

УДК 629.735.33.015.3.024

В.Д. Дониц, канд. техн. наук

АЕРОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ВИТІКАННІ ГАЗУ ІЗ ПОСУДИНИ ЧЕРЕЗ ЗАЗОРНАУ, кафедра безпеки життєдіяльності
E-mail: nr@rkelsoll.kiev.ua*Наведено результати теоретичних й експериментальних досліджень аеродинамічних процесів течії газу із посудини через зазор. Розглянуто режими течії газу в зазорі між посудиною й екраном.**Theoretical and experimental researches of the aerodynamic processes during gas outflow from the vessel via gap have been developed. For the first time were obtained an mathematical models as well as were actually researched the unsteady gas outflow processes at the positive and negative gas impact exerted on the shield. Were considered gas flow modes in the gap between vessel and shield; the calculation results were compared with experimental one.***Вступ**

Для підтримки необхідного тиску газу (рідини) у відсіку (замкнутому об'ємі) чи для зміни параметрів потоку, що рухається, використовуються різні дросельні пристрої. У таких пристроях за рахунок впливу дросельного пристрою на параметри потоку проводиться регулювання параметрів газу усередині відсіку, параметрів середовища, в яке відбувається витікання газу.

Найчастіше дросельний пристрій застосовується в пристроях, в яких газова струмина набігає на екран. При зміні параметрів потоку газова струмина здійснює силову дію на екран.

Характер взаємодії газової струмини й екрана впливає на параметри потоку, що рухається, і параметри газу усередині відсіку.

Аналіз публікацій

Дослідження процесів взаємодії газу й екрана, області застосування таких процесів і основні математичні моделі подано в працях [1–8].

Н.Е. Жуковський розглянув витікання газу через отвір у стінці, що розташований біля заглушеного торця каналу [1].

С.А. Чаплигін продовжив ці дослідження [2] при витіканні газу з нескінченної посудини з плоскими стінками.

У праці [2] розглянуто обтікання вільною струминою пластини, поставленої перпендикулярно до напрямку потоку, обчислено коефіцієнт стиснення струмини і силу опору пластини та зіставлено результати розрахунку й експерименту.

Широке використання одержала формула визначення сили лобового опору пластини P_x залежно від коефіцієнта лобового опору пластини C_x , площі пластини S , щільності ρ і швидкості потоку V :

$$P_x = \tilde{N}_x S \frac{\rho V^2}{2}.$$

У праці [3] описано процеси обтікання газовою струминою (рідиною) плоского екрана (стінки). Розглянуто процеси руху сталого ідеального газу і силовий вплив вільної струмини на екран, отримано математичну модель силового впливу вільної газової струмини на екран.

Формула

$$P = Qv,$$

де Q – масова витрата газу; v – швидкість газу визначає динамічну силу впливу газової струмини на плоску стінку, встановлену перпендикулярно потоку.

При виведенні формули використовувалося рівняння кількості руху, у якому внутрішні сили не враховувалися, а для досліджуваного об'єму розглядалися тільки зовнішні сили. Для ідеальної і нестисливої рідини визначені сила і точка її додатка на екрані.

У праці [4] отримано формулу визначення сили впливу струмини R на заслінку в пристрої типу сопло-заслінка

$$R = S_c p_h + \frac{\rho Q^2}{2S_c}, \quad (1)$$

де S_c – площа сопла; p_h – тиск рідини перед соплом; ρ – щільність рідини; Q – секундна витрата об'єму рідини.

На базі отриманого рівняння (1) описано механізм керування розглянутого пристрою.

У праці [5] подано експериментальні дані різних схем витікання повітря з труб і каналів на екран. Для вільного струменя досліджено параметри потоку, розглянуто процеси взаємодії струменя повітря між екраном і вихідним отвором.

При виході повітря з каналу коефіцієнт опору виходу зі зменшенням зазору між екраном і каналом зменшується, а при досягненні визначеного зазору досягає мінімального значення.

Подальше зменшення зазору між екраном і каналом призводить до безупинного збільшення коефіцієнта гідравлічного опору.

Для каналів без заокруглень і деяких варіантів дифузорові зі зменшенням зазору між каналом і екраном отримано безупинне збільшення коефіцієнта гідравлічного опору.

