

Куць Надія Григорівна, Gr.Ph.D, доцент, Луцький національний технічний університет. м. Луцьк, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

Поряд з тепловими двигунами внутрішнього і зовнішнього згоряння, поршневі і роторні в техніці широко застосовуються газотурбінні двигуни: турбогвинтові турбокомпресорні і турбореактивні. Як всякий тепловий двигун, всі газотурбінні двигуни працюють із застосуванням замкнутого термодинамічного циклу, який був розроблений Брайтоном.

Застосовуючи чисто енергетичний підхід, реалізований в технічній термодинаміці, неможливо зрозуміти всю динаміку процесу горіння та взаємодії газових потоків з лопатками турбіни та її стінками. Не ясно, як протікають хімічні реакції горіння, і яким чином здійснюються процеси енергообміну при роботі газової турбіни. Внаслідок цього не зрозуміло, в якому напрямку слід удосконалювати газові турбіни, здійснюючи її оптимальну роботу з найбільшою ефективністю.

Ціль і задачі: розробити молекулярно-кінетичну теорію, яка адекватно відображала б усю динаміку процесу роботи газової турбіни на атомно-молекулярному і кластерному рівнях. Реалізувати поставлену мету можна шляхом вирішення наступних задач: - розглянути загальний принцип перетворення теплової енергії газу в механічну роботу турбіною; - з'ясувати які взаємодії виникають при зіткненні повітряного потоку з лопатками турбіни; - обґрунтувати які процеси, в основному, визначають коефіцієнт перетворення теплової енергії в механічну роботу турбіною; - обґрунтувати роботу газової турбіни на атомно-молекулярному рівні; - з'ясувати в якому напрямку слід удосконалювати роботу газової турбіни, підвищуючи її ефективність.

Турбіна є основним елементом газотурбінного двигуна, який перетворює теплову енергію повітряного потоку в механічну роботу. Турбогвинтові двигуни набагато більш економічні, ніж поршневі двигуни. Це обумовлено наступним чином: після спалювання палива в камерах згоряння високотемпературна паливо-повітряна суміш проходить через сопло Лавалю де швидкість плинину газу прискорюється за рахунок внутрішньої енергії. У свою чергу, турбіна перетворює теплову енергію одного ступеня свободи в механічну роботу, як це відбувається в поршневому двигуні. Але на цю частину накладається додаткова швидкість плинину газу, яку він придбав після виходу з сопла Лавалю. Тому коефіцієнт корисної дії (ккд) у такого двигуна, в порівнянні з поршневим, дещо вищий.

У турбогвинтовому двигуні застосовується компресор. Тому цей тип двигуна іноді називають турбокомпресорним. Різновидом турбокомпресорного двигуна є турбовальний двигун. У такого двигуна вся потужність, що розвивається, через вихідний вал передається споживачеві. Тому вони, в основному, використовуються на гвинтокрилах.

Турбореактивний двигун володіє істотним недоліком - він не досить ефективно охолоджується в процесі роботи. Це накладає обмеження на реалізовану потужність двигуна. Щоб підвищити потужність турбореактивного двигуна шляхом збільшення інтенсивності його охолодження застосовують двоконтурний турбореактивний двигун [1].

Для турбовентиляторних і турбореактивних двигунів турбіна є основним елементом, який забезпечує роботу двигуна. Турбіна являє собою набір лопатей, розташованих по радіусу відносно осі обертання.

Перша теорія роботи турбіни була запропонована Ейлером. В результаті отримано, що імпульс всіх зовнішніх сил дорівнює:

$$\sum_i F_i \Delta \tau = (P_{e,1} S_1 - P_{e,2} S_2 - F') \Delta \tau, \quad (1)$$

де  $P_{e,1} S_1$  - сила тиску впадаючого потоку;  $P_{e,2} S_2$  сила тиску впливаючого потоку і  $F'$  - результуюча сила тиску і тертя, діюча на рухомий потік з боку стінок каналу.

Якщо скористатися рівнянням Ейлера, то потік повітря забезпечить потужність на валу турбіни 24,7 кВт. Так, як турбіна перетворює тепло в механічну роботу, то отримане значення потужності із застосуванням рівняння Ейлера збігається з тим, що дає конвективний теплообмін. Протириччя немає і це дозволило вважати, що при розгляді роботи турбіни можна не враховувати розмір лопаток і їх конфігурацію. В цьому випадку розглядається інтегральна дія, яка не враховує конкретний механізм взаємодії повітряного потоку всередині міжлопатєвого каналу. Тому такий підхід не дозволяє реалізувати комп'ютерний аналіз роботи турбіни.

При конструюванні газових турбін і аналізі їх роботи в різних умовах доцільно застосовувати статистичну газодинаміку. На вході турбіни газ має внутрішню енергію і кінетичну енергію руху [2]. Результуюча енергія:

$$E_1 = \frac{m}{\mu} R_e T_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} V, \quad (2)$$

де  $m$  - маса газу, яка брала участь у процесі взаємодії;  $T_1$  - температура газу на вході турбіни;  $\rho$  - щільність газу;  $v_1$  - швидкість руху газу на вході турбіни;  $V$  - загальний обсяг газу, який проходить за час взаємодії.

Характерна робота турбіни полягає в наступному: при заданому установчому куту  $20^\circ$  і при кутах входу повітря в міжлопаточний канал менше  $25^\circ$ , турбіна стопориться і починає обертатися у зворотний бік. При кутах входу більше  $25^\circ$  турбіна працює нормально, але з ростом кута входу потужність на валу турбіни різко падає. Коли велика піввісь витримується постійною, а змінюється величина малої півосі еліпса, то до  $20^\circ$  потужність турбіни зростає до значення, відповідного максимальній потужності при заданих кутах

установочного і входу, а потім різко гальмується потоком повітря, чинного із зворотного боку лопатки.

Розроблена молекулярно-кінетична теорія роботи газотурбінного двигуна може бути використана для комп'ютерного моделювання роботи таких двигунів [3]. В залежності від призначення турбіни оптимальні параметри її конструкції повинні встановлюватися шляхом комп'ютерного моделювання. Стендові випробування потрібні тільки для остаточного доведення спроектованого газотурбінного двигуна.

Встановлено основний принцип роботи газотурбінних двигунів різних типів і показано, що застосування сопла Лавалля призводить до збільшення ккд таких систем за рахунок перетворення не тільки одного ступеня свободи теплової енергії в механічну роботу, але і внаслідок зростання швидкості руху газового потоку, яке формує сопло Лавалля.

### Література

1. Мокшанцев Б. Б. Двухконтурные и турбовентиляторные двигатели США и Англии. М.: Изд. отдела научно-техн. информации. 1960. – 76 с.
2. Гречихин Л.И. Молекулярно-кинетическая теория гребного винта самолета. /Сб. материалов 1 Международной молодежной научной конференции «Гражданская авиация: XXI век» Ульяновск: УГТУ, 2009. С. 18-24.
3. Лапцевич А.А., Гречихин Л.И., Куць Н.Г. Энергетическая база беспилотных летательных аппаратов. /Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. - 2011, № 3. С. 64-78.