

УДК 621.694.2

Юрченко Н.Ф. к.т.н., Виноградський П.М. к.т.н., Королева А. к.т.н., Парамонов Ю.А. інж., Цимбал В.С. інж.

Інститут гідромеханіки, Національна Академія Наук України, Київ, Україна

Характеризація ефективності імпульсного ежектора за основними параметрами течії

Анотація: Розробка надзвукового імпульсного ежектора виконується за умови задоволення технічним вимогам, сформульованим для наповнення автомобільної подушки безпеки водія: 50-літровий об'єм за 30 мс з коефіцієнтом ежекції/аспірації, $A \geq 4$. Ефективність роботи ежектора визначається з одного боку його відповідністю інженерним вимогам, а з іншого - за основними передумовами їх досягнення у формі розвитку оптимальної структури складної течії всередині ежектора. У зв'язку з цим, в Лабораторії Сучасної Аеродинаміки ІГМ НАНУ експериментально досліджені основні характеристики течії та їхній вплив на виконання технічного завдання. Коефіцієнт ежекції $A = 3,1 - 2,1$, який був досягнутий на пневмостенді з використанням "холодного газу", повинен забезпечити $A \approx 4$ при роботі зі струменем гарячого газу, що ежектуються джерелом високого тиску у вигляді піропатрону. Проаналізовано відповідність значень коефіцієнта ежекції поведінці струменя при роботі ежектора, отриманого за результатами вимірювання полів тиску, а також величинам імпульсу і частотним характеристикам, розрахованим за експериментальними даними.

Ключові слова: "надзвуковий імпульсний ежектор"; "експериментальні дослідження"; "характеристики течії"; "аналіз ефективності".

Безпеці водія і пасажирів автомобілів надається чим далі більшого значення. Ключову роль в цьому відіграють подушки безпеки, що надуваються за допомогою піротехнічних пристроїв, які забезпечують їхнє наповнення за якомога менший час. Кількість подушок в автомобілях та їхній об'єм з весь час зростають, а з появою автомобілів без водія, де пасажирів зможуть розміщуватися довільно відносно напрямку руху, подушки безпеки в надутому стані будуть займати ще більшу частину внутрішнього об'єму авто. При надуванні подушки безпеки піротехнічними пристроями тиск в салоні суттєво зростає, що може призвести у пасажирів до вторинних травм, не пов'язаних з аварією. Тому надування подушок безпеки з використанням частини повітря з салону робить цю процедуру менш травматичною. Досягнення цього за допомогою аспірації (ежектора) прийнятних розмірів можливе тільки якщо струмінь мотивуючого газу є надзвуковим [1, 2]. Метою є розробка імпульсного аспірації, що забезпечує наповнення 50-літрової подушки безпеки водія протягом 30 мс. Результатом спільної роботи чисельної та експериментальної груп дослідників стало декілька розроблених та випробуваних конструкцій аспірації, в яких

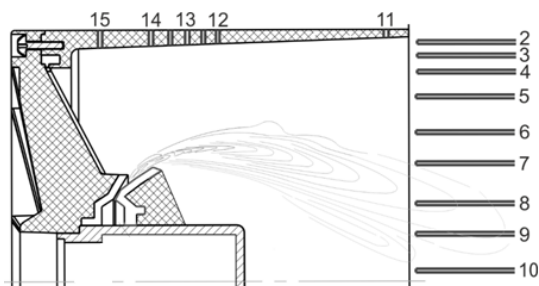


Рис. 1. Положення в аспірації датчиків повного (#2-10) і статичного тиску (#11-15)

реалізується принцип осесиметричної течії Прандтля-Майєра. Для виконання експериментальної частини роботи була створена установка [3—6], в якій замість піротехнічних пристроїв застосовується стиснене повітря.

В доповіді розглядаються тільки осесиметричні аспірації з внутрішньо розташованою окружною щілиною/соплом (Рис. 1). Конструкція включає такі основні компоненти: передкамеру з газогенераторними отворами щільове сопло з гострими кромками різних кутів; змішувальну камеру, де здійснюється формування швидкісного струменя, здатного забезпечити ефективне захоплення навколишнього повітря в подушку безпеки.

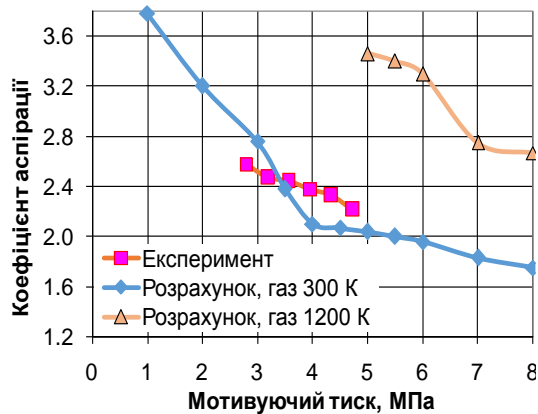


Рис. 2. Експериментальні та обчислені значення коефіцієнта аспірації

Експерименти показали, що найкращі результати досягалися на щілині 350 мкм при мотивуючому тиску в діапазоні 3,5 - 4,0 МПа. На Рис. 2 показані залежності коефіцієнтів аспірації від мотивуючого тиску для названих умов. Експериментальні дані порівнюються з двома серіями розрахункових результатів для початкових температур повітря - 300 К (як в експерименті) та 1200 К, що імітує наповнення подушки з ініціацією мотивуючого струменя від піропатрона. Як видно з графіків, узгодження експериментальних та розрахункових даних задовільне. Це підтверджує достовірність розрахункового методу і дозволяє очікувати значення $A \approx 4$ при роботі зі струменем гарячого газу.

