

УДК 629.7.036

**ТЕРЕЩЕНКО Ю.М.**, професор кафедри авіаційних двигунів Національного авіаційного університету, доктор технічних наук, професор

**ТЕРЕЩЕНКО Ю.Ю.**, старший викладач кафедри авіаційних двигунів Національного авіаційного університету, кандидат технічних наук

**ДОРОШЕНКО К.В.**, доцент кафедри авіаційних двигунів Національного авіаційного університету, кандидат технічних наук

**УСЕНКО В.Ю.**, начальник відділу силових установок ДП “Антонов”

## **КОМПЛЕКСНЕ ГАЗОДИНАМІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ТЕЧІЄЮ В СТУПЕНІ ОСЬОВОГО КОМПРЕСОРА ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА**

*В роботі розглянуто результати розрахункових досліджень комплексного газодинамічного управління течією в ступені осьового компресора газотурбінного двигуна. Показано, що застосування комплексного газодинамічного управління течією дає можливість покращити характеристики осьового компресора на зривних режимах обтікання*

*Ключові слова: газодинамічне управління течією, осьовий компресор, дворядний лопатковий вінець, кільцевий вдув*

### **Вступ**

Ефективність і економічність енергетичних газотурбінних установок та авіаційних газотурбінних двигунів значною мірою залежить від параметрів та характеристик осьових компресорів.

На даний час у практиці енергетичного машинобудування та авіадвигунобудування застосовують різні методи, направлені на вдосконалення параметрів і характеристик компресорів газотурбінних двигунів. Метою цих методів є покращення аеродинамічних і акустичних характеристик компресорів та забезпечення газодинамічної стійкості компресорів у всьому діапазоні експлуатаційних режимів і різних зовнішніх впливів, обумовлених умовами польоту літального апарату. Практика експлуатації газотурбінних двигунів (ГТД) показала недостатню ефективність існуючих методів забезпечення газодинамічної стійкості та ефективності осьових багатоступеневих компресорів на нерозрахункових та екстремальних режимах роботи авіаційних ГТД.

На нерозрахункових режимах роботи ГТД течія в лопаткових вінцях ступенів осьового компресора відрізняється від розрахункової, що обумовлює зниження ККД та напірності компресора у цілому, а також викликає нестійку роботу компресора та газотурбінного двигуна.

Результати досліджень, представлені в роботах [1, 2], показують, що застосування дворядного лопаткового вінця в робочому колесі приводить до

істотного збільшення напірності на всіх режимах роботи в широкому діапазоні частот обертання. Проте при цьому збільшується рівень втрат повного тиску.

Як показали результати досліджень, представлених в роботах [3, 4], газодинамічне управління течією кільцевим вдувом сприяє зменшенню рівня втрат в діапазоні режимів роботи відповідної лівої гілки напірної лінії.

Проте на сьогоднішній день залишається недослідженим питання комплексного газодинамічного управління течією в компресорі.

**Метою роботи** є оцінка ефективності застосування комплексного газодинамічного управління течією в ступені осьового компресора.

### **Основний матеріал дослідження**

Комплексність газодинамічного управління передбачала одночасний газодинамічний вплив на течію в двохрядному робочому колесі та вплив кільцевого вдуву на течію перед робочим колесом. Кільцевий вдув здійснювався через щілину перед робочим колесом, видув повітря відбувався при куті видуву  $\gamma=30^\circ$ .

Об'єкт дослідження – ступінь компресора, що складається з вхідного напрямного апарату, робочого колеса, напрямного апарату. Геометричні характеристики ступеня представлені в [5].

В роботі була проведена серія розрахунків моделювання течії в ступені осьового компресора для відносної частоти обертання  $n=60\%$ . Колова швидкість на периферійному радіусі була рівною  $u=170,7$  м/с.

