

газодинамічних процесів в реальному відсіку. Відповідно до методу відсіку розглянуті параметри газу безпосередньо співвідносяться до параметрів реального відсіку (об'єму). Тому аналіз досліджуваного процесу за параметрами реального відсіку і розробка на їх основі рівняння процесу підвищує ефективність розробленого методу відсіку.

3.2. Газодинамічні процеси за умови витікання газу з відсіку через зазор

Аналіз робіт [20, 21, 24, 29, 85, 211, 244, 245] свідчить, що силова дія вихідного струменя повітря з відсіку на екран описується різними рівняннями. Встановимо залежність силової дії газу на екран відповідно до основних рівнянь процесів витікання і витікання повітря з відсіку.

Об'єктом досліджень є пристрій (рис. 3.1), який містить відсік 1 (трубопровід) з внутрішнім діаметром d_1 . Усередині відсіку (посудини) є сопло діаметром d . Зовнішній діаметр відсіку D_1 має плоску стінку CF. На відносній відстані $X_T = |X|/d$ від плоскої стінки CF відсіку 1 встановлено пластину (екран) 2 діаметром D і

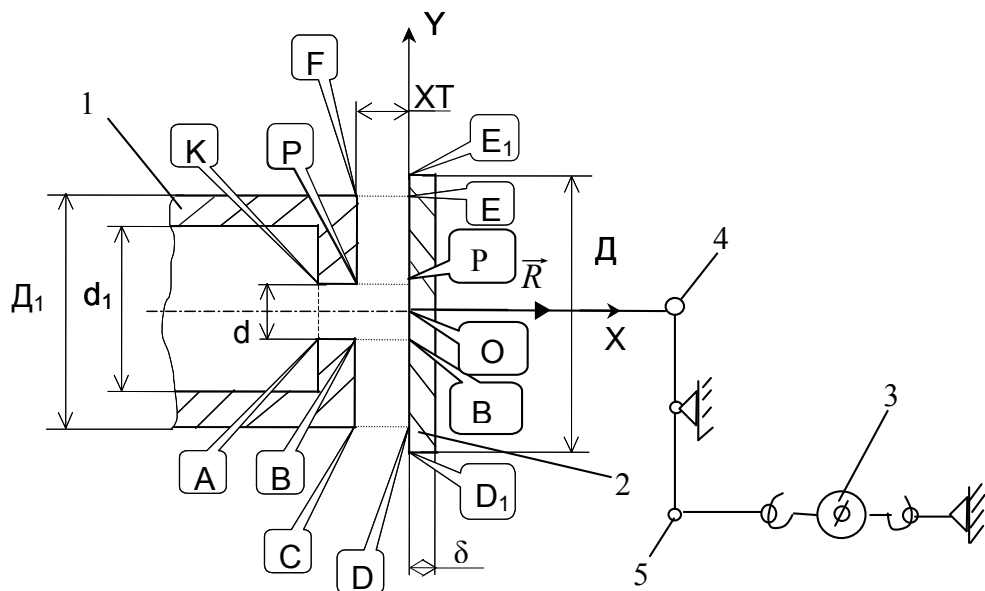


Рисунок 3.1. Структурна схема відсіку з екраном: 1 – відсік; 2 – пластину; 3 – динамометр; 4, 5 – шарнір; ОХ, ОУ – осі декартової системи координат; d , d_1 , D , D_1 – діаметр; δ – товщина; \bar{R} – сила; X_T – відносна відстань; О, А, В, С, D, D_1 , E, E_1 , P, P_1 , K – точки

товщиною δ . Пристрій виконано за типом «сопло–заслінка» [312, 313]. Від джерела стисненого газу (повітря) в посудину подають газ, який через сопло і щілину між плоскою частиною посудини і екраном витікає в атмосферу. Пристрій може бути також виконано у вигляді замкнутого відсіку, в якому є надлишковий тиск газу. Під час руху газу в щілині потік чинить силову дію на екран 2. Окремим випадком досліджуваного процесу є обтікання струменем газу твердого тіла, коли $d > D$ [203, с. 49–51].