У праці [6] розглянуто гідродинамічні сили, що діють на різні гідравлічні органи. На підставі рівнянь механіки тіла, що рухається, проведено аналіз витікання однорідної рідини з замкнутої посудини зі швидкістю v через отвір поперечного S перерізу на екран. При цьому на екрані виникає сила F , що дорівнює

$$F = Mv + (P_1 - P_0)S,$$

де M – масова витрата рідини; P_1 – статичний тиск рідини на виході з отвору; P_0 – тиск навколишнього простору, в який втікає рідина.

Напрямок цієї сили збігається з напрямком швидкості v . Досліджено деякі окремі випадки течії рідини і реакції потоку, що викликані зміною кількості руху.

У праці [7] для гідравлічних систем проведено теоретичні й експериментальні дослідження дросельного керуючого елемента типу сопло-заслінка, визначено силу впливу вільного струменя, що виходить з отвору насадка, на нерухомий екран. Силу впливу на плоску стінку, установлену перпендикулярно до потоку, визначають за формулою, наведеною в праці [3].

Незмінність роботи такого пристрою зв'язано з відсутністю зміни режиму течії рідини в дроселі. Крім того, зміна режиму течії веде до зміни витрати, силового впливу струменя на заслінку і коливанням заслінки.

У праці [8] наведено результати експериментальних досліджень вихрових клапанів з осьовим, осерадіальним і щільним дифузорами. Максимальну пропускну здатність має вихровий підсилювач із щільним дифузоровим із коефіцієнтом витрати $\mu = 1,91$.

Робоча характеристика дифузора має дві гістерезисні зони східчастої зміни витрати.

Постановка завдання

Аналіз праць [1–8] показує, що силовий вплив вихідного струменя повітря з відсіку на екран описується різними рівняннями.

В опублікованих працях при описанні досліджуваного процесу зроблені допущення, що на практиці найчастіше не виконуються.

Наприклад, струмінь повітря, що набігає на екран, обмежений поверхнями і не може розглядатися як вільний.

Ступінь впливу цього й іншого допущень на точність результатів моделювання досліджуваного процесу недостатньо вивчено. Тому необхідно додатково провести теоретичні й експериментальні дослідження взаємодії вихідного з відсіку струменя з екраном.

Мета цієї роботи – визначення залежності між параметрами нестационарної течії газу і силою, з якою діє вихідний із посудини газ на екран. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- розробити математичну модель витікання газу з відсіку за наявності зазору між відсіком і екраном, визначити силовий вплив вихідного нестационарної течії газу на екран;
- провести теоретичні й експериментальні дослідження витікання газу з відсіку і взаємодії потоку газу з екраном;
- провести зіставлення результатів експерименту і розрахунку відповідно до розробленої математичної моделі.

Об'єкт і предмет досліджень

Об'єктом досліджень є пристрій (рис. 1), що містить посудину I (трубопровід) із внутрішнім діаметром d_1 .

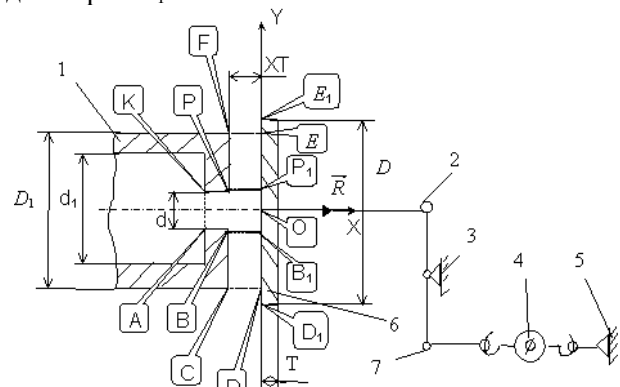


Рис. 1. Структурна схема посудини з екраном, установленим уздовж потоку:

1 – трубопровід; 2, 7 – шарніри; 3, 5 – вузли; 4 – динамометр; 6 – екран

У середині посудини знаходиться сопло діаметром d . Зовнішній діаметр посудини D_1 має плоску стінку CF . На відстані XT від плоскої стінки CF посудини I встановлена пластина 6 (екран) діаметром D і товщиною T . Пристрій виконано за типом «сопло-заслінка». Від джерела стиснутого газу (повітря) у посудину подається газ, який через сопло і зазор між плоскою частиною посудини й екраном виходить в атмосферу. Пристрій може бути також виконано у вигляді замкнутого відсіку, в якому знаходиться надлишковий тиск газу. При переміщенні газу в зазорі потік виходить на екран 6 .

