

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ ЧОТИРИТАКТНОГО ДВИГУНА ШЛЯХОМ ПОЛІПШЕННЯ ГАЗООБМІНУ В ЦИЛІНДРАХ

Кучава О.О., к.т.н., доц., Дюндик С.М., к.т.н., доц.

Академія внутрішніх військ МВС України

Розглядається спосіб зниження тиску газів у випускній трубі при газообміні з використанням метода ежекції газів. За допомогою ежектора з випускної труби частина відпрацьованих газів відсмоктується й направляється в дифузор, де потік гальмується з підвищенням тиску до величини тиску в глушнику. Запровадження даного способу дозволить поліпшити газообмін в циліндрах двигуна, знизити тиск залишкових газів, забезпечити краще наповнення циліндрів, а отже сприяти підвищенню ефективних показників двигуна.

Постановка проблеми. Процес газообміну в двигуні, головним чином, залежить від співвідношення параметрів газів у циліндрі та випускній трубі в процесі їхнього витікання. На початковій стадії випуску тиск газів у циліндрі є надкритичним, тому швидкість їх витікання дорівнює місцевій швидкості звуку. При наближенні поршня до НМТ витікання газів переходить у докритичний режим і далі гази виштовхуються поршнем.

На цій ділянці газообміну протитиск газів у випускній трубі спричиняє підвищення тиску залишкових газів у циліндрі, що призводить до їхнього збільшення й затримки початку наповнення циліндра свіжою сумішшю, а отже зниженню ефективних показників двигуна. Так для серійного двигуна ГАЗ-49Б (БТР-70) коефіцієнт наповнення циліндрів не перевищує $\eta_v \leq 0,76$. Окрім того, на виштовхування газів витрачається механічна робота, що знижує механічний к.к.д. двигуна.

Для зменшення негативного впливу зазначених явищ на газообмін необхідно знизити тиск газів у випускній трубі без зниження тиску газів у глушнику. Остання умова пов'язана зі зниженням аеродинамічного шуму випуску й роботою нейтралізатора відпрацьованих газів (ВГ).

Отже, рішення проблеми полягає в зниженні протитиску витіканню газів із циліндра у випускную трубу без зниження тиску газів у глушнику.

Аналіз досліджень і публікацій. Пошук рішення проблеми використання енергії ВГ вченими й фахівцями триває вже багато десятиліть (з 40-х років минулого століття). Однак актуальність рішення цієї проблеми зберігається й дотепер. Серед відомих способів і методів використання енергії ВГ виділяються наступні [1-4]: газотурбінне та динамічне наддування; ежекційні насадки на випускні труби; використання енергії хвиль тиску у випускній трубі та інші. Всі вони мають певні переваги й деякі недоліки. Так, газотурбінне наддування мало ефективно на режимах холостого ходу, на режимах середніх і номінальних навантажень сприяє підвищенню температурного режиму двигуна. Динамічне

наддування відрізняється простотою конструкції, але застосовується в досить вузькому діапазоні частоти обертання колінчастого валу. Відомі способи поліпшення процесу газообміну ежекцією ВГ мають досить складні й громіздкі пристрої, тому широкого застосування не знайшли.

Мета статті. З урахуванням виконаного аналізу метою статті є підвищення ефективних показників чотиритактного двигуна шляхом удосконалення газообміну в циліндрах з розробкою насадки на випускную трубу з одночасним виконанням функцій ежектора і струминного компресора.

Виклад основного матеріалу. За допомогою ежектора з випускної труби частина ВГ відсмоктується й направляється в дифузор, де потік гальмується з підвищенням тиску до величини тиску в глушнику.

Розміщення ежекторної насадки на випускній трубі зображено на рис. 1.