Предметом дослідження є нестационарні процеси взаємодії струменя газу з екраном, який встановлено на виході газу з посудини [305]. Для визначення закономірностей течії газу в зазорі між посудиною і екраном розглянемо в найзагальнішому випадку процес втікання, змішання і витікання газу з відсіку (об'єму) [262, 266]. Відповідно до законів газодинаміки запишемо основні рівняння руху газу в об'ємі. Визначимо силовий вплив газу, що виходить з відсіку на екран, з урахуванням масообмінних процесів в зазорі між відсіком і екраном.

Усередині відсіку є маса газу m зі швидкістю \vec{W} . До відсіку підводять і відводять масу газу $m^{(1)}$, $m^{(2)}$ зі швидкістю $\vec{W}^{(1)}$, $\vec{W}^{(2)}$ відповідно. Для відсіку визначимо головний вектор діючих сил (\vec{F}):

$$\vec{F} = -\vec{R} + \vec{F}_n + \vec{F}_k + \vec{M} + \vec{F}_1, \quad (3.2)$$

де \vec{R} – сила дії рухомого газу на тверде тіло; $\vec{F}_n = \vec{P}_1 S_1 + \vec{P}_2 S_2$ – головний вектор нормальних сил, докладених до досліджуваних перерізів S_1 , S_2 розглянутого об'єму; $\vec{F}_k = \int_{S_1}^{S_2} \vec{\tau} dS$ – головний вектор дотичних сил, докладених до перерізів S_1 і S_2 ; $\vec{\tau}$ – вектор дотичної напруги в перерізах 1 і 2; \vec{M} – головний вектор масових сил; \vec{F}_1 – вектор зовнішніх сил, що діють на тверде тіло.

Для маси (m_c) і швидкості (\vec{W}_c) суміші газу зміну кількості руху маси газу в об'ємі за елементарний проміжок часу ($d\tau$) запишемо в такому вигляді:

$$d(m_c \vec{W}_c) = d\left(m^{(1)} \vec{W}^{(1)} + m \vec{W} + m^{(2)} \vec{W}^{(2)}\right) = \vec{F} d\tau, \quad (3.3)$$

Рівняння (3.2) і (3.3) запишемо для двох станів об'єму за деякий проміжок часу $(\tau_2 - \tau_1)$:

$$\begin{aligned} \vec{R} = G_1^{(1)} \vec{W}_1^{(1)} - G_2^{(1)} \vec{W}_2^{(1)} + G_1 \vec{W}_1 - G_2 \vec{W}_2 + G_1^{(2)} \vec{W}_1^{(2)} - G_2^{(2)} \vec{W}_2^{(2)} + \\ + \vec{P}_1 S_1 + \vec{P}_2 S_2 + \vec{F}_k + \vec{M} + \vec{F}_1. \end{aligned} \quad (3.4)$$

Рівняння (3.4) в найзагальнішому випадку описує силову дію потоку на тверде тіло в об'ємі. Математична модель (3.4) в порівнянні з роботами [24, 29, 85] додатково враховує зміну кількості руху підведеного $(G_1^{(1)} \vec{W}_1^{(1)} - G_2^{(1)} \vec{W}_2^{(1)})$, відведеного $(G_1^{(2)} \vec{W}_1^{(2)} - G_2^{(2)} \vec{W}_2^{(2)})$ і маси газу, яка перебуває всередині об'єму $(G_1 \vec{W}_1 - G_2 \vec{W}_2)$.

У роботі [303] виведено рівняння (3.4) і проведено дослідження силовій дії газу на екран для різних режимів течії газу. Аналіз свідчить, що потік газу може здійснювати позитивну і негативну дію газу на екран. У роботах [20, 21, 24, 29, 85, 211, 244, 245,] отримано моделі течії газу тільки за умови позитивної дії газу на екран. Порівняльний аналіз отриманих моделей свідчить, що рівняння (3.3) і (3.4) описують ширший клас розв'язуваних задач для стаціонарних і нестаціонарних процесів витікання газу з об'єму.

