



Загальні питання двигунобудування та механіки

РЕГУЛЮВАННЯ РАДІАЛЬНИХ ЗАЗОРІВ У ТУРБІНАХ ТА КОМПРЕСОРАХ

Р. В. Богатко

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»*

Оптимізація радіальних зазорів між ротором і статором є важливим інженерним завданням, що безпосередньо впливає на ефективність, надійність та ресурс роботи газотурбінних двигунів. Однією з головних проблем є зменшення коефіцієнта корисної дії (ККД), що відбувається через неконтрольований витік робочого тіла.

Залежність наведена на рис. 1 показує, що навіть незначне збільшення радіального зазору (на 0,5%) призводить до зменшення ККД компресора в середньому на 1,3%. Аналогічна тенденція спостерігається в турбіні - якщо радіальний зазор збільшується на 3%, то ефективність її роботи знижується приблизно на 5%.

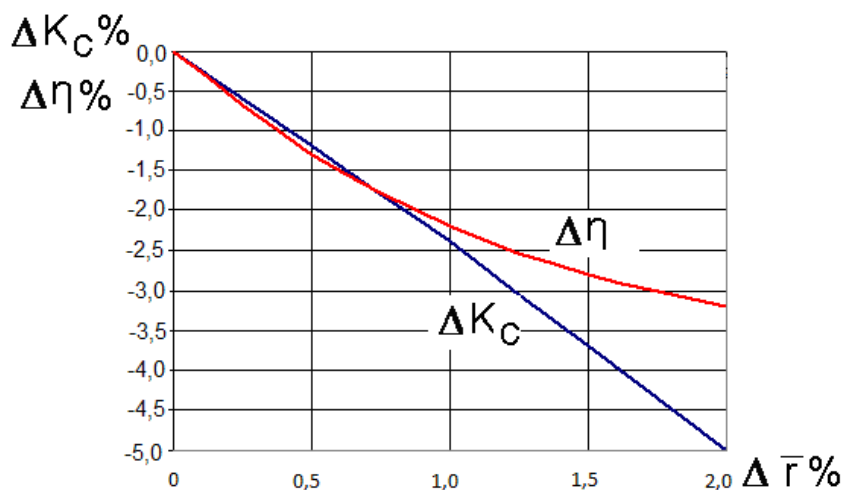


Рис. 1 - Залежність змінення ККД η і запасу газодинамічної стійкості компресора K_c від величини відносного радіального зазору

Величина радіальних зазорів може змінюватися в процесі експлуатації двигуна під впливом різних чинників, таких як: термічне розширення конструктивних елементів, відцентрові навантаження, механічний знос, деформація корпусу двигуна (під впливом високих температур і навантажень корпус може змінювати свою форму).

У роботі розглянуто як пасивні, так і активні методи регулювання. Пасивні методи ґрунтуються на виборі матеріалів з певним коефіцієнтом теплового розширення.

Активні методи включають:

- Теплове регулювання — шляхом нагрівання або охолодження корпусних елементів.



- Механічне регулювання — зміна положення ущільнень за допомогою приводів або важелів.
- Гідростатичне регулювання — підтримання зазору тиском робочого тіла без сенсорів.
- Комбіноване регулювання — поєднання наприклад теплового й механічного методів.

Кожен із методів регулювання має переваги, обмеження та рекомендовані області застосування в залежності від конструкції двигуна, теплових режимів і вимог до точності.

Пасивний метод відзначається простотою конструкції, надійністю та автономністю, оскільки не потребує систем керування чи сенсорів. Його суть полягає у використанні матеріалів із низьким коефіцієнтом теплового розширення, що стабілізує зазор під час роботи. Цей підхід ефективний у турбінній, де температурні режими досить стабільні. Основний недолік — відсутність адаптивності, тобто при зміні режимів двигуна зазор не змінюється відповідно до нових умов.

Тепловий активний метод дозволяє оперативно змінювати радіальний зазор завдяки локальному нагріванню або охолодженню корпусних деталей. Такий підхід забезпечує високу точність і гнучкість. До недоліків належать складність конструкції, потреба в системі керування, джерелах енергії та охолоджуючому повітрі, а також інерційність реакції на зміну режимів.

Механічний метод, зокрема кінематичне або цангове регулювання, передбачає зміну положення ущільнюючих елементів за допомогою приводів (електричних, гідравлічних або пневматичних). Цей метод забезпечує високу точність регулювання навіть під час роботи, з можливістю контролю в реальному часі. Однак він має більшу масу, конструктивну складність та потребує приводу, що може бути недоцільним для кожного ступеня компресора або турбіни.

Гідростатичне регулювання має перевагу через саморегульовальний характер: зазор утримується завдяки тиску повітря або газу, який подається в спеціальний зазор між статором і ротором. Такий метод не потребує сенсорів або окремих керуючих пристроїв. Недоліками є висока чутливість до чистоти й стабільності тиску, складність точного проектування гідроканалів та залежність від робочого середовища. Цей метод ефективний переважно на останніх ступенях компресора або у високонапірних зонах.

Комбіновані методи поєднують два або більше підходи (наприклад, тепловий та механічний). Вони дозволяють досягти найвищої точності, адаптивності та надійності, компенсуючи недоліки окремих систем. Основним обмеженням є висока складність інтеграції, потреба в синхронізації.

Найбільшу перспективу мають активні методи, особливо теплові системи з двостороннім регулюванням, що вже впроваджуються в сучасних ГТД. У компресорі, де температури нижчі, доцільно застосовувати механічні або комбіновані рішення.