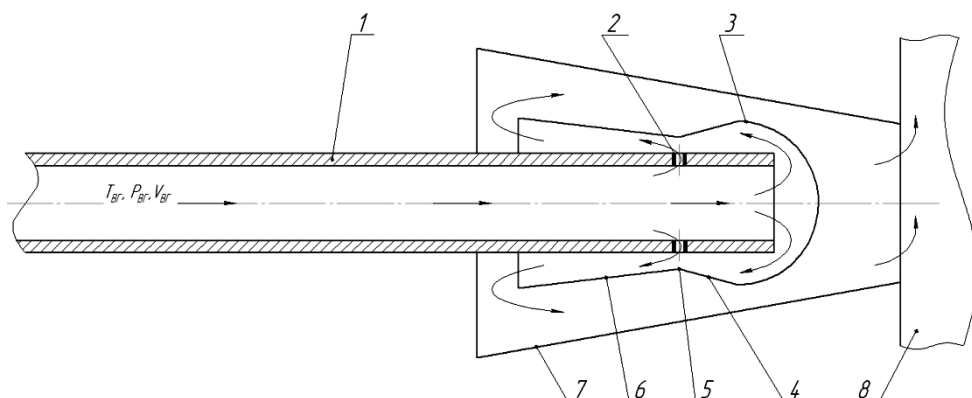


Рис. 1 – Ежекторна насадка на випускній трубі

ВГ із випускної труби 1 витікають у глухий насадок 3, де відбувається їхнє гальмування. Загальмовані гази витікають через конфузур 4 з наступним розширенням в дифузорі 6, після чого вони потрапляють в порожнину, обмежену кожухом 7, а з неї до глушника 8. У найвужчому перетині ежектора на випускній трубі зроблені бічні отвори 2, через які частина газу з основного потоку відсмоктуються в дифузор, де змішується з основним потоком і гальмується в дифузорі 6. Тиск газів при гальмуванні підвищується. Довжина дифузора повинна бути такою, щоб тиск на виході з нього був більше тиску в глушнику.

Характерним для даного процесу газообміну є надлишковий тиск газів у циліндрі під час відкриття впускного клапана, що призводить до затримки початку надходження свіжого заряду в циліндр, до того моменту, поки гази в ньому не розширяться до атмосферного тиску. Наприклад, для двигуна ГАЗ-49-Б (БТР-70) коефіцієнт наповнення циліндра $\eta_v \leq 0,76$, а літрова потужність складає лише $N_e \approx 20$ кВт/л. Настільки низька питома потужність зумовлена високим коефіцієнтом залишкових газів (більш ніж 8 %), порівняно високим тиском (1,2 бар) і млявим процесом газообміну. Як наслідок – низький коефіцієнт наповнення циліндрів ($\eta_v < 0,76$) й невисока номінальна частота обертів колінчастого валу ($n = 4000$ хв⁻¹).

Відомо [5], якщо на шляху руху хвилі газів є різке зниження тиску, то хвиля відбивається від цієї області, як хвиля розрідження, й поширюється вздовж потоку в напрямку протилежному витіканню газів. Вздовж сопла (труби) встановиться новий розподіл тисків і швидкість витікання зросте. Хвиля розрідження буде поширюватись зі швидкістю $a - W$, де a – швидкість звуку в потоці газу, W – швидкість витікання газу.

У разі надкритичного витікання газів із циліндра швидкість W залишається постійною й дорівнює швидкості звуку $W = a$, тобто W не збільшується, незважаючи на те, що тиск газів за випускним клапаном знизився. Однак зниження тиску в трубці за випускним клапаном призводить до збільшення тривалості вільного надкритичного випуску, тим самим прискорюється газообмін і знижується тривалість примусового випуску. Зауважимо, що змінюються також умови й для примусового випуску газів із циліндра. А саме: зниження протитиску в трубці сприяє підвищенню швидкості випуску ВГ, зниженню залишкових газів у циліндрі, прискоренню процесу впуску. Зазначене дозволяє стверджувати про покращення процесу наповнення циліндра свіжим зарядом.

Для створення зони зниженого тиску наприкінці випускної труби нами пропонується організувати ежекцію газів із цієї зони. В пристрої (див. рис. 1) для цього передбачено насадку 3, що працює разом з отворами 2 у випускній трубці 1.

Кількість і діаметр отворів визначається геометрично, виходячи з діаметра випускної труби. Наприклад, для випускної труби $\varnothing 30$ мм на її поверхні можна виконати 8 отворів $\varnothing 8$ мм з проміжками між ними 4 мм.