Частковим випадком досліджуваного процесу є обтікання газовою струминою твердого тіла, коли $d \gg D$.

Предметом дослідження є нестационарні процеси взаємодії газової струмини з екраном, який встановлений на виході газу із посудини.

Математична модель

Для визначення закономірностей течії газу в зазорі між посудиною й екраном розглянемо в самому загальному випадку при втіканні і витіканні газу з відсіку [9; 10].

Запишемо основні рівняння руху газу в посудині. Усередині відсіку знаходиться маса газу m зі швидкістю \vec{W} . У відсік підводиться і відводиться маса газу $m^{(1)}, m^{(2)}$ зі швидкістю $\vec{W}^{(1)}, \vec{W}^{(2)}$ відповідно.

Будемо розглядати процеси всередині відсіку, що будуть протікати при підведенні і відведенні газу з відсіку.

Для досліджуваного відсіку визначимо головний вектор діючих сил \vec{F} :

$$\vec{F} = -\vec{R} + \vec{F}_n + \vec{F}_k + \vec{M} + \vec{F}_1, \quad (2)$$

де \vec{R} – сила впливу потоку на тверде тіло; \vec{F}_n – головний вектор нормальних сил, прикладених до досліджуваних площадок S_1, S_2 розглянутого об'єму:

$$\vec{F}_n = \vec{P}_1 S_1 + \vec{P}_2 S_2,$$

\vec{F}_k – головний вектор дотичних сил, прикладених до площадок S_1, S_2 :

$$\vec{F}_k = \int_{S_1}^{S_2} \vec{\tau} dS$$

$\vec{\tau}$ – вектор дотичних напружень у перетинах 1, 2; \vec{M} – головний вектор масових сил; \vec{F}_1 – вектор зовнішніх сил, що діють на тверде тіло.

Зміну кількості руху маси газу в об'ємі за елементарний проміжок часу $d\tau$ запишемо в такому вигляді:

$$d\left(m_c \vec{W}_c\right) = d\left(m^{(1)} \vec{W}^{(1)} + m \vec{W} + m^{(2)} \vec{W}^{(2)}\right) = \vec{F} d\tau, \quad (3)$$

де m_c – маса суміші газу; \vec{W}_c – швидкість суміші газу.

При підведенні та відведенні газу відбувається вирівнювання параметрів суміші.

Для замкнутої системи вирівнювання параметрів газу процес розглядають відповідно до рівняння

$$\frac{d\left(m^{(1)} \vec{W}^{(1)} + m \vec{W} + m^{(2)} \vec{W}^{(2)}\right)}{d\tau} = 0. \quad (4)$$

При вирівнюванні швидкостей в об'ємі за деякий проміжок часу до

$$\vec{W}^{(1)} = \vec{W} = \vec{W}^{(2)} = \vec{W}_c$$

течію газу з посудини можна розглядати стационарною і розрахунок проводити за параметрами суміші.

У протилежному разі витікання газу з посудини визначається процесом змішування газу, що істотно залежить від конструктивного виконання розглянутого об'єму.

Рівняння (2) і (3) запишемо для двох перетинів об'єму за деякий проміжок часу $(\tau_2 - \tau_1)$:

$$\begin{aligned} \vec{R} = & G_1^{(1)} \vec{W}_1^{(1)} - G_2^{(1)} \vec{W}_2^{(1)} + G_1 \vec{W}_1 - G_2 \vec{W}_2 + \\ & + G_1^{(2)} \vec{W}_1^{(2)} - G_2^{(2)} \vec{W}_2^{(2)} + \vec{P}_1 S_1 + \vec{P}_2 S_2 + \\ & + \vec{F}_k + \vec{M} + \vec{F}_1. \end{aligned} \quad (5)$$

Рівняння (5) у самому загальному випадку описує силовий вплив потоку на тверде тіло в об'ємі.

