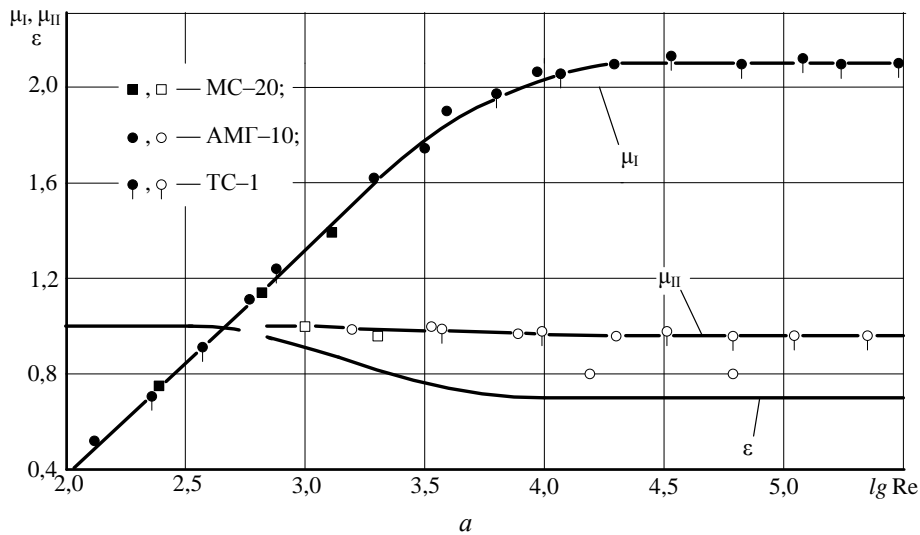


Рис. 3. Залежність коефіцієнтів  $\mu_1$ ,  $\mu_{II}$ ,  $\varepsilon$  конфузorno-дифузornoного насадка від  $\text{Re}$ :

$a$ :  $\alpha_{\text{кон}}=25^\circ$ ,  $\alpha_{\text{диф}}=9^\circ$ ,  $d=1,58$  мм;  $n=d/D=1,58/10=0,158$ ;

$b$ :  $\alpha_{\text{кон}}=45^\circ$ ,  $\alpha_{\text{диф}}=9^\circ$ ,  $d=1,56$  мм;  $n=d/D=1,56/10=0,156$