За результатами дослідження були побудовані характеристики ступеня компресора з газодинамічним управлінням течією кільцевим вдувом у вигляді залежності ступеня підвищення тиску  $\pi$  і газодинамічної функції  $q(\lambda)$ .

На рис. 1 представлені характеристики ступенів компресора: ступінь з однорядним робочим колесом, ступінь з однорядним колесом з кільцевим вдувом, ступінь з двохрядним робочим колесом з кільцевим вдувом при відносній частоті обертання компресора  $n=60\%$ .

На режимі роботи, що відповідає відносній частоті обертання  $n=60\%$ , використання дворядного робочого колеса приводить до збільшення ступеня підвищення тиску у всьому діапазоні значень газодинамічної функції. При цьому найбільше вказане підвищення спостерігається при комплексному застосуванні газодинамічного управління течією: ступінь з дворядним робочим колесом і кільцевим вдувом. У такому ступені спостерігається підвищення напірності на 2,6...1,2% у порівнянні зі ступенем без газодинамічного управління течією.

Результати проведених досліджень в ступені з дворядним робочим колесом і подібним колесом, але з кільцевим вдувом, дозволяють оцінити рівень втрат повного тиску в робочому колесі.

Як показує аналіз графіків на рис. 2, в ступені з дворядним робочим колесом з кільцевим вдувом рівень втрат повного тиску в робочому колесі вище, ніж в ступені з однорядним робочим колесом без газодинамічного управління течією.

