

УДК 621.452.3.032.3.017:004.942

doi: 10.32620/akt.2022.4sup.2.04

О. В. ЖОРНИК¹, І. Ф. КРАВЧЕНКО¹,
М. М. МІТРАХОВИЧ¹, К. В. БАЛАЛАЄВА²

¹ Державне підприємство «Івченко-Прогрес», Запоріжжя, Україна

² Національний авіаційний університет, Київ, Україна

АНАЛІЗ ВПЛИВУ КРИВИЗНИ S-ПОДІБНОГО КАНАЛУ ТА УМОВ ПОЛЬОТУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ КОВШОВОГО ВХІДНОГО ПРИСТРОЮ

При створенні сучасних літальних апаратів використовується принцип оптимальної інтеграції силової установки та літального апарату для забезпечення максимуму цільової функції, що визначається його функціональним призначенням. Питома витрата палива і питома тяга силової установки суттєво залежить від втрат повного тиску повітря у вхідному пристрої, що характеризується коефіцієнтом відновлення повного. Зміна тиску вздовж діаметра гвинтовентилятора впливає на ефективність вхідного пристрою силової установки. При застосуванні кільцевого вхідного пристрою його ефективність знижується низьким тиском в зоні кореневої частини лопатів гвинтовентилятора. Використання ковшового вхідного пристрою дозволяє подавати повітря в канал із зони, що розташована біля середньої частини висоти лопаті і це є основним фактором, що впливає на зменшення втрати тиску в каналі підведення повітря. При використанні ковшового вхідного пристрою важливим фактором, що впливає на ефективність S-подібних каналів є кривизна та звуження. В роботі досліджено вплив кривизни S-подібного каналу на коефіцієнт відновлення повного тиску при постійному значенні його звуження. S-подібний канал, що досліджується, за своїми геометричними параметрами є еквівалентним каналу кільцевого осесиметричного вхідного пристрою силової установки з турбогвинтовентиляторним двигуном. Коефіцієнт відновлення повного тиску S-подібного каналу розраховується за параметри течії в перерізах S-подібного каналу шляхом рішення рівнянь Нав'є-Стокса з використанням двошарової моделі турбулентності Флоріана Ментера (Florian Menter) SST Transitional №4 Gamma Theta) та комбінованої кінцево – елементної сітки – на вході до каналу і в самому каналі – гексаедраїчна, на виході тетраедраїчна. Аналіз залежностей коефіцієнту відновлення повного тиску S-подібного каналу від числа M і кривизни каналу показує, що до кривизни 0,002 на коефіцієнт відновлення повного тиску, впливають не суттєво. Подальше збільшення кривизни каналу більш значно впливає на зміну коефіцієнту відновлення повного тиску, що пов'язане з відривом потоку і втратами від вихроутворення.

Ключові слова: силова установка; турбогвинтовентиляторний двигун; ковшовий вхідний пристрій; S-подібний канал; кривизна каналу; звуження каналу; коефіцієнт відновлення повного тиску; математичне моделювання.

Вступ

Створення сучасних літальних апаратів базується на принципах оптимальної інтеграції силової установки та літального апарату, що забезпечує максимум цільової функції, що визначається його функціональним призначенням [1].

Відомо, що питома витрата палива і питома тяга авіаційного газотурбінного двигуна залежить, у тому числі, від втрат повного тиску повітря у вхідному пристрої [2]. Тиск у зоні за гвинтовентилятором турбогвинтовентиляторного двигуна змінюється вздовж його діаметра. Причому біля основи лопаті гвинтовентилятора через обурення, що вносяться кореневою частиною лопаті, тиск найменший і може призводити до відриву потоку перед кільцевим вхідним пристроєм.

При застосуванні ковшового вхідного пристрою повітря подається в канал із зони, що розташована біля середньої частини висоти лопаті і це є основним фактором, що впливає на зменшення втрати тиску повітря в каналі підведення повітря.

Зниження втрат повного тиску у вхідному пристрої перед компресором є одним із актуальних завдань, тому що зростання втрат у вхідному пристрої призводить до збільшення питомої витрати палива, а нерівномірність потоку на вході в двигун є причиною нестійкої роботи компресора авіаційного ГТД.

У роботі [3] досліджені кільцеві та ковшові вхідні пристрої силових установок с турбогвинтовими двигунами. Показано, що найбільший коефіцієнт відновлення повного тиску забезпечують вхідні пристрої з одинарним ківшем і відводом примежового шару перед входом.

