

ВСЕРЕЖИМНА МОДЕЛЬ ГІДРАВЛІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ЕЖЕКТОРАХ

Abstract. An all-mode mathematical model of hydraulic processes in an ejector is presented. The method of its representation through the constituent, which belong to separate streams of liquid is offered. The parameters of the model were determined and their influence on the pressure differentials were evaluated. An example of the selection of parameters that are determined from the data for one series of experiments at constant flow through the nozzle is given. Comparative data for another series of experiments are presented to confirm the effectiveness of the proposed model.

Актуальність

Широке використання ежекторів в системах перекачки палива для паливних систем літаків зумовлене можливостями перекачуваннями великих обсягів палива при невеликих перепадах тиску. При цьому напірні характеристики ежекторів (струйних насосів), як правило, представлені експериментальними даними, кількість яких обмежена та не охоплює широкий клас режимів, характерних для умов їх функціонування. Тому побудова все режимної моделі гідравлічних процесів в ежекторах залишається актуальною. Загальні положення стосовно моделей гідравлічних процесів в ежекторах представлені в роботі [1]. Проте запропоновані в [1] моделі є суттєво спрощеними та потребують уточнення.

Ежектори – це апарати, в яких має місце злиття двох потоків. Серед їх основних елементів виділяють сопло, лінію ежекції, камеру змішування та дифузор. При ручних розрахунках їх гідравлічних параметрів для довільних режимів використовуються значення перепадів тисків на парах елементів: сопло + камера змішування + дифузор та лінія ежекції + камера змішування + дифузор. При розрахунках же розподільчих гідравлічних систем постає необхідним виділення внутрішньої точки вузла [2 – 4] та визначення перепадів тисків окремо на елементах ежектора: сопло, лінія ежекції та камера змішування + дифузор.

Постановка задачі

На даний час наявні матеріали експериментальних досліджень для більшості з таких складових ежектора та залежності, що описують зміну перепаду тиску в них.

Моделі таких окремих елементів характеризуються високою точністю і саме на їх основі пропонується побудувати все режимну модель гідравлічних процесів в ежекторах. При цьому модель потребуватиме уточнення, оскільки

потребує уточнення модель гідравлічних процесів, що описують процес злиття потоків. Таке уточнення загальної моделі для конкретного ежектора можна отримати на основі виділення параметрів та ідентифікація моделі за даними експериментів щодо його напірної характеристики. Для цього в моделі ежектора слід визначити параметри, що суттєво впливають на його напірну характеристику та втрати тиску на елементах, а також способи отримання їх значень, що розглядається далі.

Вирішення задачі

Математична модель гідравлічних процесів у ежекторі та її параметри. Загальна схема ежектора представлена на рис.1, де використані такі позначення:

- $P_2 = P_c$ – значення повного тиску на вході в сопло;
- $P_1 = P_{КЗ}$ – значення повного тиску на виході з дифузора;
- $P_0 = P_{ежс}$ – значення повного тиску на вході в лінію ежекції;
- Q_0, Q_1, Q_2 – об’ємні витрати для лінії ежекції, камери змішування та сопла відповідно;
- $P_{вн}$ – тиск у внутрішній точці камери змішування.

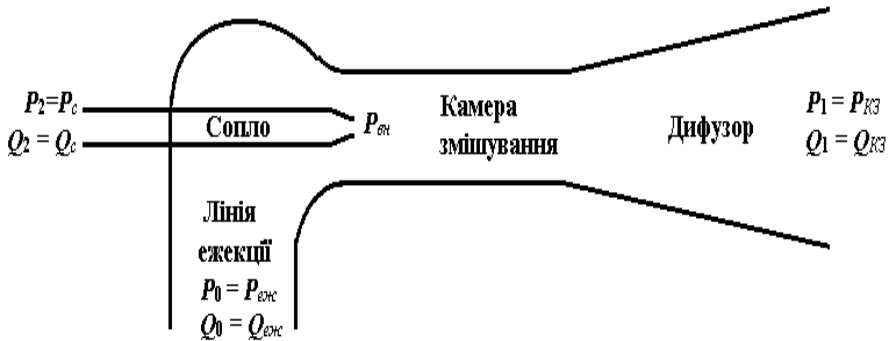


Рис. 1. Розрахункова схема ежектора.

Модель гідравлічних процесів в ежекторах може бути описана на основі рівняння Бернуллі для реального потоку нестисливої рідини з використанням коефіцієнтів гідравлічного опору ζ [5]. Значення коефіцієнтів гідравлічного опору для багатьох варіантів типових елементів гідравлічних систем можна знайти в роботі [6], де способи обробки таких даних стосовно вузлових елементів представлені в [2, 3].

