

Кулик М.С., докт. техн. наук  
Капітанчук К.І., канд. техн. наук  
Греков П.І., канд. техн. наук  
Оніщенко С.П.  
Бикова О.Г.

Національний авіаційний університет, м. Київ

## СТАБІЛІЗАЦІЯ ТИСКУ НА ВХОДІ В КОМПРЕСОРНУ ЕНЕРГЕТИЧНУ УСТАНОВКУ ЗА ДОПОМОГОЮ ГАЗОВОГО ЕЖЕКТОРА

*Рассмотрена возможность стабилизации давления на входе в компрессорную энергетическую установку с помощью сверхзвукового газового эжектора. Создана методика расчета геометрических размеров газового эжектора, который может быть использован в качестве стабилизатора давления.*

*Reviewed possibility of the stabilization of the pressure in the input of the compressor energy installation using a supersonic gas ejector. Worked out a methodic of calculation geometrical parameters of the gas ejector, which can be used as a stabilizer of pressure.*

### Вступ

Газові ежектори знаходять широке використання в різних галузях техніки, особливо, в авіаційній, газовій, хімічній та вакуумній промисловості. Можливість, в результаті взаємодії потоків газів, мати суміш з середнім тиском більшим за тиск середовища, куди суміш надходить, приваблює науковців і стимулює подальші наукові дослідження.

Найголовнішою перевагою газового ежектора як струминного компресора є відсутність деталей, що рухаються. Технічна та технологічна простота, можливість використання в агресивних та високотемпературних середовищах стають вирішальними при виборі газового ежектора в якості струминного підсилювача тиску на вході в компресори енергетичних машин.

### Аналіз досліджень і публікацій

Перші наукові публікації з вивчення процесу змішування двох потоків нестисливих середовищ з'явилися в двадцятих роках ХХ сторіччя [1]. Можливість практичного застосування ежекторів призвела до стрімкого розповсюдження зацікавленості в наукових пошуках.

В СРСР дослідженнями ежекторів різного призначення займалась група науковців під керівництвом професора К.Н. Баулініна [2]. Розрахунки ежекторів виконувались з використанням методик, створених на принципах взаємодії турбулентних струменів рідини на основі полуемпіричної теорії турбулентних струменів Г.Н. Абрамовича [3].

Найбільш достовірний метод розрахунку газових ежекторів з циліндричною камерою змішування при любых перепадах тиску був створений академіком С.А. Христіановичем [4]. Однак, метод розрахунку не враховував можливі зміни приведеної швидкості низьконапірного газу на вході в камеру змішування.

В 1947 році в роботі [5] Б.М. Кисельов допрацював методику на випадок змішування газів з різними температурами гальмування і запропонував за допомогою газодинамічних функцій розрахункові формули для газових ежекторів.

Відкриття в 1948 році науковцями ЦАДІ М.Д. Мілліонщикова та Г.М. Рябінковим критичних режимів роботи ежектора суттєво доповнило фундаментальні дослідження С.А. Христіановича. Так, виявлено області параметрів змішувальних потоків на вході в ежектор, які не можуть реалізовуватись в заданій камері змішування, тому основних рівнянь ежекції недостатньо.

В роботі [6] було показано, що немає потреби проводити повний розрахунок змішування турбулентних струменів для розрахунку ежектора. Достатньо врахувати газодинамічну взаємодію струменів, що надходять до камери змішування.

В якості умов критичного режиму була прийнята рівність статичних тисків змішувальних потоків в перерізі „запірання” і рівність одиниці числа Маху низьконапірного струменя в цьому перерізі.

Зразу після цього була запропонована теорія граничних режимів Таганова - Межирова [7], яка враховувала рівняння кількості руху.

Найбільш вдалою виявилась теорія надзвукового ежектора з циліндричною камерою змішування Ю.М. Васильєва [8], в якій виконувалось рівняння кількості руху з рівномірними полями швидкостей в перерізі „запирання” в кожному струмені, а в розподілі статичного тиску існував розрив.