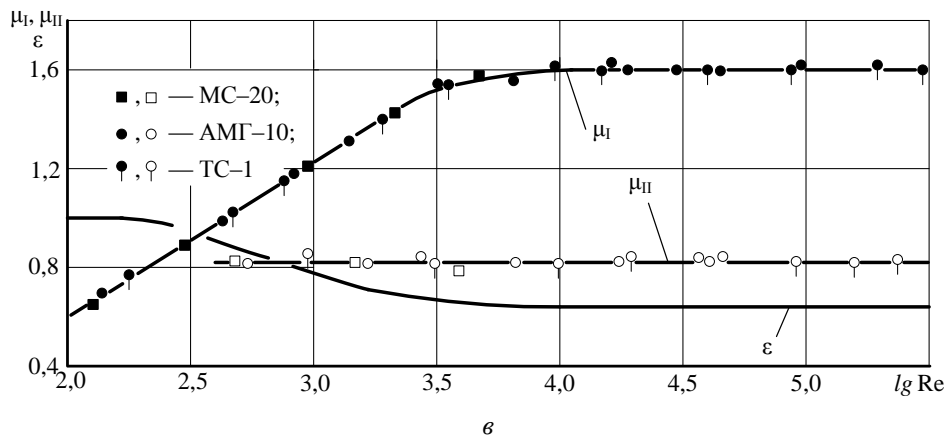
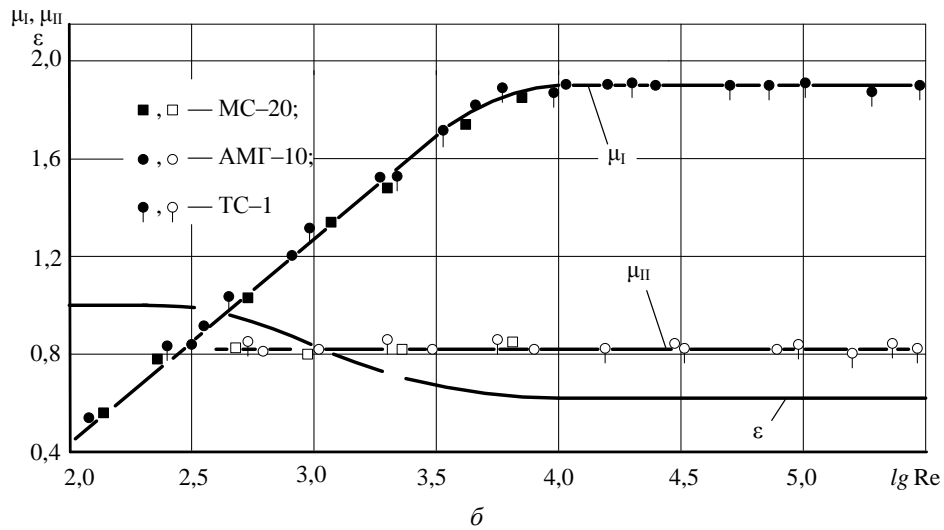
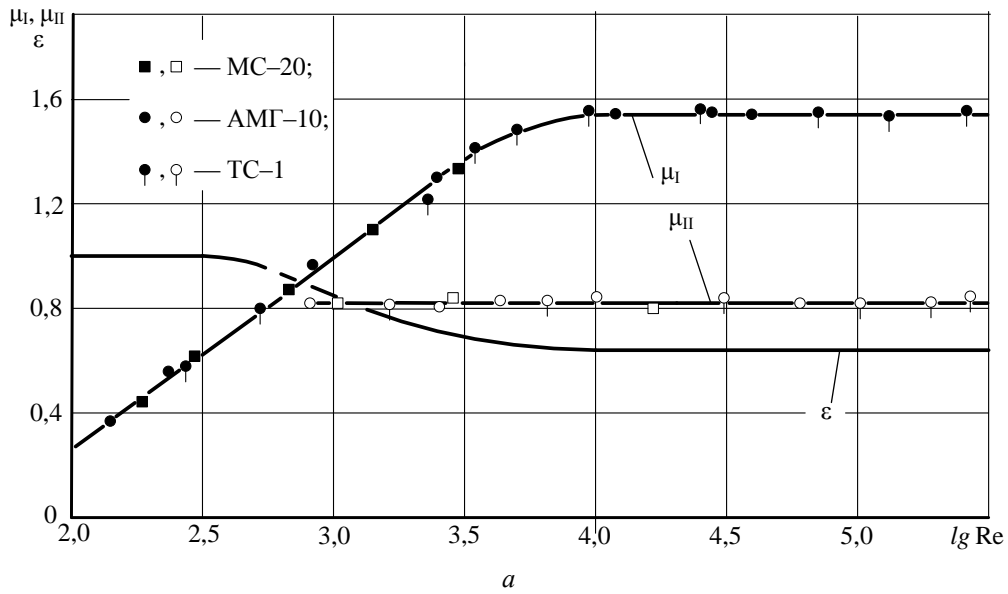


Рис. 4. Залежність коефіцієнтів  $\mu_I$ ,  $\mu_{II}$ ,  $\varepsilon$  конфузорно-дифузорного насадка від  $Re$  при  $\alpha_{\text{кон}}=60^\circ$ :

*a*:  $\alpha_{\text{диф}}=3^\circ$ ,  $d=1,58$  мм;  $n=d/D=1,58/10=0,158$ ;

*б*:  $\alpha_{\text{диф}}=11^\circ$ ,  $d=1,56$  мм;  $n=d/D=1,56/10=0,156$ ;

*в*:  $\alpha_{\text{диф}}=13^\circ$ ,  $d=1,56$  мм;  $n=d/D=1,56/10=0,156$

У розглядуваному випадку для відомої геометрії дросельних пристроїв і відомих тисків на вході та виході визначають теоретичну швидкість витікання рідини й відповідне число Рейнольдса.