Силова дія газу на екран залежить від вектора швидкості [306]. Тому досліджуємо вплив вектора швидкості і його складових на процес витікання газу з відсіку. Запишемо рівняння для модуля вектора швидкості через проєкції 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 роботи [262]:

$$du + d\left(\frac{p}{\rho}\right) + d\left(\frac{W^2}{2}\right) = du + d\left(\frac{p}{\rho}\right) + d\left(\frac{W_x^2}{2}\right) + d\left(\frac{W_y^2}{2}\right) + d\left(\frac{W_z^2}{2}\right) = \frac{Rn}{n-1} dT_0. \quad (3.5)$$

Розглянемо осьовий поступальний рух газу від перетину АК до перетинів FE і CD. Досліджуємо процеси, які протікають в об'ємі. Визначимо степінь впливу цих процесів на взаємодію рухомого потоку і екрану. У досліджуваному об'ємі відбувається зміна параметрів газу, вектора швидкості. У найзагальнішому випадку весь процес течії газу можна умовно розділити на такі режими. На першому режимі руху газу від перетину АК до екрану відбувається зменшення складової вектора швидкості вздовж осі X. Якщо в перерізі АК вектор швидкості потоку переважно спрямований по осі X і становить $W \approx W_x$, $W_y \approx W_z \approx 0$, то поблизу екрану складова вектора швидкості вздовж осі X практично дорівнює нулю.

На другому режимі течії вектор швидкості W змінює напрямок на 90° . Відповідно до теореми про зміну кінетичної енергії рухомої матеріальної точки робота зовнішніх сил на пройдений шлях дорівнюватиме нулю. На підставі закону збереження енергії і рівняння (3.4) зміна $d\left(\frac{W^2}{2}\right)$ може відбуватися тільки за рахунок зміни $du + d\left(\frac{p}{\rho}\right)$, а за $du = 0$ – за рахунок зміни $d\left(\frac{p}{\rho}\right)$. На третьому режимі течії газу потік переважно рухається уздовж осі Y і в перетинах FE і CD вектор швидкості досягає величин $W \approx W_y \approx W_z$, $W_x \approx 0$. Зміну параметрів газу визначають відповідно до рівняння (3.5). Таким чином, за умови руху газу в контрольному об'ємі відбувається зміна швидкості потоку від $W \approx W_x$ до $W \approx W_y \approx W_z$. Залежно від параметрів газу в посудині і між посудиною і екраном кожен з розглянутих режимів течії може мати різний вплив на процес витікання газу з посудини. У початковий момент течії газу переважає перший режим течії. При завершенні процесу витікання газу з відсіку і вирівнюванні параметрів газу у відсіку і навколишньому просторі переважаючим є третій режим течії. Для інших випадків течії мають місце три режими течії газу.

Проведено випробування з вимірювання сили, з якою діє газ на екран 2 за умови виходу з відсіку через зазор. Силу \bar{R} визначали за допомогою динамометра 3. Передавання зусилля від екрану на динамометр проводили за допомогою тяг,

шарнірів і опор, що дало змогу проводити вимірювання сили безпосередньо. В цілому система з вимірювання зусилля на екран мала можливість переміщатися щодо відсіку. Поворотні вузли 4 і 5 забезпечували вільне обертання диску 2 в площині ХУ. Тяга від шарніра 4 до екрану 2 була жорстко закріплена в точці «о». В точках 6 и 7 тяги мали шарнірні опори. На вході до відсіку 1 вимірювали тиск і витрату газу за допомогою стандартного витратомірного пристрою. Надлишковий тиск газу в посудині вимірювали в діапазоні $P_1=(1,0\dots2,0)\times 10^5$ Па. Відносний зазор між відсіком і екраном становив $XТ=X/d_{оп}\approx(0\dots120)$ (X – відстань від відсіку до екрану, $d_{оп}$ – опорний розмір, наприклад, діаметр вихідного отвору). У початковому стані екран встановлювали відповідно до отвору у відсіку вздовж осі Х. За заданого тиску газу у відсіку 1 і встановленого зазору ХТ проводили вимірювання сили \vec{R} . Залежність \vec{R} від ХТ наведено на рис. А.16.