В ході експериментальних досліджень осьосиметричного ежектора з центральним соплом високонапірного газу були запропоновані відповідні уточнення.

Теорія граничних режимів газового ежектора з урахуванням впливу в'язкості була розроблена Чау та Едді [9]. Вона стала завершенням теорії оптимального газового ежектора класичної схеми.

#### Постановка задачі дослідження

Оптимальним ежектором називають ежектор, який забезпечує відсмоктування заданої кількості низьконапірного газу при мінімальній витраті високонапірного.

Визначення оптимального ежектора – це пошук геометричних параметрів на найвигіднішому режимі його роботи та режимі мінімального тиску на вході. При заданих умовах оптимальний ежектор має максимально можливий ККД. Тому мета всіх пошуків науковців була спрямована на визначення умов оптимальності газового ежектора. Доказано, що при наявності в камері змішування прямого стрибка густини, оптимальним є ежектор, що працює на критичних режимах при будь-яких тисках на вході.

На жаль, наукові праці проводились в напрямку удосконалення газових ежекторів, що працюють з від'ємними градієнтами тиску. Вплив додатного градієнту тиску від роботи енергетичної машини на потік суміші газів в камері змішування ежектора майже не вивчений. Тому створення методики розрахунку оптимального ежектора в якості струминного компресора для енергетичної машини є актуальним і необхідним.

#### Мета дослідження

Метою дослідження є пошук геометричних розмірів оптимального газового ежектора в умовах значного зменшення тиску на вході в компресорну енергетичну машину.

#### Аналіз режимів роботи надзвукового газового ежектора та рівнянь ежекції

Для аналізу режимів роботи надзвукового газового ежектора розглянемо принципову схему та характерні розрахункові перерізи, що показані на рис.1.

Схемою передбачено надходження газу низького тиску з газової мережі до газового ежектора через дозвукове сопло -а.

Високонапірний газ з акумулятора подається з великою швидкістю через регулятор тиску в надзвукове сопло -б і в камері змішування -в взаємодіє з низьконапірним. суміш газів через дифузор -д.

Характерними перерізами є: 0-0 - вхід в надзвукове сопло; 1-1 - вхід в камеру змішування; 3-3 - вихід з камери змішування; 4-4 - вихід з дифузора; К-К - критичний переріз надзвукового сопла.

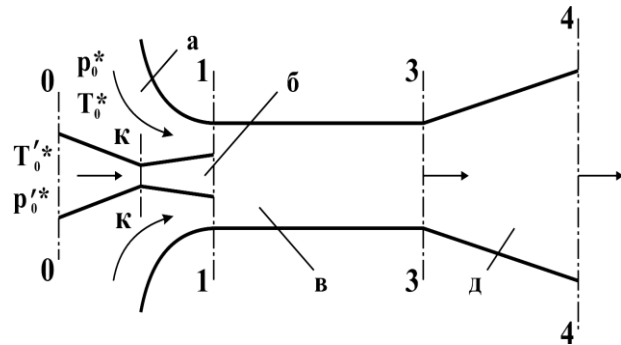


Рис.1. Принципова схема надзвукового ежектора: а - сопло низьконапірного газу; б - сопло високонапірного газу; в - камера змішування; д - дифузор

Переріз 2-2 є умовним і розглядається у вигляді моменту реалізації рівності статичних тисків струменів в камері змішування, що надходять з обох сопл.

На рис.2 зображена схема течії при рівності статичних тисків змішувальних потоків у вихідних перерізах сопл та стрибком ущільнення в камері змішування. Вона є розрахунковою для надзвукового сопла.