У роботі [4] наведені результати математичного моделювання гондoli літака L-410 з турбогвинтовим двигуном Walter M-601E для оцінки характеристик вхідного пристрою. Результати цих досліджень спрямовані на підвищення ефективності та зменшення втрат у гондолі двигуна.

У роботі [5] проведено дослідження S-подібних каналів. Результати показують, що область низького повного тиску у вихідній площині, обумовлена витісненням прилежового шару двома вихорами, що протилежно обертаються, в каналі.

У роботі [6] наведені дослідження щодо можливостей сучасних обчислювальних методів для моделювання складних течій та вивчення нестационарних характеристик перебігу для низки S-подібних вхідних пристроїв. Показано, що характерні області нестійкості в каналі пов'язані з класичними вторинними течіями.

У роботі [7] проведено математичне моделювання типового S-подібного вхідного пристрою з метою оптимізації його форми за допомогою алгоритму евристичної оптимізації Tabu Search.

Важливим напрямом подальших досліджень S-подібних каналів є визначення впливу його кривизни на коефіцієнт відновлення повного тиску.

Саме тому метою роботи є отримання залежностей коефіцієнта відновлення повного тиску S-подібного каналу вхідного пристрою від його кривизни при різних висотах і швидкостях без урахування впливу гвинтовентилятора.

Постановка задачі дослідження

Об'єктом дослідження є S-подібний канал, що за своїми геометричними параметрами еквівалентний кільцевому вхідному пристрою силової установки з турбогвинтовентиляторним двигуном [8] (рис. 1).

Параметри течії в перерізах S-подібного каналу визначалися шляхом рішення рівнянь Нав'є-Стокса з використанням двошарової моделі турбулентності Флоріана Ментера (Florian Menter) SST Transitional №4 Gamma Theta). Використана комбінована кінцево-елементна сітка – на вході до каналу і в самому каналі – гексаедраїчна, на виході тетраедраїчна, загальна кількість елементів – 811794.

Кривизна S-подібного каналу K визначається як величина зворотна радіусу кривизни каналу R :

$$K = \frac{1}{R}. \quad (1)$$

Коефіцієнт відновлення повного тиску S-подібного каналу σ є відношенням повного тиску

у перерізі на виході з каналу – p_2^* до повного тиску на вході до каналу – p_1^* :

$$\sigma = \frac{p_2^*}{p_1^*}, \quad (2)$$

що розраховувався для кожної геометричної моделі зі зміною кривизни в діапазоні 0,001...0,003 та числа $M=0,3...0,7$ на висоті $H=3976$ м при постійному значенні звуження $\bar{F}=0,6$, що визначено відповідно до рекомендацій [3].

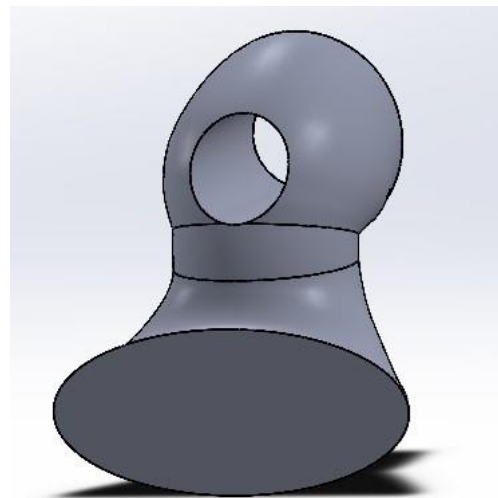


Рис. 1. Об'єкт дослідження

Звуження S-подібного каналу $\bar{F}$ визначалося відношенням площі перерізу на вході до каналу – F_1 до площі перерізу на виході – F_2 :

$$\bar{F} = \frac{F_1}{F_2}. \quad (3)$$

Результати

На рис. 2 наведено залежності коефіцієнту відновлення повного тиску від числа M при зміні кривизни S-подібного каналу для висоти $H=3976$ м, при постійному значенні звуження $\bar{F}=0,6$.

Аналіз залежностей коефіцієнту відновлення повного тиску від числа M при зміні кривизни S-подібного каналу показує, що зміна числа M і кривизни каналу не суттєво впливають на коефіцієнт відновлення повного тиску до кривизни 0,002. Подальше збільшення кривизни більш значно впливає на зміну коефіцієнту відновлення повного тиску каналу, що пов'язане з відривом потоку і втратами від вихроутворення.