Збільшення тиску газу у відсіку призводить до збільшення силової дії газу на екран (рис. А.16). Унаслідок зменшення відстані від екрану до відсіку і збільшення тиску газу у відсіку відбувається збільшення силової дії газу на екран. Залежно від тиску газу у відсіку за $XТ\leq (8,67 \dots 10)$ має місце зміна характеру залежності \vec{R} від ХТ. Зменшення відстані до відсіку призводить до зменшення значення сили \vec{R} і за $XТ\approx (0,4 \dots 1,2)$ сила змінює знак (потік газу притягує екран до відсіку). За $XТ\approx 1,2$ становище екрана щодо відсіку нестійке, а за $XТ\approx 0,013$ потік газу утримує екран у вертикальному положенні.

Відносно невелика область зміни знаку сили \vec{R} призводить до від'ємної дії на конструкцію екрану. У процесі випробувань за надлишкового тиску у відсіку $P_1 = 2,0\times 10^5$ Па і $XТ\leq 10$ відбулася зміна характеру силової дії газу, і екран з оргскла завтовшки 5 мм було зруйновано (рис. А.16, крива 4). Цей факт свідчить про важливість зміни силової дії газу на конструкцію екрану. Подальше зменшення зазору ХТ може відбуватися лише тоді, коли до екрану докладено зовнішню силу в бік відсіку. Теоретично величина такої сили може досягати значення 53 Н за $P_1 = 2,0\times 10^5$ Па. Практично значення цієї сили істотно залежить від конструктивного виконання поверхонь CF відсіку і D_1E_1 екрану.

Аналіз процесів обтікання екрану свідчить, що під час обтікання потоком газу екран має рівноважний стан перпендикулярно осі X . Якщо встановити екран уздовж осі посудини перпендикулярно потоку, який набігає, а потім відхилити екран щодо осі X на кут не більше $(7-9)^{\circ}$, то екран повертається в початковий стан (перпендикулярно осі X). Повернення екрану в початковий стан має стійкий характер в області за $X_T > 40$.

3.2.1. Порівняльний аналіз рівнянь течії газу через зазор

Для встановлення закономірностей газодинамічних і аероакустичних процесів течії газу в зазорі було розроблено стенд, схему якого наведено на рис. А.1 – А.4, Структурну схему параметрів зазору наведено на рис. 3.1.

Силу дію газу на екран під час витікання газу з відсіку визначимо відповідно до робіт [20, 21, 24, 29, 85] і рівняння (3.4). Розрахунок сили лобового опору пластини проведемо відповідно до робіт [20, 21]. Коефіцієнт лобового опору визначимо відповідно до [43]. Порівняння сили лобового опору екрану відповідно до результатів розрахунку і експерименту (рис. А.17, крива 2) показує, що рівняння описує з достатньою для практики точністю силу дію газу на пластину в області $X_T > 60$. Зменшення відстані між екраном і відсіком призводить до взаємного впливу на параметри газу поблизу екрану і на виході з відсіку. За $X_T = 12$ різниця між результатами розрахунку і експерименту лобового опору екрану становить 61 %. З огляду на той факт, що розрахунок лобового опору проводять за швидкістю газу перед екраном в незбуреному потоці, то за $X_T < 60$ розрахунок сили лобового опору утруднений.

Відносно невеликі похибки результатів розрахунку отримано для моделі відповідно до роботи [29] за $X_T > 60$ (рис. А.17, крива 3). Різниця між експериментом і розрахунком становить до 13 %. Зменшення відстані між екраном і відсіком за $X_T < 60$ призводить до збільшення похибки результатів розрахунку і за $X_T = 12$ становить 84,3 %. Істотне розходження між результатами розрахунку і експерименту отримано за $X_T < 0,67$ (рис. А.18, крива 1 і 3). Якщо відповідно до

експерименту силова дія газу на екран у цій області зменшується, то відповідно до роботи [29] – збільшується. Таку розбіжність результатів можна пояснити відсутністю в досліджуваній моделі зміни кількості руху і дії статичного тиску на екран. Значну розбіжність між результатами розрахунку і експериментом отримано для моделі відповідно до роботи [24]. За максимальної відстані екрану від відсіку оцінки моделі мають завищені значення в 18,9 разу. В області малих відстаней ($X_T < 2$) модель практично не відображає основні закономірності силової дії газу на екран у порівнянні з експериментом. Розбіжність результатів розрахунку і експерименту можна пояснити тим, що досліджувана модель відображає параметри газу у відсіку і звужувального пристрою на виході з відсіку. Така модель практично не містить параметри екрану (наприклад, площу) і не розглядає взаємодію струменя газу на виході з відсіку з екраном. Модель описує силову дію газу на екран в області площі сопла і не враховує перепади тиску газу на екрані.