При переході від об’ємних витрат Q_i ($i=0, 1, 2$) до масових G_i ($i=0, 1, 2$) отримаємо систему трьох рівнянь з трьома невідомими:

$$\begin{cases} P_2 - P_1 = \zeta_c \rho_c v_c^2 / 2 + (\zeta_p + \zeta_{кз}) \rho_{кз} v_{кз}^2 / 2 \\ P_0 + \Delta P_{ежс} - P_1 = \zeta_{ежс} \rho_{ежс} v_{ежс}^2 / 2 + (\zeta_p + \zeta_{кз}) \rho_{кз} v_{кз}^2 / 2, \\ G_2 + G_0 - G_1 = 0 \end{cases}$$

де $\Delta P_{ежс}$ – напір ежектора;

ζ_p – коефіцієнт гідравлічного опору розширення потоку приведений до швидкості в камері змішування, що визначається на основі частини площі перерізу камери змішування, яку займає потік через сопло.

Дана система рівнянь при переході до масових витрат запишеться у вигляді

$$\begin{cases} P_2 - P_1 = \zeta_c m_c G_c^2 + (\zeta_p + \zeta_{кз}) m_{кз} G_{кз}^2 \\ P_0 + \Delta P_{ежс} - P_1 = \zeta_{ежс} m_{ежс} G_{ежс}^2 + (\zeta_p + \zeta_{кз}) m_{кз} G_{кз}^2, \\ G_2 + G_0 - G_1 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

де $m = \rho v^2 / 2 / G^2$ для відповідного потоку рідини.

Якщо ж значення температури та густини потоків співпадають, то коефіцієнт m буде єдиним для всіх потоків.

Виділення елементів ежектора та визначення перепаду тиску на них. Перепад тиску на довільному з елементів може бути записаний у вигляді

$$\Delta P = A + \zeta m G^2, \quad (2)$$

де A – деяке постійне значення перепаду тиску, найчастіше рівне нулю.

Тому для можливості визначення перепадів тиску на елементах ежектора достатньо вказати значення коефіцієнтів A та ζ .

Аналізуючи співвідношення (1) легко визначити лінію, до якої відносяться коефіцієнти ζ , що використовуються. Так ζ_c можна віднести тільки до лінії, що відповідає соплу, де в ζ_c враховані втрати енергії потоку через сопло, які передаються потоку з лінії ежекції. $\zeta_{ежс}$ можна віднести тільки до лінії ежекції, а $\zeta_p + \zeta_{кз}$ – до камери змішування.

Потік з лінії ежекції отримує частину енергії від швидкісного напору потоку через сопло, яке можна представити величиною напору $\Delta P_{ежс}$ в лінії ежекції. Тому в лінії ежекції залежність для перепаду тиску (2) включатиме значення перепаду тиску, що не дорівнює нулю. Це значення на практиці вважають прямо пропорційним величині швидкісного напору та обернено пропорційним коефіцієнту площі k_F (відношенню площі камери змішування до площі перерізу сопла без одиниці)

$$\Delta P_{еж} = k_{еж} \rho_{еж} v_{еж}^2 / 2 / k_F,$$

де $k_{еж}$ – величина, пов’язана з технологією створення ежектора і її слід визначати на основі експериментальних даних.

Коефіцієнт $k_{еж}$ – це один з параметрів моделі. До інших параметрів моделі віднесені значення коефіцієнтів гідравлічного опору: ζ_c , $\zeta_{еж}$, $\zeta_{кз}$, оскільки вони є величиною, що характеризує технологію виготовлення ежектора.

Визначення $k_{еж}$, ζ_c , $\zeta_{еж}$, $\zeta_{кз}$ на основі експериментальних даних. При експериментах дослідженнях для ежекторів при відомих витратах в лініях ежекції і сопла визначають значення перепадів тисків $P_2 - P_1$ та напір ежектора $P_1 - P_0$.

В експериментах, як правило, встановлюється постійним значення Q_c та змінюється величина $Q_{еж}$. Таких серій експериментів може бути декілька. Тому при визначенні значень параметрів $k_{еж}$, ζ_c , $\zeta_{еж}$ та $\zeta_{кз}$ можна використовувати всі експериментальні дані, або підібрати їх для однієї серії експериментів з постійною витратою Q_c , після чого перевірити правильність моделі для інших експериментальних даних.

Відмітимо що $\zeta_{кз}$ впливає на значення $P_2 - P_1$ та $P_1 - P_0$. На $P_2 - P_1$ незалежно від інших параметрів впливає ζ_c , а на $P_1 - P_0 - k_{еж}$ та $\zeta_{еж}$. Ці обставини враховувалися при визначенні значень $k_{еж}$, ζ_c , $\zeta_{еж}$ та $\zeta_{кз}$ при практичних розрахунках.

