

УДК 621.452.33.05

doi: 10.32620/aktt.2022.4.06

В. Ю. УСЕНКО¹, К. В. БАЛАЛАЄВА², М. М. МІТРАХОВИЧ³¹ ДП «Антонов», Київ, Україна² Національний авіаційний університет, Київ, Україна³ ДП «Івченко-Прогрес», Запоріжжя, Україна

ОЦІНКА ТЯГИ ЗАКАПОТОВАНОГО СПІВВІСНОГО ГВИНТОВЕНТИЛЯТОРА

Одні з базових вимог до існуючих та перспективних авіаційних двигунів – висока питома потужність, низька питома витрата палива, низький рівень шуму. Метою досліджень є оцінка тяги закапотованого співвісного гвинтовентилятора. В якості досліджуваного об'єкту обрано співвісний гвинтовентилятор. Периферійний діаметр першого і другого ряду гвинтовентилятора сягає 4,5 м. Кількість лопатей першого ряду гвинтовентилятора – 8, другого – 6. Капот мав довжину 3,214 м і максимальну товщину профілю – 0,23 м. Для проведення дослідження створена модель співвісного гвинтовентилятора для проведення чисельного експерименту. Моделювання течії в закапотованому і відкритому співвісному гвинтовентиляторі проводились для висоти польоту $H=7534$ м, при частоті обертання першого та другого ряду гвинтовентилятора 850 об/хв. Число Маха на вході дорівнювало 0,52. За результатами дослідження побудовано гістограму оцінки тяги закапотованого і відкритого співвісного гвинтовентилятора. Моделювання течії при оцінці тяги закапотованого та відкритого співвісного гвинтовентилятора проводились при однакових умовах польоту. Результати дослідження показали, що наявність капоту дає досить значний приріст в тязі – тяга співвісного гвинтовентилятора збільшується на 82 %. Однак треба відзначити, що при розрахунках не враховувався лобовий опір, що створює капот. Оцінка лобового опору капоту – наступна задача дослідження. Отримані візуалізації обтікання відкритого та закапотованого співвісного гвинтовентилятора демонструють якісні та кількісні зміни значень досліджуваних параметрів при обтіканні. Можна побачити, що при наявності капота повний тиск за гвинтовентилятором значно збільшується. Збільшення тяги закапотованого співвісного гвинтовентилятора дає можливість знизити частоту обертання гвинтовентилятора для забезпечення тяги як у відкритого гвинтовентилятора, що приведе до покращення акустичних характеристик гвинтовентилятора. Також зменшення акустичного випромінювання можна досягнути за рахунок розміщення у капоті конструкцій, що поглинають звук.

Ключові слова: капот; тяга; чисельний експеримент; співвісний гвинтовентилятор; відкритий гвинтовентилятор; акустичні характеристики.

Вступ

Світова енергетична криза диктує жорсткіші вимоги щодо зменшення витрати палива (підвищення економічності двигунів) всіх видів транспорту, особливо це стосується авіаційної галузі. Крім того, для цивільних літаків з кожним роком посилюються вимоги щодо авіаційного шуму та шкідливих викидів. Все це визначає сучасні тенденції розвитку авіаційних двигунів. Одні з базових вимог до існуючих та перспективних авіаційних двигунів – висока питома потужність, низька питома витрата палива, низький рівень шуму. Турбогвинтові та турбогвинтовентиляторні двигуни, перспективний двигун Open Rotor відрізняються високою економічністю, проте вони мають суттєвий недолік – високий рівень шуму, що генерує гвинт або гвинтовентилятор.

Літературний огляд

У роботі [1] розповідається про питання сучасного стану та останні досягнення в галузі «зелених» тех-

нологій для авіаційного транспорту. Зокрема, робота охоплює нові тенденції та розробки, що пов'язані із силовими установками для «зеленої» авіації. Розглянуто проблеми та перспективи відкритого гвинтовентилятора (Open Rotor).

У роботі [2] сформульовано та проаналізовано нові вимоги до «зелених» літаків та розглянуто можливі шляхи їх вирішення.

У роботі [3] представлений комплексний прогноз найімовірніших шляхів розвитку сталої «зеленої» авіації. Особлива увага приділяється розробці необхідних технологій для проектування/експлуатації літаків, силових установок та виробництва альтернативного палива як у короткостроковій, так і довгостроковій перспективі. Істотні риси початку «зеленої» авіації окреслено з урахуванням прогнозованої державної політики.