Параметри газу на виході з відсіку (масова витрата, швидкість) та перепад тиску газу на екрані враховує модель силової дії газу на екран відповідно до роботи [85]. За $X_T < 12$ (рис. А.17, рис. А.18) характер силової дії газу на екран в порівнянні з експериментом зберігається. Похибка розрахунку за $X_T = 0,01$ становить 51 %, а в закритому положенні 103 %. Аналогічні похибки розрахунку отримані і для рівняння (3.4) в закритому положенні. Розбіжність результатів розрахунку і експерименту можна пояснити наявністю щілини і витоку газу в зазорі між екраном і відсіком. Утворення щілини викликане недоліком виготовлення дотичних поверхонь екрану і відсіку. Під час проведення експерименту значення сили за $X_T = 0$ змінюється у великому діапазоні (до 100 %); виникали труднощі щодо її відтворення. Значення витоку газу через щілину і значення зовнішньої сили істотно залежить від технічного рівня виготовлення дотичних поверхонь і умов докладання до екрану зовнішньої сили.

За умови збільшення зазору більш ніж $X_T = 12$ похибка розрахунку зростає і досягає максимального значення за $X_T = 104$. Результати розрахунку відрізняються щодо експерименту в 11,4 разу. Така похибка розрахунку пояснюється тим, що перепад тиску газу на екрані визначають за статичним тиском у струмені біля

вихідного отвору відсіку, а не на поверхні екрану. Для малих зазорів статичний тиск у струмені біля вихідного отвору і статичний тиск газу на екрані з боку потоку практично не відрізняються, що дає змогу звести до мінімуму похибку розрахунку. Зі збільшенням зазору більш ніж $X_T = 12$ збільшується різниця між статичними тисками біля вихідного отвору і на екрані, що призводить до збільшення похибки розрахунку. Зазор між екраном і відсіком впливає на витрату газу з відсіку. Розрахунок витрати газу відповідно до формули Пуазейля [247, с. 7] у порівнянні з типовою методикою [184, 186] з вимірюванням параметрів газу на стандартному витратомірному пристрої має занижені значення у всій області досліджуваних зазорів. Похибка розрахунку відповідно до формули Пуазейля становила (95,2 ... 101) %. Для формули Торічеллі [211, с. 108] розбіжність між розрахунком і експериментом витрати газу в зазорі не перевищує 60 % .

З усіх розглянутих моделей мінімальне розходження між експериментом і розрахунком отримано для рівняння (3.4). Рівняння з достатньою точністю для практики описує силову дію газу на екран у всьому діапазоні досліджуваних зазорів, за винятком зазору за $X_T < 0,01$. У цій області на зазор має суттєвий вплив нерівномірність виготовлення поверхонь зазору. Розрахунок параметрів газу на виході з відсіку і перед екраном проведено відповідно до рівняння (3.5). Для рівняння (3.4) показник політропи становив: $n=1,15$ за $0,01 \leq X_T \leq 0,67$; $n=1,138$ за $0,67 < X_T \leq 2$; $n=1,129$ за $2 < X_T \leq 12$; $n=1,09$ за $12 < X_T \leq 104$. Дисперсія результатів розрахунку витрати змінювалася в діапазоні $(7,004 \times 10^{-7} \dots 5,58 \times 10^{-6})$ (м³/с)². Коефіцієнт множинної кореляції становив 0,89. Модель адекватно описує досліджуваний процес течії в зазорі.

Аналіз результатів числових досліджень моделі і експерименту свідчить, що силова дія газу на екран визначається шляхом інтегрування параметрів газу на екрані з двох боків. Силовa дія струменя газу на екран істотно залежить від режимів течії газу в зазорі між екраном і відсіком і в звужувальному пристрої на виході з відсіку. Степінь впливу кожного з режимів на силову дію газу на екран залежить від зазору між екраном і відсіком.

