

Ю. Н. Убайдуллаєв¹

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕБІГУ НЕСТИСЛОВОЇ ГАЗОВОЇ СУМІШІ В СИСТЕМАХ ГЕРМЕТИЗАЦІЇ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ ФОРТИФІКАЦІЙНИХ СПОРУД ПРИ ВЕЛИКИХ ПРИВЕДЕНИХ ШВИДКОСТЯХ

¹Національний університет оборони України ім. Івана Черняховського

Анотація

Отримана модель процесу адіабатичної течії та розрахунки параметрів газового потоку на довільній точці в системах герметизації та вентиляції фортифікаційних споруд, тріщинах і торцевих ущільненнях залізобетонних конструкцій вказує, що величину ефекту стиснення необхідно враховувати при точних розрахунках для великих наведених швидкостей адіабатичної течії

Ключові слова: адіабатична течія; газовий потік; залізобетонна конструкція

Abstract

The resulting model of adiabatic flow calculations and gas flow parameters at any point in sealing and ventilation systems fortifications, mechanical seal cracks and concrete structures indicates that the magnitude of the effect of compression must be considered when calculating accurate for large adiabatic flow velocities above

Keywords: adiabatic flow; gas flow; reinforced concrete structure

Стрімкий розвиток підземної складової інфраструктури створює передумови її активного використання у збройній боротьбі. Відповідно, розвиваються і засоби знищення особового складу та техніки, що знаходяться в середині військових фортифікаційних споруд (ВФС). Як відомо, дія високоточних бетонобійних тандемних боєприпасів, що мають властивості об'ємного вибуху, характеризуються не тільки навантаженням захисних конструкцій, а й зміною стану газоповітряного середовища у внутрішньому об'ємі споруд і формуванням газових зарядів, які при визначених умовах вибухають, досягаючи максимального руйнівного ефекту. В якості палива в таких боєприпасах можуть використовуватись етиленоксид, суміш газів (метил ацетилен, пропадиен, протилен Н-пропилонитрат), пропиленоксид. Їх принцип дії наступний – під час вибуху центрального заряду руйнується корпус снаряду, бомби та паливо розпилюється у повітрі зі створення хмари та мілко дисперсної паливно-повітряної суміші, яка підривається за допомогою детонаторів після деякої

затримки, що забезпечує необхідний час для перемішування палива з повітрям.

Для такого широко поширеного в технічних пристроях, техніці і фортифікаційних споруд, яким є пристрій "сопло – заслінка", дотепер, не дивлячись на численні дослідження, не існує надійної залежності, що визначає параметри газового потоку при великих приведених швидкостях, яка змінює стан газового середовища у внутрішньому об'ємі споруд і формуванням газових зарядів. Таке положення пояснюється значними труднощами, що виникають при рішенні системи рівнянь, що описують процес перебігу газу з великими швидкостями. Рішенням цієї задачі займалися багато авторів, проте, залежності, що приводяться ними придатні тільки для невисоких швидкостей. Спроби застосування цих залежностей для розрахунку параметрів паливно-газового потоку, що витікає з великою швидкістю, приводять до великих розбіжностей між розрахунковими і дійсними характеристиками.

Дві особливості задачі про вражаючі фактори об'ємного вибуху не дозволяють скористатись цим методом з тим же успіхом, який до цього він забезпечив відносно до задачі вибуху. Перша особливість полягає в тому, що течія залежить від двох просторових перемінних, і таким чином, навіть при умові виконання подібності воно описується системою диференціальних рівнянь з частковими похідними. Друга особливість пов'язана з тим, що інтенсивність ударних хвиль, які виникли при ударі, звичайно буває надто малою, щоб задовольнити припущення про подібність.

Метою роботи є побудова математичної моделі процесу адіабатичної течії газового потоку при великих приведених швидкостях у довільній точці в системах герметизації та вентиляції, екранів-відбивачів фортифікаційних споруд, тріщинах і торцевих ущільненнях (умовно – "каналах") залізобетонних конструкцій.

Рішення системи рівнянь, що включає рівняння руху, нерозривності та збереження енергії повністю визначає процес течії і дає можливість розрахувати параметри паливно-газового потоку в будь-якій точці каналу, якщо відомі граничні умови. Вирішити систему рівнянь в даному вигляді не уявляється можливим, тому доцільно піти шляхом спрощення початкових рівнянь.