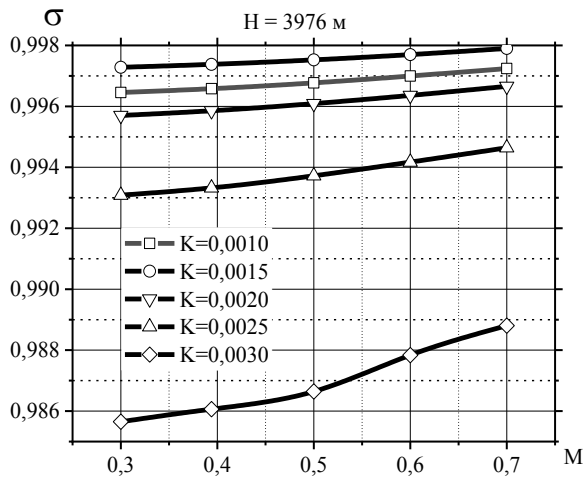


Рис. 2. Залежності коефіцієнту відновлення повного тиску від числа М при зміні кривизни S-подібного каналу

Висновки

Результати досліджень мають теоретичне і практичне значення для обґрунтування раціонального значення кривизни S-подібного каналу ковшового входного пристрою.

Напрямом подальших досліджень є розробка методики і моделі дослідження раціонального S-подібного каналу ковшового входного пристрою спільно з гвинтовентилятором силової установки.

Література

1. *Інтеграція авіаційних силових установок літальних апаратів [Текст]: підручник / Ю. М. Терещенко [та інші] : за ред. Ю. М. Терещенка. – К. : НАУ-друк, 2009. – 344 с.*
2. *Теорія теплових двигунів [Текст]: підручник / Ю. М. Терещенко [та інші] : за ред. Ю. М. Терещенка. – К. : Вища школа, 2001. – 382 с.*
3. Hancock, J. P. *Analysis of Results from Wind Tunnel Tests of Inlets for an Advanced Turboprop Nacelle Installation [Text] / J. P. Hancock, V. Lyman, A. P. Pennock // NASA CR 174937. – 1986. – 176 с.*
4. Chudý, P. *Aerodynamic Analysis of Turboprop Engine Air Intake [Text] / P. Chudý, K. Fiakovský, J. Friedl // Acta Politechnica. – 2004. – Vol. 44, iss. 3. – P. 66-70.*
5. Wellborn, S. R. *Study of the compressible flow in a diffusing S-duct [Text] / S. R. Wellborn, B. A. Reichert, T. H. Okiishi // NASA Technical Memorandum 106411 – 1993. – 110 p.*

6. *Complex aero-engine intake ducts and dynamic distortion [Text] / David G MacManus, Nicola Chiereghin, Daniel Gil Prieto and Pavlos Zachos. – Cranfield University, Bedfordshire, United Kingdom, 2017. – 40 p.*

7. *Computational Design Optimization for S-Ducts [Text] / Alessio D'Ambros, Timoleon Kipouros, Pavlos Zachos, Mark Savill, Ernesto Benini // Designs. – 2018. – Vol. 2, Iss. 4. – Article No. 36. DOI: 10.3390/DESIGNS2040036.*

8. *Самолет Ан-70 № 01-02. Оценка характеристик входного устройства маршевой двигательной установки с модернизированным винтовентилятором СВ-27 [Текст] // АНТК им. О.К. Антонова. Тех. Отчет № 70.702.032.Д1-12, 2012. – 100 с.*

References

1. Tereshhenko, Yu. M., Kuly`k, M. S., Panin, V. V. *Integraciya aviacijny`x sy`lovy`x ustanovok lital`ny`x aparativ [Integration of aircraft power plants]. Kyiv, Vy`d-vo Nacz. aviacz. un-tu «NAU-druk», 2009. 344 p.*
2. Tereshhenko, Yu. M., Bojko, L. G., Dmy`triyev, S. O. et al. *Teoriya teplovy`x dvy`guniv [Theory of heat engines]. Kyiv, Vy`ssha shkola Publ., 2001. 382 p.*
3. Hancock, J. P., Lyman, V., Pennock, A. P. *Analysis of Results from Wind Tunnel Tests of Inlets for an Advanced Turboprop Nacelle Installation. NASA CR 174937, June 1986. 176 p.*
4. Chudý, P., Fiakovský, K., Friedl, J. *Aerodynamic Analysis of Turboprop Engine Air Intake. Acta Politechnica, 2004, vol. 44, iss. 3, pp. 66-70.*
5. Wellborn, S. R., Reichert, B. A., Okiishi, T. H. *Study of the compressible flow in a diffusing S-duct. J Propul Power. NASA Technical Memorandum 106411, 1993. 110 p.*
6. David G. MacManus, Nicola Chiereghin, Daniel Gil Prieto and Pavlos Zachos. *Complex aero-engine intake ducts and dynamic distortion. Cranfield University, Bedfordshire, United Kingdom, 2017. 40 p.*
7. Alessio D'Ambros, Timoleon Kipouros, Pavlos Zachos, Mark Savill, Ernesto Benini. *Computational Design Optimization for S-Ducts. Designs, 2018, vol. 2, iss. 4, article no. 36. DOI: 10.3390/designs2040036.*
8. *Samolet An-70 № 01-02. Ocenka harakteristik vhodnogo ustrojstva marshevoj dvigatel'noj ustanovki s modernizirovannym vintoventiljatorom SV-27 [Assessment of the characteristics of the input device of the main propulsion system with a modernized propfan SV-27]. ANTK im. O. K. Antonova. Teh. Otchet No. 70.702.032.D1-12, 2012. 100 p.*