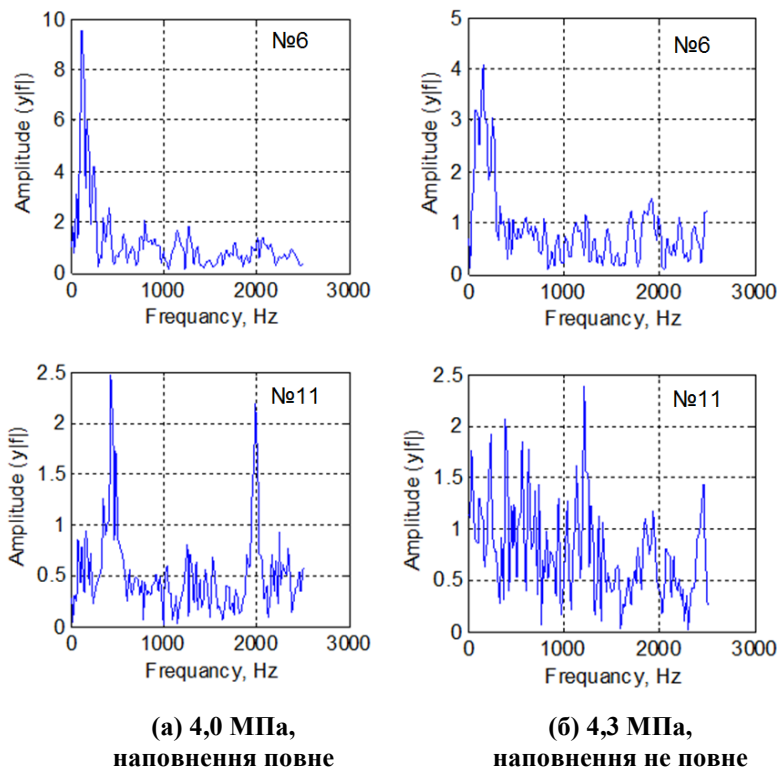


Рис. 3. Частотні характеристики моделі ежектора по датчикам № 6 та № 11 в залежності від тиску

Сигнали всіх датчиків тиску, і статичного і динамічного, суттєво нестационарні. Їхні частотні характеристики можуть до певної міри характеризувати режим течії в змішувальній камері. Визначення частоти і амплітуди сигналу реалізовано на основі методу (або виконувалось з використанням обчислювального алгоритму) швидкого перетворення Фур'є (FFT), вбудованому в програмний комплекс (або систему) MATLAB. Спектр розраховується з масиву даних, що відповідають відліку сигналу в часовому полі, отриманих в ході експерименту. Для прикладу на Рис. 3 наведено два фрагменти частотних характеристик датчика повного напору №6 на радіусі 25 мм та датчика статичного

тиску №11 на віддалі 10 мм від вихода з інфлятора. Видно, що при тиску 4,0 МПа на датчику №6 домінуюча частота становить приблизно 150 Гц з амплітудою близько 10 кПа. На датчику №11 присутні дві частоти - 400 та 2000 Гц з невеликим рівнем шумів. При тиску 4,3 МПа датчик №6 демонструє деяке підвищення частоти та суттєве зменшення амплітуди. На датчику №11 рівень шумів настільки зростає, що виділити якусь певну частоту не представляється можливим.

Ще одною, інтегральною, характеристикою інфлятора є імпульс сили газу, що проходить через інфлятор за час наповнення подушки безпеки. Імпульс сили - це добуток сили на час її дії:

$$N = F \cdot t. \quad (1)$$

В експерименті вимірюються миттєві значення швидкісних напорів на виході з інфлятора. В осесиметричній течії кожен з 9 приймачів вимірює середнє по певному кільцю значення тиску. Сила дорівнює виміряному тиску, помноженому на площу кільця, до якого він прикладений. Чисельне інтегрування по площі з використанням інтерполяції між виміряними даними дає елементарний імпульс сили за один цикл опитування датчиків.

$$\Delta N = \sum_s (P_i \cdot \Delta s_i) \cdot \Delta t, \quad (2)$$

де ΔN - елементарний імпульс, P_i - інтерпольоване значення тиску для певного радіуса, $\Delta s_i = \pi \cdot (R_{i+1} - R_i)^2$ - площа кільця, на яке діє тиск ΔP_i , $\Delta t = 0,0002$ с - час опитування датчиків. Повний імпульс за час процесу:

$$N = \sum_{t=0}^{30\text{мс}} \Delta N. \quad (3)$$

Результати обчислення імпульсу для для аналізованого аспіраатора представлені на Рис. 4. Оскільки під час експериментів спостерігалися незначні відхилення часу відкриття швидкісного клапану, всі дані приведені до часу 30 мс. Позначення графіків відповідають ширині щілини в мікрометрах.