Однією з основних тенденцій розвитку силових установок є подальша розробка двигуна Open Rotor, проте з явною перевагою щодо витрати палива, він

має проблеми пов'язані з значним рівнем шуму, що випромінюється гвинтовентилятором [4].

У роботі [5] запропоновані заходи щодо покращення розробки редуктора для співвісних гвинтовентиляторів (двигун Open Rotor також має співвісний гвинтовентилятор).

Одним із можливих рішень щодо покращення акустичних характеристик відкритого співвісного гвинтовентилятора є використання капота. У роботі [6] автор оцінює характеристики однорядного гвинтовентилятора та показує, що за наявності капота має місце покращення тяги гвинтовентилятора.

У роботі [7] представлені результати чисельного та фізичного експерименту для закапотованого гвинта, показано перевагу наявності капота.

Таким чином, дослідження характеристик закапотованих гвинтів та гвинтовентиляторів є актуальними, наявність капота дозволить покращити характеристики гвинтів та гвинтовентиляторів. Однак на сьогоднішній день залишається не до кінця досліджено характеристики закапотованого співвісного гвинтовентилятора.

Метою роботи є оцінки тяги закапотованого співвісного гвинтовентилятора.

Постановка задачі дослідження

В якості досліджуваного об'єкту обрано співвісний гвинтовентилятор. Периферійний діаметр першого і другого ряду гвинтовентилятора сягає 4,5 м. Кількість лопатей першого ряду гвинтовентилятора – 8, другого – 6. Капот мав довжину 3,214 м і максимальну товщину профілю – 0,23 м.

Для проведення дослідження була зроблена модель співвісного гвинтовентилятора для проведення чисельного експерименту.

На рис. 1 зображено тривимірну модель досліджуваного закапотованого співвісного гвинтовентилятора.

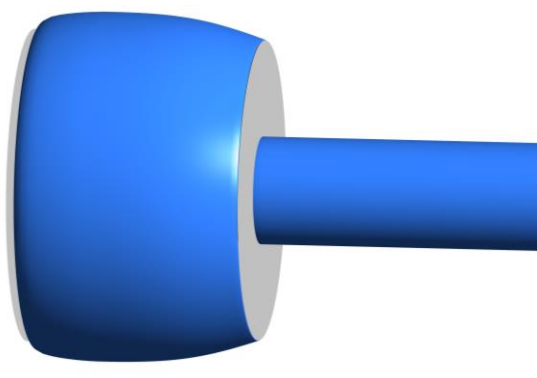


Рис. 1. Тривимірна модель досліджуваного закапотованого співвісного гвинтовентилятора

Створена модель для дослідження представляла собою циліндр з радіусом 75 м та висотою 150 м, в якому створено модель співвісного гвинтовентилятора без капота та з капотом. Розрахункова сітка складалася із блоків, сумарна кількість комірок сягала 20 млн. При моделюванні течії використана система рівнянь Нав'є – Стокса, що замикалася моделлю турбулентної в'язкості SST Gamma Theta Transitional, умова періодичності не використовувалась.

Результати

Моделювання течії в закапотованому і відкритому співвісному гвинтовентиляторі проводились для висоти польоту $H=7534$ м, при частоті обертання першого та другого ряду гвинтовентилятора 850 об/хв. Число Маха на вході дорівнювало 0,52. За результатами дослідження побудовано гістограму оцінки тяги закапотованого і відкритого співвісного гвинтовентилятора (рис. 2). На рис. 2 цифрою 1 позначено тягу відкритого співвісного гвинтовентилятора, 2 – тягу закапотованого співвісного гвинтовентилятора.

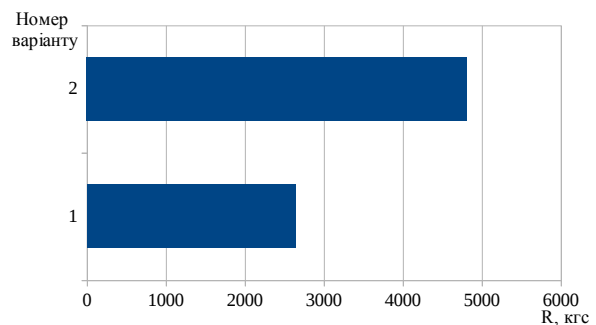


Рис. 2. Гістограма оцінки тяги закапотованого і відкритого співвісного гвинтовентилятора

Моделювання течії при оцінці тяги закапотованого та відкритого співвісного гвинтовентилятора проводились при однакових умовах польоту. Результати дослідження показали, що наявність капота дає досить великий приріст тяги – тяга співвісного гвинтовентилятора збільшується на 82 %. Однак треба відзначити, що при розрахунках не враховувався лобовий опір, що створює капот. Оцінка лобового опору капота – наступна задача дослідження.