Математична модель (5) порівняно з працями [3; 4; 6] додатково враховує зміну кількості руху, що підводиться $(G_1^{(1)} \vec{W}_1^{(1)} - G_2^{(1)} \vec{W}_2^{(1)})$, відводиться $(G_1^{(2)} \vec{W}_1^{(2)} - G_2^{(2)} \vec{W}_2^{(2)})$ й усередині об'єму $(G_1 \vec{W}_1 - G_2 \vec{W}_2)$ маси газу.

Визначимо деякі характерні і граничні режими течії газу для моделі (5).

При $G_1 = G_2$ маса газу в об'ємі не змінюється:

$$\begin{aligned} \vec{R} = & G_1^{(1)} \vec{W}_1^{(1)} - G_2^{(1)} \vec{W}_2^{(1)} + G_1 (\vec{W}_1 - \vec{W}_2) + \\ & + G_1^{(2)} \vec{W}_1^{(2)} - G_2^{(2)} \vec{W}_2^{(2)} + \vec{P}_1 S_1 + \vec{P}_2 S_2 + \vec{F}_k + \vec{M} + \vec{F}_1. \end{aligned}$$

При течії газу в об'ємі

$$\vec{W}_1 = \vec{W}_2 = 0$$

чи, коли

$$\vec{W}_1 = \vec{W}_2,$$

маємо

$$\begin{aligned} \vec{R} = & G_1^{(1)} \vec{W}_1^{(1)} - G_2^{(1)} \vec{W}_2^{(1)} + G_1^{(2)} \vec{W}_1^{(2)} - \\ & - G_2^{(2)} \vec{W}_2^{(2)} + \vec{P}_1 S_1 + \vec{P}_2 S_2 + \vec{F}_k + \vec{M} + \vec{F}_1. \end{aligned}$$

Якщо в процесі підведення газу в об'ємі виконується умова

$$G_2^{(1)} \vec{W}_2^{(1)} = G_1^{(2)} \vec{W}_1^{(2)},$$

то одержимо рівняння відповідно до праці [3]:

$$\vec{R} = G_1^{(1)} \vec{W}_1^{(1)} - G_2^{(2)} \vec{W}_2^{(2)} + \vec{P}_1 S_1 + \vec{P}_2 S_2 + \vec{F}_k + \vec{M} + \vec{F}_1.$$

При рівності витрат газу $G_2^{(1)} = G_1^{(2)}$:

$$\begin{aligned} \vec{R} = G_1^{(1)} \vec{W}_1^{(1)} + G_1^{(2)} (\vec{W}_1^{(2)} - \vec{W}_2^{(1)}) + G_1 \vec{W}_1 - \\ - G_2 \vec{W}_2 - G_2^{(2)} \vec{W}_2^{(2)} + \vec{P}_1 S_1 + \vec{P}_2 S_2 + \vec{F}_k + \vec{M} + \vec{F}_1. \end{aligned}$$

Якщо

$$\vec{W}_1^{(2)} = \vec{W}_2^{(1)} = 0$$

чи

$$\vec{W}_1^{(2)} = \vec{W}_2^{(1)},$$

маємо

$$\begin{aligned} \vec{R} = G_1^{(1)} \vec{W}_1^{(1)} - G_2^{(2)} \vec{W}_2^{(2)} + G_1 \vec{W}_1 - G_2 \vec{W}_2 + \\ + \vec{P}_1 S_1 + \vec{P}_2 S_2 + \vec{F}_k + \vec{M} + \vec{F}_1. \end{aligned}$$

При виконанні умов

$$G_1 = G_2,$$

$$\vec{W}_1 = \vec{W}_2 = 0$$

чи

$$\vec{W}_1 = \vec{W}_2;$$

$$G_2^{(1)} = G_1^{(2)},$$

$$\vec{W}_1^{(2)} = \vec{W}_2^{(1)} = 0$$

чи

$$\vec{W}_1^{(2)} = \vec{W}_2^{(1)}$$

одержимо рівняння відповідно до праці [5]:

$$\vec{R} = G_1^{(1)} \vec{W}_1^{(1)} - G_2^{(2)} \vec{W}_2^{(2)} + \vec{P}_1 S_1 + \vec{P}_2 S_2 + \vec{F}_k + \vec{M} + \vec{F}_1.$$

При $G_1^{(1)} = G_2^{(2)}$:

$$\vec{R} = G_1^{(1)} (\vec{W}_1^{(1)} - \vec{W}_2^{(2)}) + \vec{P}_1 S_1 + \vec{P}_2 S_2 + \vec{F}_k + \vec{M} + \vec{F}_1.$$