Розглянемо адіабатичний перебіг в'язкого спалюваного газу в плоскому радіальному каналі при ламінарному режимі.

Система рівнянь, що описують процес течії, включає наступні рівняння:

- рівняння руху;
- рівняння нерозривності;
- рівняння збереження енергії;

які містять величини: \vec{w} - вектор швидкості; p і ρ - тиск і густина газу; p_0 і ρ_0 - тиск і густина газу при температурі гальмування; μ - коефіцієнт динамічної в'язкості; ∇^2 - оператор Лапласа; χ - показник адиабати; $\lambda = \frac{w}{a^*}$ - приведена швидкість потоку газу; a^* - критична швидкість звуку.

Вирішити систему рівнянь в даному вигляді не уявляється можливим, тому доцільно піти шляхом спрощення початкових рівнянь.

Якщо розглядати сталий рух газової суміші в каналі, у якого $h \leq r_2 - r_1$, то можна істотно спростити початкові рівняння за рахунок виключення членів старшого порядку малості.

Рівняння (1), в проєкціях на осі циліндричної системи координат матиме вигляд:

$$\begin{cases} w_r = \frac{\partial w_r}{\partial r} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 w_r}{\partial z^2}, \\ \frac{\partial p}{\partial z} = 0; \end{cases} \quad (1)$$

- для рівняння нерозривності;

$$\frac{\partial}{\partial r} (p w_r) - \frac{p w_r}{r} = 0 \quad (2)$$

Граничні умови для системи рівнянь (4) - (5) будуть:

$$\begin{cases} w_r = 0 \quad \text{при } z = \pm 0,5h, \\ \frac{\partial w_r}{\partial r} = 0 \quad \text{при } z = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Щоб задовольнити умову, введемо в розгляд усереднену по висоті каналу швидкість потоку:

$$v = \frac{1}{h} \int_{-0,5h}^{0,5h} w_r(z) dz = \frac{Q}{2\pi h \rho}, \quad (4)$$

де Q - масова витрата через канал.

Рішення системи рівнянь (1-3) можна шукати у вигляді різної залежності: $p = p(r)$, $\rho = \rho(r)$ або $v = v(r)$.

З урахуванням вищенаведених формул та співвідношень отримаємо вираз

$$\left[1 - \frac{0,25}{\chi} \cdot \left(\frac{Q}{\pi h} \right)^2 \cdot \frac{gRT_0}{p_0^2} \cdot \frac{11}{\beta \chi r^2} \right] \beta^{\frac{1}{\chi}} \cdot d\beta = -6 \frac{\mu}{h^2} \cdot \frac{gRT_0}{p_0^2} \cdot \frac{Q}{\pi h} \cdot \frac{dr}{r} + 0,25 \cdot \frac{gRT_0}{p_0^2} \left(\frac{Q}{\pi h} \right)^2 \frac{dr}{r^3}, \quad (5)$$

де R - універсальна рідинна постійна; g - прискорення вільного падіння; T_0 - температура гальмування.

Якщо інтегрувати вираз (5) при граничній умові $(\beta)_{r=r_2} = \beta_2$, отримаємо рішення задачі.

Розкидання результатів чисельного рішення (близько $\pm 10\%$) по 60 дослідам і рівнянню не перевищує сумарної похибки, зумовленої похибками вимірювань тиску, витрат, температури і геометричних розмірів каналу. При цьому коефіцієнт опору збільшується зі збільшенням швидкості λ , це збільшення пояснюється тією обставиною, що рівняння (5) не враховує впливу стиснення газової суміші за рахунок швидкості.

Отримана модель процесу адіабатичної течії та розрахунки параметрів газового потоку на довільній точці в системах герметизації та вентиляції фортифікаційних споруд, тріщинах і торцевих ущільненнях залізобетонних конструкцій вказує, що величину ефекту стиснення необхідно враховувати при точних розрахунках для великих наведених швидкостей адіабатичної течії.

Убайдуллаєв Юсуфжон Нуруллаєвич, кандидат технічних наук, професор, професор кафедри військово-технічної та військово-спеціальної підготовки Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського, м. Київ

Ubidullaev Yusuphgon, Ph. D., professor, professor at the department of military-technical and military-special preparation of the National Defense University of Ukraine named by Ivan Chernyakhovskiy, Kyiv