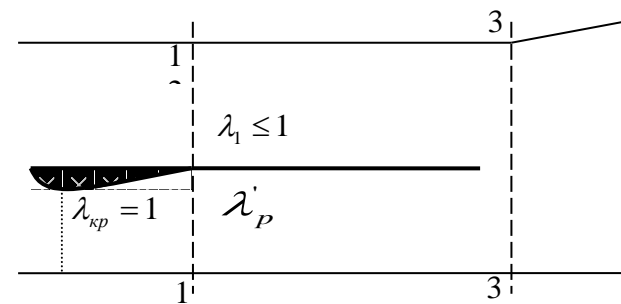


Рис.2. Схема течії при рівності статичних тисків змішувальних потоків у вихідних перерізах сопл

При значних падіннях тиску на вході в компресорну установку реалізуються схеми течії, що зображені на рис.3. При таких схемах надзвукове сопло працює на режимах недорозширення, статичний тиск вздовж сопла зменшується, а швидкість збільшується з переходом в надзвукову течію. В камері змішування надзвуковий струмінь розширюється, підтискуючи дозвуковий, швидкості їх збільшуються.

При подальшому зменшенні тиску на вході переріз 2-2 все більше віддаляється від вихідних перерізів сопел. При мінімальному тиску на вході настає критичний режим замикання камери змішування.

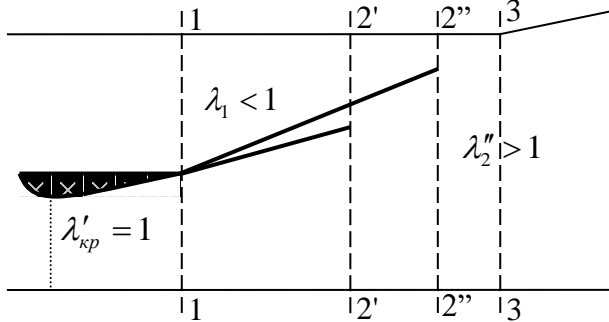


Рис.3. Схеми течії з наявністю стрибка ущільнення в камері змішування газового ежектора та рівності статичних тисків змішувальних потоків в перерізі 2-2

При подальшому зменшенні тиску на вході переріз 2-2 все більше віддаляється від вихідних перерізів сопел. При мінімальному тиску на вході настає критичний режим замикання камери змішування.

Всі сучасні методики розрахунку надзвукових ежекторів побудовані на розв'язанні основних рівнянь ежекції. При цьому розглядають одномірну течію ідеальних газів, нехтуючи теплообміном та тертям між потоками змішувальних газів та конструкцією ежектора.

В повному вигляді система рівнянь ежекції при змішуванні газів з різними фізичними якістьями та з урахуванням коефіцієнтів відбудови тиску в соплах ( $\gamma_1 = p_1^*/p_0^*$  і  $\gamma'_1 = p_1'^*/p_0'^*$ ) та дифузори ( $\gamma_4 = p_4^*/p_3^*$ ) має вигляд:

$$\varepsilon = \frac{\chi'}{\chi_3} \sqrt{\frac{(\chi_3+1)(\chi_3-1) \left(\frac{K}{g}+1\right)(K+1)}{(\chi'+1)(\chi'-1)}} \frac{\gamma_4 \gamma_1' \sigma q(\lambda_1')}{(\alpha+1)q(\lambda_3)}; \quad (1)$$

$$\frac{\chi'}{\chi} \sqrt{\frac{(\chi+1)(\chi-1)}{(\chi'+1)(\chi'-1)}} \frac{K}{\sqrt{g}} = \frac{\alpha \gamma_1 q(\lambda_1)}{\sigma \gamma_1' q(\lambda_1')}; \quad (2)$$

$$z(\lambda_3) = \frac{\chi_3}{\chi'} \sqrt{\frac{(\chi'+1)(\chi'-1)}{(\chi_3+1)(\chi_3-1)}} \times \frac{\frac{\chi'}{\chi} \sqrt{\frac{(\chi+1)(\chi-1)}{(\chi'+1)(\chi'-1)}} \frac{K}{\sqrt{g}} z(\lambda_1) + z(\lambda_1')}{\sqrt{\left(\frac{K}{g}+1\right)(K+1)}}; \quad (3)$$