Якщо

$$\vec{W}_1^{(1)} = \vec{W}_2^{(2)},$$

то силовий вплив газу на тверде тіло визначається тисками газу в досліджуваних перетинах і дорівнює:

$$\vec{R} = \vec{P}_1 S_1 + \vec{P}_2 S_2 + \vec{F}_k + \vec{M} + \vec{F}_1.$$

При підведенні газу в об'ємі з постійною витратою

$$G_1^{(1)} = G_2^{(1)} = G^{(1)}$$

і відведенні газу

$$G_1^{(2)} = G_2^{(2)} = G^{(2)},$$

$$\vec{W}_1 = \vec{W}_2 = \vec{W}$$

маємо

$$\begin{aligned} \vec{R} = G^{(1)} (\vec{W}_1^{(1)} - \vec{W}_2^{(1)}) + \vec{W} (G_1 - G_2) + \\ + G^{(2)} (\vec{W}_1^{(2)} - \vec{W}_2^{(2)}) + \vec{P}_1 S_1 + \vec{P}_2 S_2 + \vec{F}_k + \vec{M} + \vec{F}_1 \end{aligned}$$

Якщо

$$\vec{W}_1^{(1)} - \vec{W}_2^{(1)} = \vec{W}^{(1)},$$

$$\vec{W}_1^{(2)} - \vec{W}_2^{(2)} = \vec{W}^{(2)},$$

то силовий вплив потоку на тверде тіло буде визначатися рівнянням

$$\begin{aligned} \vec{R} = G^{(1)} \vec{W}^{(1)} + \vec{W} (G_1 - G_2) + G^{(2)} \vec{W}^{(2)} + \vec{P}_1 S_1 + \\ + \vec{P}_2 S_2 + \vec{F}_k + \vec{M} + \vec{F}_1. \end{aligned}$$

При рівності газу, що підводиться і відводиться

$$G^{(1)} = G^{(2)},$$

зміна маси газу в об'ємі не буде змінюватися і силовий вплив газу на тверде тіло визначається рівнянням

$$\vec{R} = G^{(1)} \vec{W}^{(1)} + G^{(2)} \vec{W}^{(2)} + \vec{P}_1 S_1 + \vec{P}_2 S_2 + \vec{F}_k + \vec{M} + \vec{F}_1.$$

Дане рівняння виконується при витіканні газу з великого об'єму, коли

$$\vec{W} \approx 0 \text{ і } G^{(1)} \neq G^{(2)}.$$

Аналіз режимів течії газу показує, що потік газу може робити позитивний і негативний вплив на екран.

У працях [1–8] отримані моделі течії газу при позитивному впливанні газу на екран.

Отримані моделі режимів течії газу показують, що рівняння (3), (4) описують більш широкий клас розв'язуваних задач для стаціонарних і нестаціонарних процесів витікання газу з об'єму. Досліджуємо вплив вектора швидкості і його складових на процес витікання газу з відсіку. Запишемо рівняння для модуля вектора швидкості через проекції його на координатні осі X, Y, Z прямокутної системи координат:

$$W^2 = W_x^2 + W_y^2 + W_z^2.$$

Зміну параметрів газу в досліджуваному об'ємі визначимо відповідно до праці [9]:

$$du + d\left(\frac{p}{\rho}\right) + d\left(\frac{W^2}{2}\right) = du + d\left(\frac{p}{\rho}\right) + d\left(\frac{W_x^2}{2}\right) + d\left(\frac{W_y^2}{2}\right) + d\left(\frac{W_z^2}{2}\right) = \frac{Rn}{n-1}dT_0, \quad (6)$$

де u – питома внутрішня енергія, Дж/кг; p – тиск газу, Па; ρ – щільність газу, кг/м³; W – швидкість газу, м/с; R – газова стала, Дж/(кг·град); n – показник політропи; T_0 – температура загальмованої течії, К.

Розглянемо осьовий поступальний рух газу від перетину AK до перетинів FE і CD .

Дослідимо процеси, що протікають в об'ємі між розглянутими перетинами.

Визначимо ступінь впливу цих процесів на взаємодію течії і екрана.

У досліджуваному об'ємі відбувається зміна параметрів газу, вектора швидкості.