Узагальнюючи результати числових досліджень розглянутих моделей і експерименту під час витікання газу з відсіку через звужувальний пристрій на екран виділимо характерні режими течії газу.

1. Параметри газу на екрані визначають за параметрами газу перед екраном як для вільного струменя. Параметри вільного струменя визначають за параметрами газу на виході з відсіку.

2. Параметри газу на екрані визначають за параметрами течії газу на виході з відсіку і в зазорі між відсіком і екраном.

3. Параметри газу на екрані визначають за параметрами течії газу в зазорі. На виході з відсіку повний і статичний тиски рівні або незначно відрізняються. Витікання газу з відсіку відбувається як з відсіку великого об'єму. У результаті взаємодії газу з екраном утворюється сила, яка призводить до зменшення зазору між екраном і відсіком.

4. Параметри газу на екрані визначають за параметрами течії газу в зазорі за умови дії зовнішньої сили до екрану. Відбувається зменшення витрат газу з відсіку до гранично мінімального значення.

Конструктивні параметри відсіку, звужувального пристрою, екрану, величина відносної відстані, параметри газу у відсіку і в атмосфері впливають на силову дію газу на екран. Для проведених досліджень (рис. А.17) перша область течії газу має місце за $X_T > 60$, 2-я область – $2 < X_T < 60$, 3-тя область – $0,013 < X_T < 2$, 4-я область – $X_T < 0,013$.

3.2.2. Вплив конструктивних параметрів отвору на витрату газу і результати розрахунку параметрів газу у відсіку

Проведено дослідження щодо встановлення степеня впливу конструктивних параметрів на процеси витікання повітря з відсіку через різні дросельні пристрої відповідно до рис. Б.1 – Б.4. Покажимо особливості досліджуваних пристроїв та режими течії повітря.

Течія газу з відсіку істотно залежить від геометричних розмірів отвору. У роботах [25, 36, 40, 41] розглянуто вплив площі отвору, фаски на передній кромці отвору, товщини, гострої кромки. У процесі виготовлення відсіків літака виникають неточності виконання елементів конструкції. Усунути такі недоліки на етапах проектування, дослідного і серійного виготовлення відсіків, експлуатації практично неможливо. Степінь впливу таких параметрів на процеси течії газу недостатньо вивчені.

Проведемо аналіз впливу на витрату газу неточності виготовлення передньої кромки отвору на виході з відсіку [314]. Розглянемо витікання газу з відсіку через перегородку, в якій виконаний отвір діаметром d_y і завтовшки δ ($d_y / \delta = 1$). Для одного варіанта виконання отвір виготовлено з гострою передньою кромкою. Для другого варіанту – на передній кромці отвори виконано з рівномірним кроком по всьому периметру насічки (8 штук) з поглибленням 0,5 мм у вигляді клину під кутом 60° (рис. А. 4, фігура 8, фігура 9, дет. 1). Порівняльний аналіз цих варіантів свідчить, що за надлишкових тисків у відсіку перед звужувальним пристроєм у діапазоні $P_c = (4,903 \dots 19,61) \times 10^4$ Па витрата повітря через отвір з насічками на вхідній кромці збільшується в порівнянні з отвором з гострою кромкою на (13 ... 15) % (рис. А. 5), а для отвору з $d_y / \delta = 4$ за $P_c = (0,15 \dots 15) \times 10^5$ Па – на (15 ... 63) %. Прокідні площі порівнюваних варіантів були практично рівні. Зміна витрати повітря пояснюється наявністю пульсацій газу на передній кромці отвору і вплив їх на перетворення статичної та динамічної складової рухомого потоку. За наявності фаски на передній кромці отвору (рис. А. 4, фігура 10, дет. 1) отримані результати, аналогічні роботі Бикова Л. Т. [41, с. 3].