Скористаємось термодинамічним методом [5] для визначення основних параметрів газу в циліндрі та випускній трубці.

Швидкість витікання газів в разі вільного випуску визначимо за формулою, м/с:

$$W_{кр} = a = \sqrt{kRT}, \quad (1)$$

де k – показник адіабати повітря;
 R – стала газова універсальна, Дж/(моль · К);
 T – абсолютна температура повітря, К.

Докритичну швидкість потоку в разі примусового випуску розрахуємо за формулою, м/с:

$$W_d = \varphi \sqrt{2 \frac{k}{k-1} P_1 V_1 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}, \quad (2)$$

де P_1 – тиск газів у циліндрі двигуна, бар;
 P_2 – тиск газів у випускній трубці, бар;

V_1 – об’єм газів у циліндрі двигуна, м³;

φ – коефіцієнт втрат швидкості під час витоку газів із циліндра двигуна.

Коефіцієнт φ втрат швидкості під час витоку газів із циліндра, розрахуємо за формулою:

$$\varphi = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \quad (3)$$

Розрахунок ежекторної насадки починається з визначення швидкості газів у випускній трубі. Необхідно визначити витрату газів через випускний клапан. Для цього скористаємося діаграмою зміни тиску газів у циліндрі й випускній трубі (рис. 2).

На рис. 2 наведені хвостова частина індикаторної діаграми та діаграма зміни тиску у випускній трубі [2].

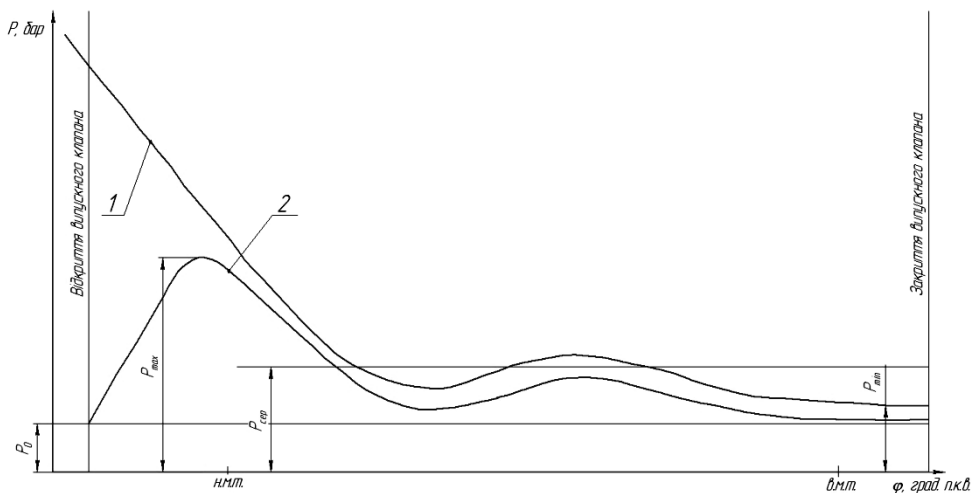


Рис. 2 – Діаграма процесу випуску без ежекторної насадки: 1 – крива зміни тиску в циліндрі; 2 – крива зміни тиску у випускній трубі

Перш за все варто встановити тривалість вільного випуску із циліндра за кутом повороту колінчатого вала. Визначається це критичним відношенням тисків в циліндрі й випускній трубі $\beta_{кр} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)_{кр}$.

$$\beta_{кр} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)_{кр}$$

Критичне відношення тисків в циліндрі й випускній трубі можна визначити за формулою:

$$\beta_{кр} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (4)$$

Для випускних газів $\beta_{кр} \approx 0,528$.

Якщо, наприклад, середній тиск у випускній трубі $P_2=1,4$ бар, то критичний тиск у циліндрі складе $P_1 = \frac{P_2}{\beta_{кр}} = 2,65$ бар. Подальше витікання газів відбуватиметься з докритичною швидкістю (2).