$$\chi_3 = \frac{\chi \left(K + \frac{c_p'}{c_p}\right)}{K + \frac{\chi c_p'}{\chi' c_p}}; \quad (4)$$

$$\tau = \frac{K+g}{K+1}, \quad (5)$$

де  $c_p, c_p', \chi, \chi', \chi_3$  - питомі теплоємкості та показники адиабати низьконапірного та високонапірного потоків газу, відповідно;

$q(\lambda_1), q(\lambda'), q(\lambda_3), z(\lambda_1), z(\lambda'), z(\lambda_3)$  - газодинамічні функції низьконапірного, високонапірного потоків газу та суміші, відповідно;

$\varepsilon = p_3^*/p_0^*, \sigma = p_0'^*/p_0^*, g = i_0'^*/i_0^*, \tau = i_3/i_0^*$  - ступінь підвищення тиску, характерний відносний тиск, характерне відношення тепловмістів, ступінь підвищення тепловмістів газового ежектора, відповідно;

$K, \alpha$  - коефіцієнт ежекції та основний геометричний розмір дифузора.

Рівняння (3) при  $z(\lambda_{3\max}) \geq z(\lambda_3) > 2$ , де

$$\lambda_{\max} = \sqrt{\frac{\chi+1}{\chi-1}},$$

дає два значення приведеної швидкості у вихідному перерізі камери змішування. Перше значення ( $\lambda_3 > 1$ ) відповідає надзвуковій течії газів, а друге ( $\lambda_3 < 1$ ) - дозвуковій. Значенню  $z(\lambda_3) = 2$  відповідає звукова течія суміші у вихідному перерізі камери змішування.

Рівняння (1) при заданих параметрах змішувальних потоків на зрізі сопел при надзвуковій течії у вихідному перерізі камери змішування також дає два значення степеня підвищення тиску:  $\varepsilon'$  - відповідає надзвуковій течії суміші газів,  $\varepsilon''$  - дозвуковій. Ці величини пов'язані співвідношенням  $\varepsilon'' = \varepsilon' q(\lambda_3) / q(1/\lambda_3)$ .

Отже, дозвукова течія виникає з надзвукової в прямому стрибку ущільнення.

В загальному випадку змішування потоків з різними фізичними якістьями система п'яти рівнянь ежекції має шістнадцять змінних величин. Для її розв'язання потрібно додатково додати п'ять співвідношень, які залежать умови роботи сопел та дифузора та режиму роботи ежектора. Для цього необхідно знати процеси взаємодії потоків на початковій ділянці камери змішування.

У випадку змішування в газовому ежекторі газів однієї природи, а потоки мають однакові тепловмісти, тобто потоки мають однакові показники адиабати ( $\chi = \chi'$ ).

Тому, при умові  $i_0^{**}/i_0^*$  система рівнянь спрощується до вигляду:

$$\varepsilon = \frac{K+1}{\alpha+1} \frac{\gamma_4 \gamma_1' \sigma q(\lambda_1')}{q(\lambda_3)}; \quad (6)$$

$$K = \frac{\alpha \gamma_1 q(\lambda_1)}{\sigma \gamma_1' q(\lambda_1')}; \quad (7)$$

$$z(\lambda_3) = \frac{Kz(\lambda_1) + z(\lambda_1')}{K+1}; \quad (8)$$

$$\lambda_3 = \lambda' = \lambda; \quad \tau = 1. \quad (9)$$

Оскільки швидкість у вихідному перерізі надзвукового сопла  $\lambda_p'$  не змінюється при надкритичних перепадах тиску для газового ежектора з заданою геометрією рівняння (6) та (7) можна представити у вигляді комплексів параметрів, які не змінюються при зміні тиску в газовій мережі:

$$\left( \frac{\varepsilon}{\gamma_4 \sigma} \right)_i \frac{1}{K_i + 1} = \frac{1}{\alpha + 1} \frac{\gamma_1' q(\lambda_p')}{q(\lambda_3)} = const; \quad (10)$$

$$\left( \frac{K_i \sigma_i}{\gamma_i q(\lambda_{i1})} \right) = \frac{\alpha}{\gamma_1' q(\lambda_p')} = const \quad (11)$$

