

0153.4-011.4

УДК 621.432

**В.М. Дихановський**, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.  
(Національна академія наук України)

## ДОСЛІДЖЕННЯ НОВИХ СХЕМ РОТОРНО-ПОРШНЕВИХ ДВИГУНІВ МЕТОДОМ РОЗЩЕПЛЕННЯ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

*Викладено теоретичні основи розробленого методу розщеплення термодинамічних процесів для дослідження нових схем роторно-поршневих двигунів. Розглянуто складний термодинамічний процес, як послідовність декількох простих термодинамічних процесів. За допомогою розробленого методу здійснено порівняльний аналіз шеститактного роторно-поршневого двигуна з традиційним чотиритактним карбюраторним поршневим двигуном.*

Протягом останніх десятиліть науковці і конструктори всього світу намагаються створити ефективний роторно-поршневий двигун (РПД). З розвитком нових технологій зростає потреба в поршневих двигунах для малої авіації, автомобілебудування, стаціонарної енергетики.

Цікавість двигунобудівників до РПД зумовлена його перевагами перед традиційними поршневими карбюраторними двигунами:

- кількість деталей менша на 35–40 %;
- габаритні розміри менші в 1,5–2 рази;
- мала питома маса при високій питомій потужності;
- низький рівень вібрацій;
- добрі динамічні характеристики.

Найбільш поширеною конструкцією РПД поки що залишається двигун Ванкеля, єдиний з РПД, що виробляють серійно. Але внаслідок наявності принципових недоліків, притаманних конструкції Ванкеля, він не є серйозною конкуренцією традиційним поршневим двигунам [1]. Ось чому конструктори намагаються знайти таку конструкцію РПД, яка дала б можливість скористатися його перевагами.

Важливою частиною роботи у цьому напрямі є дослідження нових схем РПД без виготовлення їх експериментальних зразків. Сучасна обчислювальна техніка дає можливість проведення таких досліджень [2]. За якістю і цінністю отриманих результатів такі дослідження не поступаються експериментальним, тому за ними затвердилася назва розрахункового експерименту.

Метод розщеплення, який розроблений для проведення розрахункового експерименту з новими схемами РПД, дозволяє досліджувати термодинамічні процеси нових схем двигунів внутрішнього згоряння з метою оцінки їх ефективності і порівнювати їх роботу з роботою традиційних поршневих двигунів. Важливою перевагою розробленого методу є те, що він не потребує введення емпіричних даних, тому цей метод можна використовувати для дослідження термодинамічних процесів будь-яких схем двигунів внутрішнього згоряння.

Для проведення досліджень цим методом термодинамічний процес у поршневому двигуні дискретизується – розбивається на низку елементарних процесів, тривалість яких відповідає заданому приращенню кута оберту двигуна, наприклад, 1 град [3]. Складний термодинамічний процес на такій ділянці розглядається як послідовність декількох простих термодинамічних процесів. Наприклад (рис. 1), процес всмоктування розщеплюється на процес 1–2 (адіабатичне розширення при закритих клапанах), процес 2–3 (всмоктування повітря при уявному стисненні камери), процес 3–4 (параметри газу і об'єм камери приводяться до реального стану, який відповідає стану на початку наступного елементарного процесу).

Процеси 1–2–3 описують стан газу в камері і відбуваються згідно зі співвідношенням [1]:

$$p_1 v_1^\gamma = p_2 v_2^\gamma = p_3 v_3^\gamma = \text{const} \quad (1)$$

Для маси газу, яка всмоктується, правдиве таке співвідношення:

$$p_0 v_0^\gamma = \text{const}_0,$$

де  $p$  – тиск, Па;  $v$  – питомий об'єм, м<sup>3</sup>/кг;  $\gamma$  – показник адіабати.



Індекси 1, 2, 3 позначають параметри газу в точках 1, 2, 3 (рис. 1), індекс  $\delta$  – параметри додаткової маси газу, що всмоктується.

У точці 3 правдиве співвідношення:

$$p_{\delta} v_{\delta}^{\gamma} = p_3 v_3^{\gamma}$$

$$\text{або } p_{\delta} \left( \frac{V_{\delta}}{m_{\delta}} \right)^{\gamma} = p_3 \left( \frac{V_3}{m_3} \right)^{\gamma},$$

$$\text{або } \frac{V_{\delta}}{m_{\delta}} = \frac{V_3}{m_3},$$

де  $V$  – абсолютний об'єм,  $\text{м}^3$ .