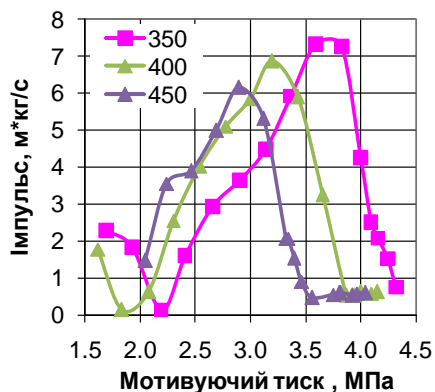


Рис. 4. Імпульс сили за 30 мс за експериментальними даними для трьох значень ширини щілинного сопла ежектора

Як видно з графіків, найбільший імпульс реалізується для ежектора при щілині 350 мкм в діапазоні значень мотивуючого тиску 3,6 - 3,8 МПа, що гарно корелює з отриманими значеннями коефіцієнта аспірації (Рис. 2). Крім того, різке падіння величини імпульсу при зростанні тиску понад 4 МПа може бути пояснене, зокрема, перерозподілом енергії на користь високочастотних «шумових» складових відповідно до результатів, представлених на Рис. 3. При збільшенні ширини щілини в даній конструкції падає як максимальний імпульс, так і тиск, при якому він реалізується, що узгоджується з раніше наведеними даними.

Ежектори інших досліджених конструкцій характеризуються меншими величинами імпульса.

Вони незначно ростуть при збільшенні ширини

щілини, але тиски, при яких вони реалізується, не забезпечують наповнення подушки, що підтверджується швидкісною відеозйомкою наповнення подушки.

Наведені результати дозволяють зробити наступні висновки:

- створений експериментальний комплекс дозволяє адекватно досліджувати процеси наповнення подушки безпеки автомобіля холодним повітрям, що імітує використання піротехнічних засобів; при цьому експеримент стає значно безпечнішим і дешевшим, а також дає можливість оптимізації конструкції ежектора разом з його робочим тиском за рахунок ступеневого варіювання останнім;

- дана постановка експерименту виявила найкраще поєднання конструкції інфлятора, ширини щілини/сопла та тиску, при яких досягається найбільша ефективність наповнення подушки безпеки;
- фізичні характеристики течії, розраховані на основі вимірювання полів тиску, пояснюють ефективність ежекції, отриману при певних лінійних і кутових параметрах конструкції ежектора та діапазоні його робочого тиску;
- експериментальні дані добре узгоджуються з розрахунковими як по наповненню подушки безпеки, по коефіцієнту аспірації, так і по частотним характеристикам [3].

Автори висловлюють подяку д-ру Д. Брідю (АТІ, Міжнародні Автомобільні Технології, США) за ідею та матеріальну підтримку досліджень, а також групі чисельного моделювання під керівництвом чл.-кор. НАНУ, проф. Г. Воропаєва (Інститут гідромеханіки НАНУ).

Список літератури

1. Г.Н. Абрамович, Прикладная газовая динамика, Издательство "Наука", Главная редакция физико-математической литературы, Москва, 1969, 824 с.
2. Е.Я.Соколов, Н.М.Зингер, Струйные аппараты, 3-е издание переработанное, Москва Энергоатомиздат 1989.
3. Kuzmenko, K., Yurchenko, N., Vynogradskyy, P., Paramonov, Y. Optimization of ejector design and operation. EPJ Web of Conferences Volume 114, 2016, 02063-p.1-4.
4. Кузьменко К.М., Юрченко Н.Ф., Виноградський П.М., Парамонов Ю.А. Робочі характеристики надзвукового ежектора в залежності від тиску. // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: туди ХХІV міжнародної наук.-техн.конф., 19-22.06..2018 р. : тези доповіді.— К. 2018. — С.
5. D. Breed, S. Zhang, N. Yurchenko, G. Voropaiev, Development of an aspirated inflator for preventing out-of-position occupant injuries. Proc. 14th Int. Symp. on Sophisticated Car Safety Systems, Mannheim, Germany, 2018, 17 pp.
6. David Breed, Nina Yurchenko, Pavlo Vynogradskyy, Konstantin Kuzmenko, Yuriy Paramonov, Andriy Koshil. The Analysis and Experimental Development of Aspirated Airbags for Conventional and Autonomous Vehicles. Proc. 26th Int. Technical Conf. on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) Eindhoven, Netherlands, June 10-13, 2019, Paper # 19-0025, pp. 122-131.