Сумісне рішення (10) та (11) має вигляд:

$$\left( \frac{\varepsilon}{\gamma_4} \right)_i \frac{K_i}{K_i + 1} \frac{1}{\gamma_i q(\lambda_{i1})} = \frac{\alpha}{\alpha + 1} \frac{1}{q(\lambda_3)} = const. \quad (12)$$

Згідно (10), залежність коефіцієнту ежекції  $K$  від основного енергетичного параметру газового ежектора з незмінною продуктивністю у вигляді комплексу  $\left( \frac{\varepsilon}{\gamma_4 \sigma} \right)_i = P_4 / P_i^{**}$  уявляє собою пряму, яка перетинає вісь  $\left( \frac{\varepsilon}{\gamma_4 \sigma} \right)$  при граничній величині енергетичного параметру  $\left( \frac{\varepsilon}{\gamma_4 \sigma} \right)_{cp}$ , при цьому  $K=0$ . Нахил прямої залежить від взаємозв'язку між величинами швидкостей  $\lambda_p'$ ,  $\lambda_3$  та основним геометричним параметром  $\alpha$ .

Тому задача пошуку геометричних розмірів оптимального газового ежектора полягає в визначенні цього взаємозв'язку на режимі вступу газового ежектора в роботу з реалізацією  $\left( \frac{\varepsilon}{\gamma_4} \right)_{\min}$  та режимі очікуваного мінімального тиску з реалізацією  $\left( \frac{\varepsilon}{\gamma_4} \right)_{\max}$ .

Отже,

$$\left( \frac{\varepsilon}{\gamma_4 \sigma} \right)_{cp} = \frac{1}{\alpha + 1} \frac{\gamma_1' q(\lambda_p')}{q(\lambda_3)}. \quad (13)$$

При реалізації критичного режиму течії в дозвуковому соплі в момент включення газового ежектора в роботу максимальна величина коефіцієнта ежекції  $K_{\max}$  визначатиметься за формулою:

$$\left( \frac{\varepsilon}{\gamma_4} \right)_{\min} \frac{K_{\max}}{K_{\max} + 1} = \frac{\alpha}{\alpha + 1} \frac{1}{q(\lambda_3)}. \quad (14)$$

Вираз (11) дає можливість визначитись з необхідним газодинамічним регулюванням надзвукового газового ежектора за рахунок відповідного збільшення тиску на вході в надзвукове сопло для реалізації  $G_4 = const$  та  $p_4 = const$ .

Для визначення максимальної величини коефіцієнту ежекції  $K_{\max}$  з реалізацією  $\left( \frac{\varepsilon}{\gamma_4} \right)_{\min}$  для режиму початку роботи надзвукового газового ежектора розглянемо основні рівняння ежекції (6-9) системи "ежектор-дифузор" шляхом пошуку мінімуму функції (6) при постійних значеннях  $\sigma$ ,  $K$ ,  $\gamma_l$ ,  $\gamma_l'$ ,  $\gamma_4$  та фізичних параметрів змішувальних газів, скориставшись відомою залежністю Христиановича [4] у вигляді:

$$\zeta = \frac{2}{\chi M_3^2} \left( \delta - \frac{\delta^2}{2} \right) \quad \text{або} \quad \zeta = \frac{\chi + 1}{\chi} \left( \delta - \frac{\delta^2}{2} \right), \quad (15)$$

де  $\delta = 1 - \gamma_4$ .