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE CURVATURE,
CONSTRICTION OF S-CHAPED CHANNEL AND FLIGHT CONDITIONS
ON THE EFFICIENCY OF THE BUCKET INLET DEVICE**

*Oleg Zhornik, Ihor Kravchenko, Mykhailo Mitrakhovich,
Ekaterina Balalaieva*

When creating a modern aircraft, the principle of optimal integration of the power plant and the aircraft is used to ensure the maximum target function, determined by its functional purpose. The specific fuel consumption and specific thrust of the power plant depend significantly on the loss of the total air pressure in the inlet device, which is characterized by the total recovery factor. The change in pressure along the diameter of the propfan affects the efficiency of the inlet of the power plant. When using the inlet ring device, its efficiency decreases, due to low pressure in the area of the root part of the propfan blades. The use of a bucket inlet allows air to be supplied to the channel from the area located near the middle part of the blade height and this is the main factor influencing the reduction of pressure losses in the air supply channel. When using a bucket inlet, curvature and constriction are important factors influencing the effectiveness of S-channels. The influence of the curvature of the S-shaped channel on the total pressure recovery coefficient at a constant value of its narrowing is studied in this work. The study S-shaped channel in its geometric parameters is equivalent to the channel of the annular inlet device of a power plant with a turbofan engine. The total pressure recovery coefficient of an S-shaped channel is calculated from the flow parameters in the sections of the S-shaped channel by solving the Navier-Stokes equations using the Florian Menter two-layer turbulence model (SST Transitional No. 4 Gamma Theta) and the combined finite element model at the entrance to the channel and in the channel itself - hexahedral, at the exit tetrahedral. An analysis of the dependence of the total pressure recovery coefficient of the S-shaped channel on the M number and the channel curvature shows that, up to a curvature of 0.002, the total pressure recovery coefficient is not significantly affected. A further increase in the channel curvature has a significant effect on the change in the total pressure recovery coefficient, which is associated with flow separation and losses from the vortex formation.

Keywords: power plant; turboprop engine; bucket inlet device; S-shaped channel; channel curvature; channel constriction; full pressure recovery factor; mathematical modeling.

Жорник Олег Володимирович – головний конструктор, Державне підприємство «Івченко-Прогрес», Запоріжжя, Україна.

Кравченко Ігор Федорович – д-р техн. наук, член-кореспондент НАН України, Генеральний конструктор – директор, Державне підприємство «Івченко-Прогрес», Запоріжжя, Україна.

Мітрахович Михайло Михайлович – д-р техн. наук, проф., заступник директора, Державне підприємство «Івченко-Прогрес», Запоріжжя, Україна.

Балаласва (Дорошенко) Катерина Вікторівна – д-р техн. наук, доц., проф. каф. авіаційних двигунів, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

Oleg Zhornik - chief designer, State Enterprise «Ivchenko-Progress», Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: zhornikov@ivchenko-progress.com, ORCID: 0000-0002-0609-6264.

Ihor Kravchenko – Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, General Designer, Director SE «Ivchenko-Progress», Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: ivchenko-progress@ivchenko-progress.com, ORCID: 0000-0003-2304-3356.

Mykhailo Mitrakhovich – Doctor of Technical Sciences, professor, Deputy Director, State Enterprise «Ivchenko-Progress», Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: mmmma777@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7656-1371.

Ekaterina Balalaieva (Doroshenko) – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of aviation engine, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: kiki_ua@ukr.net, ORCID: 0000-0001-6495-3263.