Швидкість поширення хвилі тиску вздовж труби можна визначити з виразу $W_{тиску} = a + W_d$, а швидкість хвилі розрідження – $W_{розр} = a - W_d$. Довжина випускної труби вибирається за умови надходження хвилі розрідження до випускного клапана до закінчення періоду вільного випуску газів, тобто $l \leq 2a\tau$, де τ – час вільного випуску.

Розрахунок ежекторної насадки зводиться до визначення мінімального зазору 5 (див. рис.1) між поверхнею труби 1 і кінця конфузора 6. Для цього тиск газів у мінімальному перетині ежектора доцільно прийняти близьким до атмосферного $\sim P_2 = 1,02$ бар.

Площу перетину бічних отворів визначимо зі співвідношення, м²:

$$F_{б.о.} = \frac{G_{б.о.} \cdot V_1}{W_{б.о.} (P_2/P_1)^{k-1}}, \quad (5)$$

де $G_{б.о.}$ – масова витрата ВГ через бічні отвори у випускній трубі, г/год;

$W_{б.о.}$ – швидкість витікання ВГ через бічні отвори у випускній трубі, м/с;

V_1 – питомий об'єм ВГ у випускній трубі, м³/кг.

Розрахунок параметрів гальмування показав, що тиск і температура загальмованого потоку лишаються незмінними й практично на процес ежекції в цьому випадку не впливають. Тому гальмуванням газів в ежекторі можна знехтувати.

Висновки

Розрахунок, проведений на прикладі двигуна ГАЗ-49Б (БТР-70) показав наступні результати:

- витрата ВГ через випускную трубу збільшується на 12...13 %;
- тиск у циліндрі наприкінці випуску знижується майже до атмосферного;
- коефіцієнт залишкових газів знижується з 0,08 до 0,03;
- коефіцієнт наповнення циліндрів підвищується на 10...12 %.

Отже, застосування ежекторної насадки дозволить поліпшити процес газообміну в циліндрах двигуна, а відповідно підвищити номінальну потужність на 10...12 %, тобто з 85 кВт до 95 кВт.

Список використаних джерел

1. Двигатели внутреннего сгорания [Текст] / А.С. Орлин, Д.Н. Вырубов, В.И. Ивин и др. – М.: Машиностроение, 1971. - 400 с.
2. Двигатели армейских машин [Текст] /П.М. Белов, В.Р. Бурячко, Е.И. Акатов – М.: Воениздат, 1971. – 512 с.
3. Комбинированные двухтактные двигатели [Текст] / А.С. Орлин, М.Г. Круглов – М.: Машиностроение, 1968. – 576 с.
4. Автомобільні двигуни [Текст] / Ф.І. Абрамчук, Ю.Ф. Гутаревич, К.Є. Долгунов, І.І. Тимченко – К.: Арістей, 2004. – 476 с.
5. Техническая термодинамика [Текст] / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин М.: Энергия, 1974. – 448 с.

Аннотация

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЧЕТЫРЕХТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПУТЕМ УЛУЧШЕНИЯ ГАЗООБМЕНА В ЦИЛИНДРАХ

Кучава О.О., Дюндик С.М.

Рассматривается способ снижения давления газов в выпускной трубе при газообмене с использованием метода эжекции газов. С помощью эжектора из выпускной трубы часть отработанных газов отсасывается и направляется в диффузор, где поток тормозится с повышением давления до величины давления в глушителе. Внедрение данного способа позволит улучшить газообмен в цилиндрах двигателя, снизить давление остаточных газов, обеспечить лучшее наполнение цилиндров, а следовательно содействовать повышению эффективных показателей двигателя.

Abstract

INCREASING EFFECTIVENESS INDICATORS OF THE FOUR-ENGINE BY IMPROVING GAS EXCHANGE IN THE CYLINDERS

O. Kuchava, S. Dyundik

The way to reduce the gas pressure in the exhaust pipe at the gas exchange using the ejection gases. With the exhaust pipe of the ejector portion of the exhaust gas is extracted and sent to the diffuser where the flow slowed down with increasing pressure until the pressure in the muffler. The implementation of this method will improve gas exchange in the engine cylinders, to reduce the residual gas pressure, provide better cylinder charging, and therefore contribute to the efficiency of the engine.