Отже, рівняння (6) можна розглянути у вигляді:

$$\varepsilon = \frac{K+1}{\alpha+1} \frac{\gamma_1' \sigma q(\lambda_1')}{q(\lambda_3)} \left( 1 - \zeta \frac{\chi}{\chi+1} \lambda_3^2 \right); \quad (16)$$

Скористуємось методом невизначених множників Лагранжа [12] для пошуку стаціонарних точок. Стаціонарні точки функції (16) знаходяться там, де нулю дорівнюють всі часткові похідні функції Лагранжа:

$$\lambda' = 1, \quad (17)$$

$$\lambda_1 = 1, \quad (18)$$

$$\frac{\varepsilon p(\lambda_3)}{\sigma \gamma_1' \gamma_4 p(\lambda_1')} = \frac{\left( 1 + \frac{\zeta \chi}{\chi + 1} \lambda_3^2 \right) \left( \frac{1 + \lambda_3^2}{1 - \lambda_3^2} \right)}{1 - \frac{\zeta \chi}{\chi + 1} \lambda_3^2}, \quad (19)$$

$$\sigma \gamma_1' p(\lambda_1') - \gamma_1 p(\lambda_1) = 0, \quad (20)$$

Проаналізуємо стаціонарні точки для визначення умови оптимальності газового ежектора і початкових даних його використання.

Реалізація умови (17) можлива лише в дозвуковому звукувальному соплі високонапірного газу, яке повинно працювати на критичному режимі. Згідно [10], оптимальний газовий ежектор зі звукувальним соплом високонапірного потоку менш потужний (в 2...3 рази) за газовий ежектор з розширювальним соплом.

Виконання умови (17) можливе при реалізації схеми течії, яка зображена на рис.2. Вона відповідає випадку змішування потоків з рівними статичними тисками у вихідних перерізах сопел, тобто при одночасному виконанні умови (20).

Витрата низьконапірного газу  $G_l$ , в даному випадку, буде максимальною, а ступінь підвищення тиску в газовому ежекторі визначатиметься умовою (19). В подальшому, ступінь підвищення тиску буде збільшуватись пропорційно зменшенню тиску на вході в газовий ежектор.

Використання такої схеми течії дає можливість визначити параметри дозвукового сопла при роботі його на критичному режимі і мінімальній продуктивності компресорної установки. При зменшенні тиску на вході в компресорну установку перепад тиску на дозвуковому соплі буде зменшуватись, внаслідок збільшення тиску на виході з надзвукового сопла.

З рівняння нерозривності в перерізах 1-1, 3-3 та 4-4 (див. рис.1) при заданих параметрах газу в газовій мережі та розрахунковій продуктивності компресорної установки виникають такі рівняння взаємозв'язку між геометричними параметрами газового ежектора та швидкістю течії на виході з камери змішування:

$$F = \frac{Q\gamma_4}{mR\sqrt{T_0^*}q(\lambda_3)}; \quad (21)$$

$$f_1 = F \frac{a}{a+1}; \quad (22)$$

$$f'_1 = F \frac{1}{a+1}. \quad (23)$$

де  $F, f_1, f'_1$ ,- площа камери змішування, низьконапірного та високонапірного сопел, відповідно;  $Q$ - продуктивність компресорної установки.

Спільне рішення рівнянь (18-20) дає можливість визначити характерні відношення повних тисків  $\varepsilon_{\min}$  і  $\sigma_{\min}$  на режимі початку роботи надзвукового газового ежектора, величини яких за-

лежать тільки від швидкості потоку в камері змішування газового ежектора.