Для вихідного отвору з насічками на передній кромці рівняння (3.4) має показник політропи $n = 1,274$. Розбіжність між результатами розрахунку відповідно до рівняння (3.4) і типовою методикою [186] становить (4,2 ... 11,2) % (рис. А. 6). Математична модель відображає характер зміни параметрів газу і описує з достатньою для практики точністю витрату газу через отвір з насічками на передній кромці. Показник політропи для отвору з насічками на передній кромці відрізняється від показника політропи для отвору з гострою кромкою ($n = 1,187$)

відповідно до рівняння (3.4). Збільшення показника політропи пояснюється тим, що відбувається збільшення розсіювання енергії у наслідок зриву потоку на передній кромці отвору.

На витікання газу з відсіку впливають геометричні розміри вихідного отвору. Так, на виході з трубопроводу (рис. А.2, фігура 2, деталь 2) як звужувальний пристрій встановлено перегородку у вигляді щілини ($h_{щ}$) по всьому перетину трубопроводу без екрану. За надлишкового тиску $P_c = 0,5 \times 10^5$ Па перед звужувальним пристроєм збільшення зазору щілини в 4 рази відбувається збільшення витрати газу з відсіку у 3,6 разу (рис. А. 7). За $P_c = 1,0 \times 10^5$ Па зі збільшенням зазору щілини в 2,1 разу збільшується витрата газу в 1,96 разу. Для $h_{щ} = 2,5$ мм за інших рівних умов зменшення товщини стінки вихідного отвору з 12 мм до 1,5 мм (рис. А. 8) призводить до зменшення витрати газу в області низьких тисків на 9,1 %, а в області високих тисків – на 15,6 %. Для $h_{щ} = 10$ мм отримано зменшення витрат газу на (27 ... 29,2) %. За умови збільшення товщини перегородки вихідного отвору з 1,5 мм до 12 мм показник політропи зменшується з $n = 1,242$ до $n = 1,193$. Збільшення зазору щілини значно впливає в області низьких тисків газу на зміну температури газу і на значення показника політропи. Для підвищення точності розрахунку витрати газу в області низьких тисків необхідно підвищувати точність вимірювання температури газу на досліджуваному витратомірному пристрої.

На зміну витрати повітря з відсіку істотно впливає величина зазору між екраном і відсіком (А. 3, фігура 5), а також дросельний пристрій (рис. А. 1). Незважаючи на наявність дросельного пристрою за інших рівних умов відбувається збільшення витрати повітря на (98 ... 107) % (рис. А. 9, крива 1 і 2). За відсутності дросельного пристрою (рис. А. 3) збільшення зазору з $X_T = 0,053$ до $X_T = 0,21$ (Рис. Б. 9, криві 2 і 3) призводить до підвищення витрат газу з $G = 181$ кг / год ($P_c = 4,4 \times 10^4$ Па) до $G = 590$ кг/год ($P_c = 4,7 \times 10^4$ Па). Величина зазору впливає на швидкість зміни витрати газу унаслідок зміни тиску газу у відсіку. Максимальне збільшення витрат за тиском газу отримано для екрану з $X_T = 0,21$ ($dG/dP_c = 0,015$ (кг / с) / Па). Для екрану з $X_T = 0,053$ за збільшення тиску газу у відсіку відбувається відносно рівномірне збільшення витрати газу з $dG/dP_c = 0,0019$

(кг / с) / Па. За умови установки дросельного пристрою і екрана з зазором $X_T = 0,053$ маємо $dG/dP_c = 0,004$ (кг / с)/Па.

Силу дію газу на екран наведено на рис. А. 10. У роботі [5] під час обтікання диску запропоновано здійснювати розрахунок коефіцієнта гідравлічного опору за однією і тією самою формулою для екрану круглої і квадратної форми (рис. А.3, фігура 6, фігура 7). Проведені порівняльні випробування екранів з рівними площами свідчать, що за надмірного тиску газу у відсіку $P_c = 2,0 \times 10^5$ Па у всій області вимірюваних тисків газу та досліджених зазорах квадратний екран зазнає меншої силової дії газу в порівнянні з круглим екраном до 29,4 %. Таким чином, на силу дію газу на виході з відсіку впливає не тільки тиск газу у відсіку, але і форма екрану.