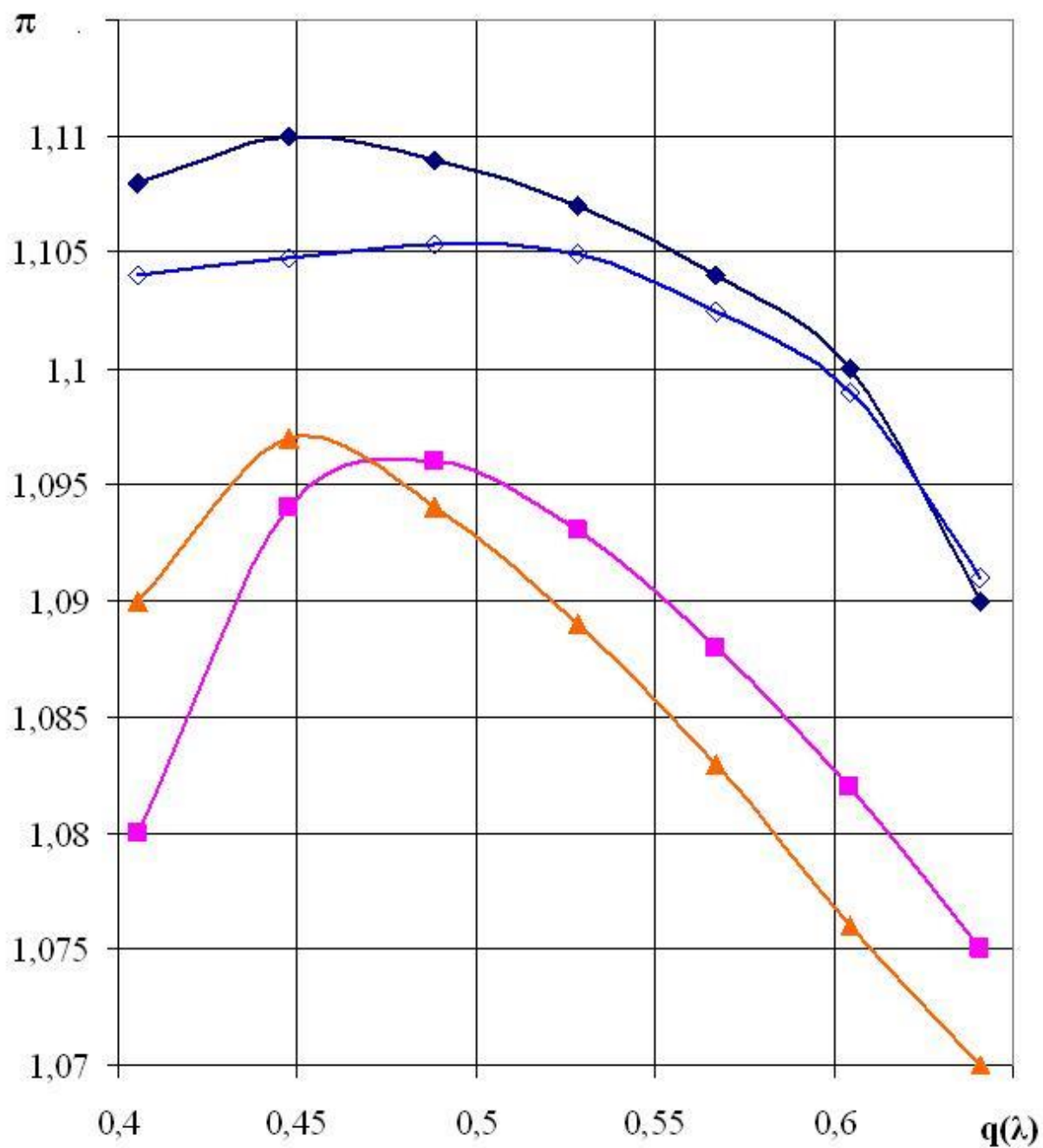


Рис. 1. Характеристики ступенів компресора для відносної частоти обертання  $n=60\%$

- ◆— ступінь з дворядним РК з кільцевим вдувом,  $n=60\%$
- ◇— ступінь з дворядним РК,  $n=60\%$
- ступінь без газодинамічної дії,  $n=60\%$
- ▲—

ступінь з однорядним РК з газодинамічною дією,

n=60%

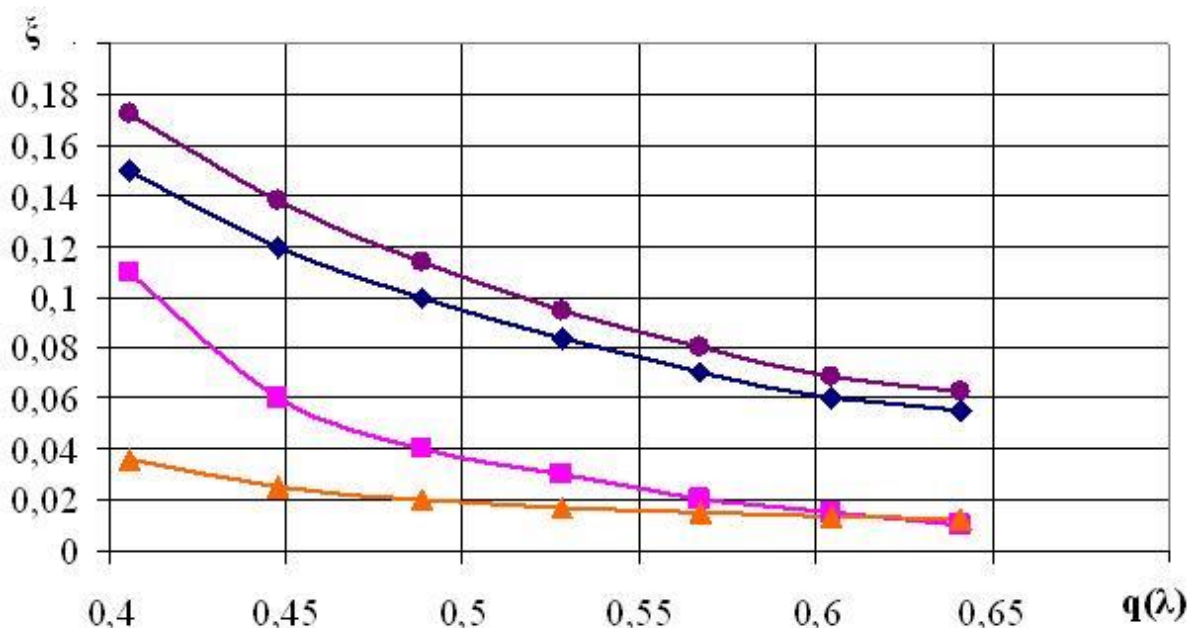


Рис. 2. Залежність коефіцієнта втрат повного тиску від газодинамічної функції  $q(\lambda)$  при відносній частоті обертання  $n=60\%$