За такий режим доцільно визнати режим мінімальної продуктивності роботи компресорної установки, коли з'являється небезпека зупинки енергетичної машини внаслідок падіння тиску на вході. Отже,

$$\left(\frac{\varepsilon}{\gamma_4}\right)_{\min} = \frac{p(1)}{p(\lambda_3)} \frac{1 + \frac{\zeta\chi}{\chi+1} \lambda_3^2 \left(\frac{1+\lambda_3^2}{1-\lambda_3^2}\right)}{1 - \frac{\zeta\chi}{\chi+1} \lambda_3^2}. \quad (24)$$

Величина  $(\varepsilon/\gamma_4)_{\min}$  дає можливість визначитись з величиною тиску на вході в компресорну установку  $p_4$  в момент початку роботи надзвукового газового ежектора, яка не буде змінюватись в процесі зменшення тиску  $p_3$  з врахуванням втрат в дифузорі.

Очікувана величина  $(\varepsilon/\gamma_4)_{\max}$  є найважливішою при розрахунку геометричних параметрів газового ежектора і повинна задаватися. Вона характеризує критичний режим течії з мінімальною величиною коефіцієнту ежекції  $K_{\min}$ .

При відомій швидкості на виході з дозвукового сопла на такому режимі  $\lambda_{1\min}$  та відомій величині  $(\varepsilon/\gamma_4)_{\max}$  коефіцієнт ежекції  $K_{\min}$  досягає максимального значення при  $\lambda_{1\min} = \lambda_3$  та легко визначається за допомогою комплексу (12). Використовуючи комплекси (10) та (11) можна розрахувати необхідну величину  $\sigma_{\max}$  на цьому режимі.

Критичний режим при  $\sigma = \sigma_{\max}$  виникає у випадку, коли мінімальний тиск на вході в компресорну установку зменшиться до величини статичного тиску на виході з високонапірного сопла.

Теорія основного критичного режиму Васильєва [10] визначає взаємозв'язок між швидкостями в перерізах 1-1 та 2-2 ежектора у вигляді:

$$q(\lambda'_2) = \frac{q(\lambda'_1)}{\alpha+1} \frac{1}{1 - \frac{\alpha}{\alpha+1} \frac{q(\lambda'_1)}{q(\lambda'_2)}}, \quad (25)$$

$$K = \frac{z(\lambda'_2) - z(\lambda'_1)}{z(\lambda_1) - z(\lambda'_2)}. \quad (26)$$

Режим замикаання камери змішування виникає при  $\sigma = \sigma_{\text{тр}}$ , коли між перерізами 1-1 та 2-2 розширення надзвукового струменя заповнює увесь переріз камери змішування.

В перерізі 2-2 виникає прямий стрибок ущільнення з переходом до дозвукової течії зі швидкістю  $\lambda_3$ . Отже, параметри надзвукового потоку перед стрибком повинні відповідати відповідним умовам, які визначаються за допомогою відомих співвідношень:

$$\lambda_3 \lambda_2' = 1; \quad (27)$$

$$p_3'^* = p_2'^* \frac{q(\lambda_2')}{q(1/\lambda_2')} = \gamma_1 p_1'^* \frac{q(1/\lambda_3)}{q(\lambda_3)}, \quad (28)$$

$$\left( \frac{\varepsilon}{\gamma_4 \sigma} \right)_{cp} = \mu \left( \frac{1}{\lambda_3} \right). \quad (29)$$

Спільне розв'язання рівнянь (13) та (29) дає можливість встановити залежність основного геометричного параметра  $\alpha$  газового ежектора від величин швидкостей високонапірного потоку в надзвуковому соплі та суміші потоків в камері змішування у вигляді:

$$\alpha = \frac{\gamma' q(\lambda_p')}{q(1/\lambda_3)} - 1. \quad (30)$$

З рівняння нерозривності в перерізах кр-кр та 1-1 високонапірного сопла, в перерізах 3-3 та 4-4 дифузора газового ежектора при максимальній продуктивності компресорної установки  $Q$ , яку може забезпечити газовий ежектор, і при наявності прямого стрибка густини виникають такі рівняння взаємозв'язку між геометричними параметрами газового ежектора та швидкістю течії на виході з камери змішування:

$$f_{kp} = \frac{Q}{mR\sqrt{T_0^*}} \frac{\gamma'_{kp} \gamma_4}{\mu(\lambda_3)}; \quad (31)$$