На витікання газу з відсіку впливає форма звужувального пристрою. Для визначення ступеня впливу звужувального пристрою на витікання газу з відсіку було проведено порівняльні випробування дросельного пристрою завтовшки 5 мм з отвором діаметром 20 мм з гострими кромками (рис. А. 2, фігура 4) і отвором з рваними краями по передній кромці (рваний отвір). Прокідні площі цих пристроїв (шайб) були рівні. На виході з відсіку з зазором було встановлено екран у вигляді камери (рис. А.4, фігура 11). Основні розміри такої камери наведено на рис. А. 13. У камері вимірювали РЗТ газу, який виходив з відсіку через звужувальний пристрій. У камері використовували тільки один отвір по осі діаметром 1,5 мм відповідно до розмітки рис. А. 4, фігура 11. Аналіз результатів досліджень свідчить, що в діапазоні надлишкових тисків газу на витратомірний пристрій $P_c = (0,15 \dots 1,5) \times 10^5$ Па витрата газу з відсіку практично не змінюється в діапазоні відносних зазорів $X_T = (15 \dots 90)$. За $P_c = 0,15 \times 10^5$ Па витрата газу з відсіку для рваного отвору становить 145,8 кг/год, а для круглого отвору – 127 кг/год. Для $P_c = 1,5 \times 10^5$ Па витрата газу з відсіку для рваного отвору становить 474 кг/год, а для круглого отвору – 290 кг/год. Таким чином, установка рваного отвору в порівнянні з отвором з гострими кромками призводить до збільшення витрати газу з відсіку в області низьких тисків на 14 %, а в області високих тисків – на 77 %. Форма звужувального пристрою в залежності від тиску газу у відсіку і величини зазору має різний вплив на рівень

шуму рухомого потоку (рис. А. 12). За умови течії газу з відсіку через рваний отвір в області низьких тисків з $P_c = 0,15 \times 10^5$ Па відбувається збільшення сумарного рівня звукового тиску (СРЗТ) в порівнянні з круглим отвором на (0,6 ... 1,2) дБ. Для круглого отвору перевищення рівня шуму на 1,2 дБ отримано тільки за $X_T = 30$. Збільшення тиску газу у відсіку призводить до підвищення рівнів шуму у всій області досліджуваних зазорів. Для рваного отвору в порівнянні з круглим отвором отримано перевищення рівнів шуму на (2,9 ... 7,2) дБ. В області високих тисків у разі зменшення зазору від $X_T = 90$ відбувається збільшення РЗТ і за $X_T = 60$ досягає максимального значення $L_{\text{СУМ}} = 121,5$ дБ.

У процесі досліджень було встановлено, що для реального отвору існує відхилення від заданих параметрів. Для реального отвору відхилення за діаметром і передньою кромкою наведено на рис. А. 14. Відхилення круглого отвору від заданих параметрів призводить до зміни площі отвору до 36 %, а отже, і до спотворення результатів розрахунку і експерименту. Розбіжність між площею круглого отвору і отвором у вигляді щілини досягає 30,4 %. Для оцінювання впливу цих відхилень на зміну параметрів повітря було проведено дослідження параметрів течії повітря з відсіку в зазорі (рис. А.4, фігура 8) з використання тепловізора FLIR T-400. Екран було виконано з оргскла завтовшки 5 мм. Виміри було здійснено з зовнішнього боку екрану (рис. А.15). Різниця вимірюваних температур повітря отримана (2,7 ... 5,7) °С. Отже, неточність виготовлення отвору призводить до зміни температури повітря, що виходить з відсіку по периметру отвору в зазорі між відсіком і екраном.

Відповідно до моделі (4.3) проведені числові дослідження течії газу з відсіку з початковим тиском газу у відсіку $P_0 = 1,157 \times 10^5$ Па, $X_T = 0,4$ (Рис. А.11). Визначено область від'ємної дії газу на екран в області відносних радіусів $h \approx (10,4 \dots 47,5)$. Мінімальне значення тиску газу в цій області становить $P = -2,328 \times 10^3$ Па. Отримані результати числового аналізу показують, що є від'ємна область, яка має притягальну до відсіку дію газу на екран. Аналогічні результати підтверджують і експериментальні дослідження відповідно до рис. А.16. Отримано негативний вплив газу на екран при зміні надлишкового тиску газу в відсіку в діапазоні $P_1 = (0,5 \dots 2,0) \times 10^5$ Па.