Маси газу  $m_1 = m_2 = m_3$ , тому що це одна і та ж маса. Тиск  $p_3 = p_{\delta}$ , тому що тиск всмоктаного повітря дорівнює тиску в камері. При цьому

$$V_{\delta} + V_3 = V_2.$$

Отже,

$$\frac{V_2 - V_3}{m_{\delta}} = \frac{V_3}{m_3}$$

$$\text{або } V_2 m_3 - V_3 m_3 = V_3 m_{\delta},$$

$$\text{або } V_3 m_3 + V_3 m_{\delta} = V_2 m_3,$$

$$\text{або } V_3 (m_3 + m_{\delta}) = V_2 m_3,$$

звідси:

$$V_3 = \frac{V_2 m_3}{m_3 + m_{\delta}}. \quad (2)$$

З рівняння (1) маємо

$$p_3 = p_2 \left( \frac{v_2}{v_3} \right)^{\gamma} = p_2 \left( \frac{V_2 m_3}{m_2 V_3} \right)^{\gamma},$$

але  $m_2 = m_3$ , тому

$$p_3 = p_2 \left( \frac{V_2}{V_3} \right)^{\gamma}. \quad (3)$$

Співвідношення (1) описує процес 1–2, рівняння (2) і (3) – процес 2–3. У процесі 3–4 параметри газу в кінці процесу 2–3 розглядають як параметри на початку наступного елементарного процесу, а за об'єм камери беруть об'єм у точці 2. Перед кожним елементарним процесом визначають температуру газу і показник адиабати для врахування змін властивостей газу протягом робочого циклу.

Інші процеси (стиснення, згоряння, робочий хід, вихлоп) також моделюються цим методом, але під час стиснення і робочого ходу немає газообміну з навколишнім середовищем, а під час згоряння температура змінюється внаслідок згоряння палива з урахуванням часу горіння, дисоціації та рекомбінації.

З використанням цього методу було досліджено шеститактний роторно-поршневий двигун бТРПД, розроблений корпорацією Євроресурс (м. Київ, див. сайт <http://6srpe.g-r-g.net/use.htm>), і його прототип. За прототип обрано звичайний поршневий двигун, у якого об'єм камери згоряння, маса всмоктаного повітря, тиск перед початком стиснення такі ж, як у розглянутого двигуна бТРПД.

У результаті досліджень було виявлено, що радіальні ущільнення ротора двигуна бТРПД завжди орієнтовані щодо епітрохіди під нормальним кутом. Це вигідно відрізняє цю схему



двигуна від двигуна Ванкеля, де відхилення цього кута від нормалі досягає десятків градусів, що викликає небажані явища під час роботи радіальних ущільнень.

Було порівняно динаміку зміни об'єму камери двигуна бтРПД і його прототипу. Цикл двигуна бтРПД відбувається за 240 град, а не за 180 град, як у прототипу. Для коректного порівняння динаміки зміни об'ємів камер двигуна бтРПД і прототипу протяжність циклу двигуна бтРПД зведено до 180 град. Динаміка зміни об'єму камер обох двигунів синусоїдальна (рис. 2).

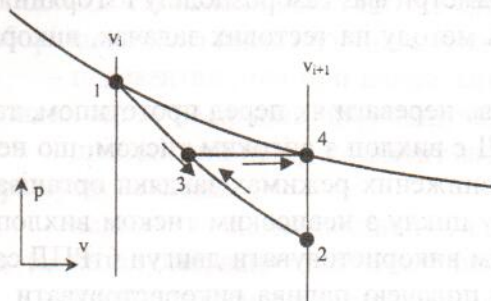


Рис. 1. Елементарний процес всмоктування в координатах  $p$ - $V$

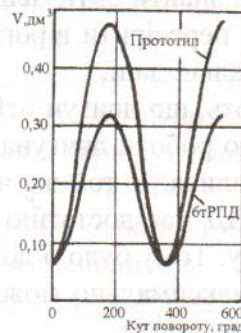
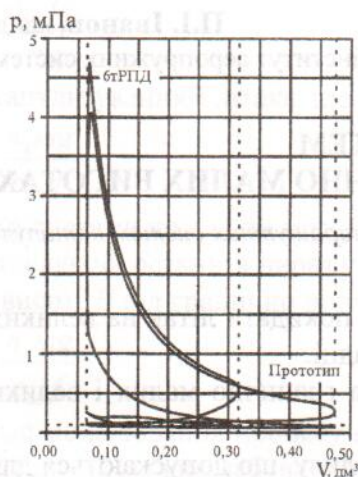
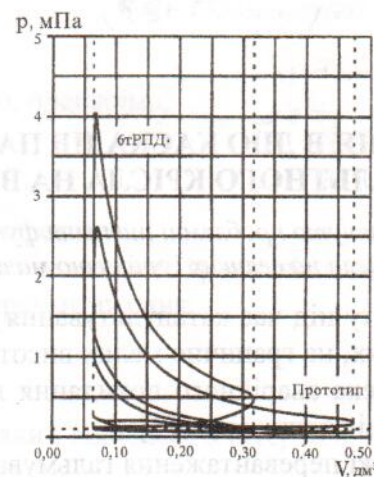