де  $\gamma'_{kp}$  – коефіцієнт збереження повного тиску в розширювальній частині надзвукового сопла;

Таким чином, визначений взаємозв'язок всіх геометричних розмірів оптимального ежектора з величиною приведеної швидкості потоку суміші газу в кінцевому перерізі камери змішування  $\lambda_3$ , від якої залежать втрати повного тиску в дифузори і яка через рівняння (15) пов'язана з величиною розрахункової приведеної швидкості високонапірного сопла  $\lambda'_p$ .

## Висновки

Запропонована в статті методика дозволяє визначити геометричні розміри надзвукового газового ежектора, який можна використовувати в якості стабілізатора тиску на вході в компресорну енергетичну установку за відомими параметрами її продуктивності та можливими величинами зменшення тиску на вході.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Thomas A. The Discharge of Air through Small Orifices, and the Entrainment of Air by the Ussuing jet // Philosophical Magazine. -1922. -65. - №263. - p.969-988.
2. Баулин К.Н. Эжекторы // Отопление и вентиляция. -1931. - №10. – 34 с.
3. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. - М.: Наука, 1991. – 600 с.
4. Христианович С.А. Применение эжекторов в газосборных сетях // Известия АН СССР.– ОТН. -1946. - № 3. – с.7-16.
5. Киселев Б.М. Расчет одномерных газовых течений // Известия АН СССР. Прикладная математика и механика. – т.ХІ. – вып.1. - 1947. - с.15-24.
6. Миллионщиков М.Д., Рябинков Г.М. Газовые эжекторы больших скоростей // Сборник работ по исследованию сверхзвуковых газовых эжекторов. - БНИ ЦАГИ. -1961. - с.5.
7. Таганов Г.И., Межиров И.И. К теории критического режима газового эжектора // Сборник работ по исследованию сверхзвуковых газовых эжекторов. - БНИ ЦАГИ, -1961. - с.33.
8. Васильев Ю.Н. Теория сверхзвукового газового эжектора с цилиндрической камерой смешения // Лопаточные машины и струйные аппараты. - Вып. 2. -М.: Машиностроение. -1969. - с.171-235.
9. Chow W.L., Addy A.L. Interaction between Primary and Secondary Streams of Supersonic Ejector Systems and Their Performance Characteristics // AIAA J. -1964. -2. - №4.

Н.С. Кулик, К.И. Капитанчук, П.И. Греков, С.П. Онищенко, О.Г. Быкова

Стабилизация давления на входе в компрессорную энергетическую установку с помощью газового эжектора

Рассмотрена возможность стабилизации давления на входе в компрессорную энергетическую установку с помощью сверхзвукового газового эжектора. Создана методика расчета геометрических размеров газового эжектора, который может быть использован в качестве стабилизатора давления.

М.С. Кулик, К.І. Капітанчук, П.І. Греков, С.П. Оніщенко, О.Г. Бикова

Стабілізація тиску на вході в компресорну енергетичну установку за допомогою газового ежектора

Розглянута можливість стабілізації тиску на вході в компресорну енергетичну установку за допомогою надзвукового газового ежектора. Розроблена методика розрахунку геометричних розмірів надзвукового газового ежектора, що може використовуватись в якості стабілізатора тиску.

N.Kylik, K.Kapitanchuk, P.Grekov, S.Onischenko, O.Bykova

Stabilization of the pressure on the input in the compressor energy installation using a gas ejector

Reviewed possibility of the stabilization of the pressure in the input of the compressor energy installation using a supersonic gas ejector. Worked out a methodic of calculation geometrical parameters of the gas ejector, which can be used as a stabilizer of pressure.