Результати підпору значень параметрів одного з ежекторів представлені на рис. 2, де $k_{еж} = 1.93$, $\zeta_c = 1.15$, $\zeta_{еж} = 0.15$ та $\zeta_{кз} = 0.15$. Їх величини підбиралися для значень, представлених на нижній кривій (одна з серій експериментів). Можна відмітити, що отримані значення напорів є достатньо близькими для значень, представлених на верхній кривій, які не використовувалися для визначення значень параметрів математичної моделі ежектора.

Знайдені значення параметрів моделі отримані шляхом перебору їх варіантів та порівняння отриманих розрахункових значень напорів при відповідних значеннях витрат палива за критерієм мінімуму середньоквадратичного відхилення від експериментальних даних.

Висновки

Запропоновані математична модель процесів в ежекторах та визначені параметри моделі, які підбиратися на основі експериментальних даних, дозволяють використовувати її при дослідженнях систем розподілу нестискуваної рідини для різних режимів функціонування. А можливість формування моделі на основі ідентифікації її параметрів з використанням однієї з серій експериментів важлива як з точки зору стійкості моделі до зміни вхідних даних, та дозволяє зменшити число експериментальних даних.

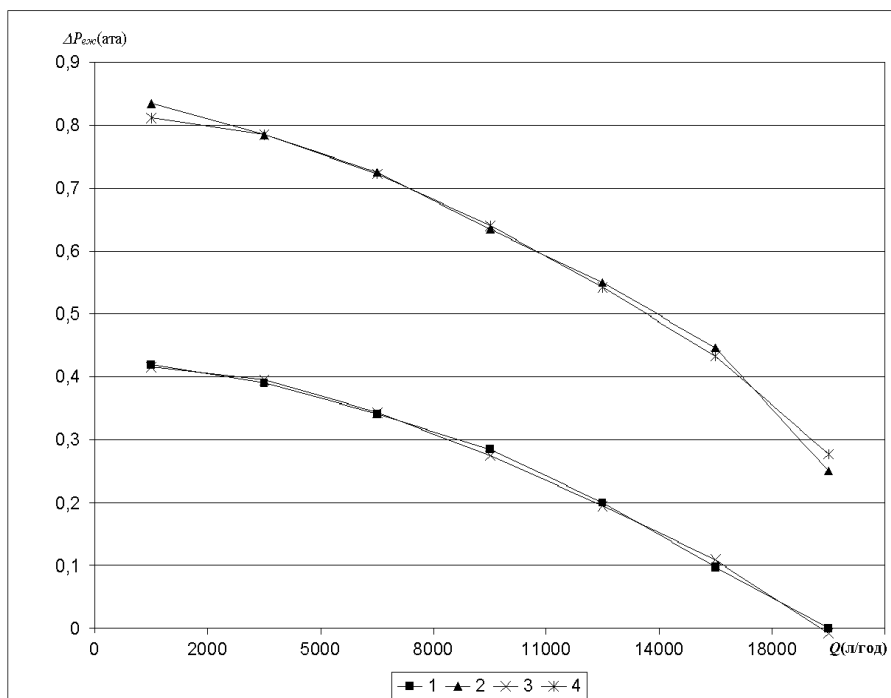


Рис.2. Экспериментальні (1 та 2) і розрахункові (3 та 4) дані про напір ежектора.

1. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с. ISBN 5-283-00079-6.
2. Кондращенко В.Я., Винничук С.Д., Федоров М.Ю. Моделирование газовых и жидкостных распределительных систем. – Киев: Наукова думка, 1990. – 184 с.
3. Винничук С.Д. Методы и алгоритмы решения задач анализа, проектирования и управления распределением потоков в гидравлических распределительных системах: Дисс. д-ра техн. наук: 01.05.02. – Ин-т проблем моделирования в энергетике им. Г.Е.Пухова НАН Украины, Киев, 2006, 305 с.
4. Винничук С.Д., Козюк О.І. Визначення параметрів моделі гідравлічних процесів в ежекторах. // Міжнародна наукова конференція «МОДЕЛЮВАННЯ 2018». – Збірник праць конференції. – К., 2018. – С.98-102.
5. Некрасов Б.Б. Гидравлика и ее применение на летательных аппаратах. – М.: Машиностроение, 1967. – 352 с.
6. Идельчик И.Е. Гидравлические сопротивления. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992, 559с.

<http://doi.org/10.5281/zenodo.3860728>

Поступила 9.09.2019р.