У самому загальному випадку весь процес витікання газу можна умовно розділити на такі режими.

На першому режимі руху газу від перетину AK до екрана відбувається зменшення складової вектора швидкості уздовж осі X . Якщо в перетині AK вектор швидкості потоку переважно спрямований по осі X і становить

$$W \approx W_x, W_y \approx W_z \approx 0,$$

то поблизу екрана складова вектора швидкості уздовж осі X практично дорівнює нулю.

На другому режимі течії вектор швидкості W змінює свій напрям на 90° .

Відповідно до теореми про зміну кінетичної енергії матеріальної точки, що рухається, робота зовнішніх сил на пройдену шляху буде дорівнювати нулю.

На підставі закону збереження енергії і рівняння (5)

зміна $d\left(\frac{W^2}{2}\right)$ може відбуватися тільки за рахунок зміни $du + d\left(\frac{p}{\rho}\right)$, а при $du = 0$ за рахунок

зміни $d\left(\frac{p}{\rho}\right)$.

зміни $d\left(\frac{p}{\rho}\right)$.

На третьому режимі течії газу потік переважно рухається вздовж осі Y і в перетинах FE і CD вектор швидкості досягає величин

$$W \approx W_y, W_x \approx W_z \approx 0.$$

Зміна параметрів газу визначається відповідно до рівняння (6). Отже, при русі газу в об'ємі відбувається зміна швидкості потоку від

$$W = W_x$$

до

$$W = W_y.$$

Залежно від параметрів газу в посудині і між посудиною й екраном кожний з розглянутих режимів течії може впливати на процес витікання газу із посудини. У початковий момент витікання газу переважає перший режим течії. При завершенні процесу витікання газу з відсіку і вирівнюванні параметрів газу у відсіку і навколишньому просторі переважним є третій режим витікання. Для інших випадків витікання мають місце три режими течії газу.

Методика проведення випробувань

Проведено випробування з виміру сили, з якою впливає газ на екран b при виході із посудини через зазор. Сила \vec{R} визначалася за допомогою динамометра 4 . Передача зусилля від екрана на динамометр проводилася за допомогою тяг, шарнірів і опор. У цілому система з виміру зусилля на екран мала можливість переміщатися щодо посудини. Поворотні вузли $2, 7$ забезпечували вільне обертання екрана b у площині XU . Тяга від шарніра 2 до екрана b була жорстко закріплена в точці O . У вузлах $3, 5$ тяги мали шарнірні опори. На вході в посудину 1 вимірювався тиск і витрата газу за допомогою стандартного пристрою. Надлишковий тиск газу в посудині змінювався в діапазоні

$$P_1 = (0,5 \dots 2,0) \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Зазор між посудиною й екраном складав $XZ \approx (0 \dots 1600) \text{ мм}$.

У вихідному стані екран установлювали співвісно до отвору в посудині вздовж осі X . При заданому тиску в посудині 1 і встановленому зазорі XZ робили виміри сили \vec{R} (рис. 2).

Збільшення тиску газу в посудині призводить до збільшення силового впливу газу на екран. При зменшенні відстані від екрана до посудини і збільшенні тиску газу в посудині відбувається збільшення силового впливу газу на екран. Залежно від тиску газу в посудині при

$$XZ \leq (130 \dots 150) \text{ мм}$$

змінюється характер сили \vec{R} .

Зменшення відстані до посудини призводить до зменшення значення сили \vec{R} .

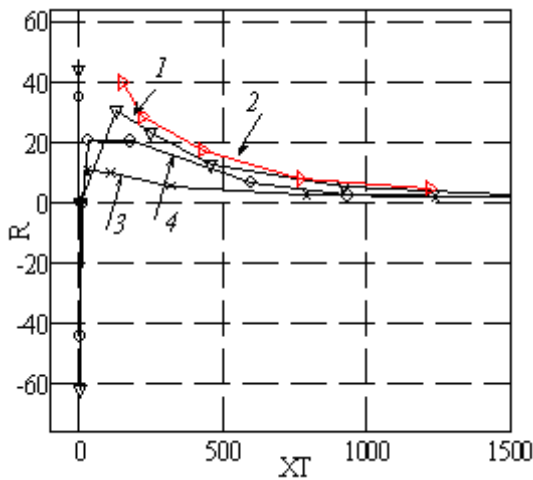


Рис. 2. Залежність \vec{R} від відстані XT при надлишковому тиску газу P_1 в посудині:
 1 – $P_1=1,5 \cdot 10^5$ Па; 2 – $P_1=2,0 \cdot 10^5$ Па; 3 – $P_1=0,5 \cdot 10^5$ Па;
 4 – $P_1=1,0 \cdot 10^5$ Па

При $XT \approx (6 \dots 15)$ мм сила \vec{R} змінює знак (потік газу притягає екран до посудини).