Унаслідок сумісного розв'язання рівнянь Бернуллі та витрати отримані аналітичні залежності для критичних параметрів витікання рідини

$$\bar{p}_{кр} = \left( \frac{P_{вих}}{P_{вх}} \right)_{кр} = 1 - \left( 1 - \frac{P_{кав}}{P_{вх}} \right) \left( \frac{\mu_{II}}{\mu_I} \right)^2; \quad (1)$$

$$\overline{\Delta p}_{кр} = \left( \frac{\Delta p}{P_{вх}} \right)_{кр} = \left( 1 - \frac{P_{кав}}{P_{вх}} \right) \left( \frac{\mu_{II}}{\mu_I} \right)^2, \quad (2)$$

де  $\bar{p}_{кр}$ ,  $\overline{\Delta p}_{кр}$  – критичний протитиск і критичний перепад тиску відповідно;

$P_{кав}$  – тиск у стиснутому перерізі потоку, за якого виникає кавітація;

$P_{вх}$ ,  $P_{вих}$  – тиск на вході й виході з дросельного пристрою відповідно.

Із залежностей (1), (2) розраховують коефіцієнти витрати  $\mu_I$  та  $\mu_{II}$  [5]. Коефіцієнт стисання  $\epsilon$  визначають за формулою [6]

$$\bar{p} = \frac{2}{2 + \left( \frac{1}{\mu_I} \right)^2 - \left( \frac{1}{\mu_{II}} \right)^2}.$$

Коефіцієнт стисання  $\epsilon$  асимптотично наближається до значення 0,61 (рис. 3, 4), що відповідає витіканню ідеальної рідини. На плавність кривої та інтенсивність прямування  $\epsilon$  до значення 0,61 незначно впливає кут конфузора – чим більший кут, тим інтенсивніше процес.

Отже, схильність до кавітації збільшується зі збільшенням кута конфузора. Якщо кут 60°, умови значно кращі, ніж за 25° і 45°. Кут дифузора і незначні зміни діаметра горловини впливають на процес вихреутворення менше.

## Висновки

1. Експериментально отримані значення гідродинамічних коефіцієнтів витікання дають можливість розраховувати витратну спроможність

дроселів, що використовуються як функціональні кавітаційні пристрої. Зона стабільних значень коефіцієнтів витікання (режим автотурбулентності) відповідає числам Рейнольдса в діапазоні  $Re \geq 10^4$ .

2. Характерною особливістю кавітаційного витікання рідини є те, що витрата рідини крізь дросельні пристрої стабілізується з початком критичного перепаду тиску в разі постійного тиску живлення.

3. Запропоновано залежності для визначення критичних параметрів витікання  $\bar{p}_{кр}$ ,  $\overline{\Delta p}_{кр}$  і коефіцієнта стисання  $\epsilon$  за значеннями коефіцієнтів витрати  $\mu_I$ ,  $\mu_{II}$ .

4. Запропоновано розрахункові залежності для визначення критичних параметрів витікання для  $\bar{p}_{кр}$ ,  $\overline{\Delta p}_{кр}$  за значеннями коефіцієнта стисання струменя  $\epsilon$  і коефіцієнта  $\zeta$  дроселя.

## Література

1. Некрасов Б.Б. Гидравлика и ее применение на летательных аппаратах / Б.Б. Некрасов. – М.: Машиностроение, 1967. – 368 с.
2. Федоткин И.М. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности / И.М. Федоткин, И.С. Гулый. – К.: Полиграфкнига, 1997. – 840 с.
3. Глазков М.М. Кавитация в жидкостных системах воздушных судов: учебное пособие / М.М. Глазков, В.Г. Ланецкий. – К.: КИИГА, 1987. – 64 с.
4. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления / А.Д. Альтшуль. – М.: Недра, 1982. – 224 с.
5. Гідрогазотермодинаміка: навч. посіб. / В.М. Бадах, М.М. Глазков, Ю.С. Головка та ін.; за ред. Г.Й. Зайончковського. – К.: НАУ-друк, 2009. – 352 с.
6. Патент України на корисну модель № 43544 Кавітаційний спосіб визначення коефіцієнтів стисання і швидкості струменя рідини при витіканні крізь отвори і насадки / М.М. Глазков, В.Г. Ланецкий. – Від 25.08.09. Бюл. № 16.

Стаття надійшла до редакції 31.01.2012.