- ◆ ступінь з дворядним РК з кільцевим вдувом,  $n=60\%$
- ступінь з дворядним РК,  $n=60\%$
- ступінь без газодинамічної дії,  $n=60\%$
- ▲ ступінь з однорядним РК з газодинамічною дією,  $n=60\%$

На режимі роботи ступеня з дворядним робочим колесом і кільцевим вдувом при відносній частоті обертання  $n=60\%$  коефіцієнт втрат повного тиску знижується на 0,022...0,01 у порівнянні з коефіцієнтом втрат повного тиску ступеня з дворядним робочим колесом без кільцевого вдува. Рівень втрат в робочому колесі з однорядним робочим колесом без кільцевого вдува нижче, при цьому коефіцієнт втрат повного тиску в робочому колесі збільшується на 0,06...0,04.

Таким чином, ступінь з дворядним робочим колесом і кільцевим вдувом має високу напірність і рівень втрат нижче, ніж ступінь з дворядним робочим колесом без вдуву. Ступінь підвищення тиску збільшується в середньому на 0,5%, а коефіцієнт втрат повного тиску зменшується на при відносній частоті обертання  $n=60\%$  на 1...2,1%.

## Висновки

Вперше отримані результати комплексного газодинамічного управління течією в компресорі, а саме застосування кільцевого вдуву перед дворядними робочими колесами. Показано, що використання кільцевого вдуву перед робочим колесом з дворядним лопатковим вінцем сприяє підвищенню напірності ступеня. Однак, кільцевий вдув у ступенях з дворядними лопатковими вінцями менш ефективно впливає на рівень втрат, ніж в ступенях з однорядними лопатковими вінцями.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кампсти, Н. Аэродинамика компрессоров: Пер. с англ. [Текст]/ Н. Кампсти. – М.: Мир, 2000. – 688 с.
2. Doroshenko, E. Research into aero acoustic characteristics of two-row impellers of the axial compressor / E. Doroshenko, Y. Tereshchenko, I. Lastivka, I. Kudzinovs'ka // EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – V. 2. – N. 8–92. P. 21–24. doi: 10.15587/1729-4061.2018.125697. (SCOPUS)
3. Tereshchenko, Y. M. Gas Dynamic Action of Annular Blowing on the Aerodynamic Factors of the Resonance Vibration Excitation of Rotor Blades in a Compressor Stage / Y.M. Tereshchenko, E.V. Doroshenko, Y.Y. Tereshchenko, P.V. Gumenyuk // Strength of Materials. – 2018. -№2. - pp. 1-6, doi: 10.1007/s11223-018-9974-9
4. Терещенко, Ю. М. Газодинамическое воздействие кольцевого вдува на течение в ступени осевого компрессора [Текст]/ Ю.М. Терещенко, К.В. Дорошенко, И.А. Ластивка, И.П. Кудзиновская // Авиационно–космическая техника и технология. Научно–технический журнал. – 2017. – №7 (142). – С. 24–30.
5. Tereshchenko Yu. Numerical study of flow in the stage of axial compressor with different topology of computation grid. Yu. M.Tereshchenko, E.Doroshenko, I.Lastivka, Yu. Yu.Tereshchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – №3/7(7). – С. 28-33, doi: 10.15587/1729-4061.2017.101315.

*Надійшла до редакції 28.10.2018*

*Рецензент: ДТН, професор Тамаргазін О.А.*