Між посудиною й екраном утворюється течія газу при $XT \approx 0,2$ мм.

При цьому потік газу утримує екран у нерухомості у вертикальному положенні.

Відносно невелика область зміни знака сили \vec{R} призводить до негативного впливу на конструкцію екрана.

У процесі досліджень при надлишковому тиску в посудині $P_1=2,0 \cdot 10^5$ Па і $XT=150$ мм екран з органічного скла товщиною 5 мм зруйнувався. Цей факт свідчить про важливість впливу знакозмінної сили на конструкцію екрана. Подальше зменшення зазору XT може відбуватися тільки тоді, коли до екрана прикладена сила убік посудини. Теоретично величина такої сили може досягати значення 53 Н при $P_1=2,0 \cdot 10^5$ Па. Практично значення цієї сили визначається конструктивним виконанням поверхонь CF посудини і D_1E_1 екрана.

Аналіз процесів обтікання екрана показує, що при обтіканні потоком газу екран має рівноважне положення перпендикулярне осі X . За наявності течії газу і при відхиленні осі екрана щодо осі X на кут не більше ніж $\pm (7-9)^\circ$ екран повертається в положення вздовж осі X . При набіганні на екран потік газу виконує мінімум роботи.

Зіставлення результатів експерименту і розрахунку показує, що з праць [1–7] ближче до експерименту має модель відповідно до праці [6].

Модель відповідно до праці [6] недостатньо повно описує процес зміни силового впливу газу на екран. Розроблена модель течії газу відповідно до виразів (1), (2), (3), (5) і праць [9; 10] описує більш широкий клас розв'язуваних практичних задач. Помилка результатів розрахунку й експерименту не перевищує 10%.

Висновки

Уперше отримано математичні моделі і досліджено нестационарні процеси витікання газу при позитивному і негативному впливі газу на екран. Проведено зіставлення результатів розрахунку й експерименту. Розроблена математична модель описує з достатньою для практики точністю силову дію газу на екран при витіканні газу із відсіку.

На підставі розроблених математичних моделей необхідно продовжити подальші дослідження розроблених моделей при витіканні газу з відсіку на екран з урахуванням аналізу статичних і динамічних складових потоку.

Література

1. Жуковский Н.Е. Видоизменение метода Кирхгофа для определения движения жидкости в двух измерениях при постоянной скорости, данной на неизменной линии тока: Собр. соч. – Т. 1. – М.; Л.: Гостехиздат, 1948. – 656 с.
2. Чаплыгин С.А. О газовых струях. – М.; Л.: Гостехиздат, 1949. – 144 с.
3. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. 2. – М.: Наука, 1976. – С. 54–58.
4. Белоцерковский С.М., Кочетков Ю.А., Красовский А.А., Новицкий В.В. Введение в аэроупругость. – М.: Наука, 1980. – С. 86–99.
5. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.
6. Гийон М. Исследование и расчет гидравлических систем / Пер. с франц. С.Н. Рождественского, И.П. Золотарева. – М.: Машиностроение, 1964. – 388 с.
7. Гидравлика, гидромашини и гидроприводы / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.
8. Семин Д.А., Павлюченко В.А., Мальцев Я.И. Исследование вихревых усилителей с диффузорами различных типов // Вестн. НТУУ «КПИ». Машиностроение. – 2002. – Вып. 42. Т. 2. – С. 54–56.
9. Доник В.Д. Метод определения расхода воздуха при истечении воздуха из отсека // Прикл. гидромеханика. – 2004. – 6(78), №2. – С. 71–74.
10. Доник В.Д. Узагальнена математична модель витікання повітря з відсіку // Вісн. НАУ. – 2003. – №3–4(18). – С. 98–101.

Стаття надійшла до редакції 28.08.06.