Рис. 2. Динаміка зміни об'єму камери двигуна бтРПД і його прототипу

Стиснення повітря у двигуні бтРПД відбувається у два етапи, тому хід його поршня значно менший, ніж у прототипу. Ця особливість зумовлює значну перевагу динаміки зміни об'єму камери двигуна бтРПД порівняно з його прототипом з погляду ефективності використання хімічної енергії палива: об'єм камери двигуна бтРПД довше залишається близьким до мінімального об'єму камери. Унаслідок цього згоряння відбувається при збільшених тисках. Отже, хімічна енергія палива використовується більш ефективно, ніж у прототипу. Це можна бачити на рис. 3, а, де порівнюються термодинамічні цикли двигуна бтРПД і його прототипу. Внаслідок сприятливої динаміки зміни об'єму камери двигуна бтРПД підведення тепла в цьому двигуні викликає більше зростання тиску в камері, ніж у прототипу. Тому  $p$ - $V$  діаграма двигуна бтРПД наповнена більш ніж у прототипу.



а



б

Рис. 3. Термодинамічні цикли двигуна бтРПД і його прототипу:

а – подача палива 100 %; б – подача палива 80 %

Іншою перевагою двигуна бтРПД є можливість організувати пошарове горіння палива завдяки двофазному всмоктуванню повітря в камеру двигуна бтРПД. Це означає, що на знижених режимах роботи в камеру двигуна бтРПД всмоктується та ж маса повітря, що і на максимальному режимі при зменшеній подачі палива. При цьому робочий процес у камері відбувається при знижених температурах газу, поліпшується повнота горіння палива, знижується токсичність продуктів згоряння.



На рис. 3, б показано  $p$ - $V$  діаграми двигуна бТРПД і прототипу на зниженому режимі роботи. Подача палива становить 80 % від максимально можливої. Площа діаграми прототипу, а отже, і робота циклу, значно зменшені внаслідок того, що цей двигун на знижених режимах всмоктує зменшену кількість повітря для зберігання коефіцієнта надлишку повітря близько одиниці. Це викликає зменшення кількості робочого тіла і зменшення роботи циклу.

Проведений аналіз свідчить про зручність досліджень роботи двигунів різних типів розробленим методом який дозволяє знайти оптимальні параметри фаз газорозподілу і згоряння. У подальшому необхідно детально перевірити вірогідність методу на тестових задачах, використовуючи достовірні експериментальні дані.

Результати аналізу показують, що двигун бТРПД має переваги як перед прототипом, так і перед РПД Ванкеля. Особливістю роботи двигуна бТРПД є вихлоп з високим тиском, що негативно відбивається на витраті палива. У той же час на знижених режимах завдяки організації пошарового горіння двигун бТРПД має достатню роботу циклу з невисоким тиском вихлопу і зниженою температурою вихлопу. Тому було б доцільним використовувати двигун бТРПД саме на таких режимах, а режим із максимально можливою подачею палива використовувати як форсований, наприклад, для зльоту літака.

#### Список літератури

1. Орлин А.С., Круглов М.Г. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей. – М.: Машиностроение, 1983. – 375 с.
2. Куценко А.С. Моделирование рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания на ЭВМ. – К.: Наук. думка, 1988. – 99 с.
3. Колчин А.И., Демидов В.П. Расчёт автомобильных и тракторных двигателей. – М.: Высш. шк., 1980. – 237 с.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1987. – 840 с.

Стаття надійшла до редакції 16.10.02.

0563.53 – 4531.474  
УДК 629.734.7.018.7

П.І. Іванов, канд. техн. наук

(Науково-дослідний інститут аеропружних систем, Феодосія)

### ВВЕДЕННЯ В ДІЮ КАСКАДІВ ПАРАШУТНИХ СИСТЕМ КАТАПУЛЬТНОГО КРИСЛА НА ВЕЛИКИХ І ГРАНИЧНО МАЛИХ ВИСОТАХ

*Розглянуто проблемні питання функціонування каскадів парашутних систем катапультно-го крісла на великих і гранично малих висотах.*

Пілоту під час катапультивання доводиться аварійно покидати літак на великих висотах і швидкостях, на гранично малих висотах, на зльоті або посадці.

Безпека аварійного покидання літального апарата на гранично малих і великих висотах залежить від таких умов [1]:

- межі перевантаження гальмування і часу їхнього впливу, що допускаються для людського організму;
- захисту голови і тіла в цілому від силового впливу швидкісного напору;
- запобігання розкиду кінцівок і пов'язаного з цим травматизму від швидкісного напору і кутових швидкостей обертання катапультного крісла;
- стабілізації і запобігання інтенсивного обертання крісла з пілотом із недопустимими для організму людини кутовими прискореннями, що викликають утрату свідомості, просторового орієнтування та різних рефлексів;
- забезпечення своєчасного примусового відділення пілота від крісла і введення в дію рятувального парашута;