На рис. 3 - 6 показана візуалізація обтікання закапотованого та відкритого співвісного гвинтовентилятора.

Отримані візуалізації обтікання відкритого та закапотованого співвісного гвинтовентилятора демонструють якісні та кількісні зміни значень досліджуваних параметрів при обтіканні. Можна побачити, що при наявності капота повний тиск за гвинтовентилятором значно збільшується.

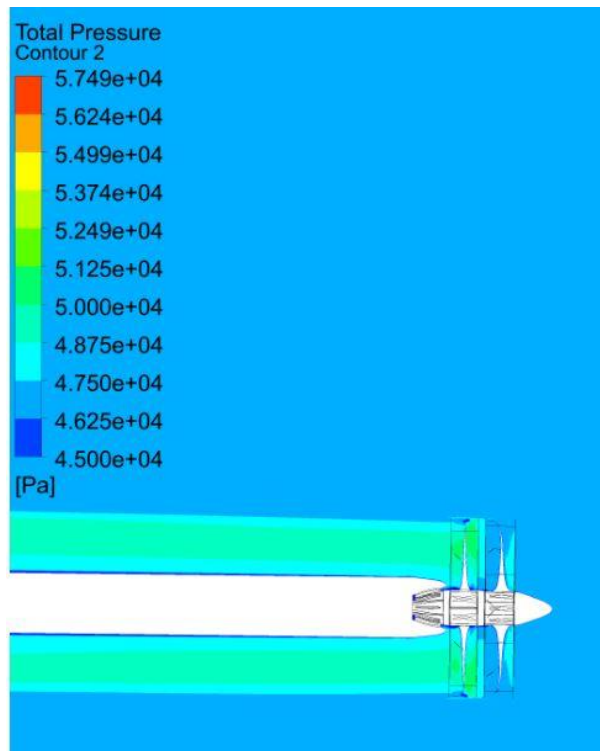


Рис. 3. Поле повного тиску при обтіканні відкритого співвісного гвинтовентилятора

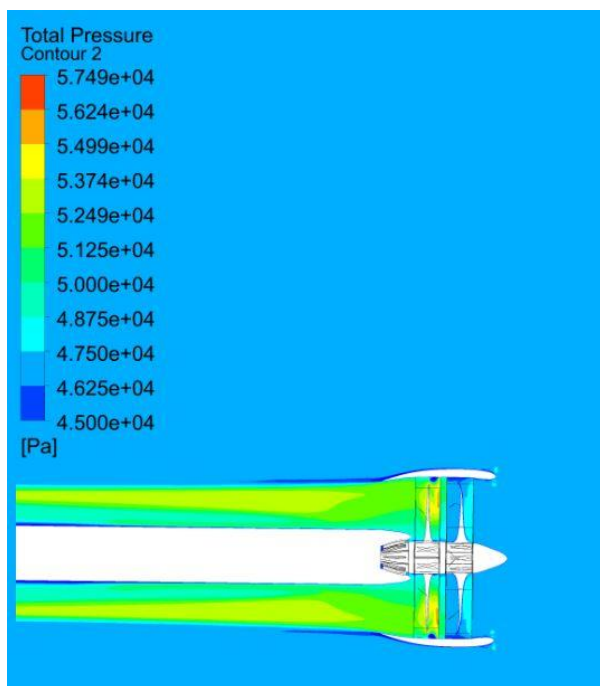


Рис. 4. Поле повного тиску при обтіканні закапотованого співвісного гвинтовентилятора

Таким чином, наявність капоту дає можливість суттєво підвищити тягу гвинтовентилятора, а це, в свою чергу, дозволяє розрахувати знижену частоту обертання, при якій буде забезпечена тяга, яку має відкритий гвинтовентилятор.

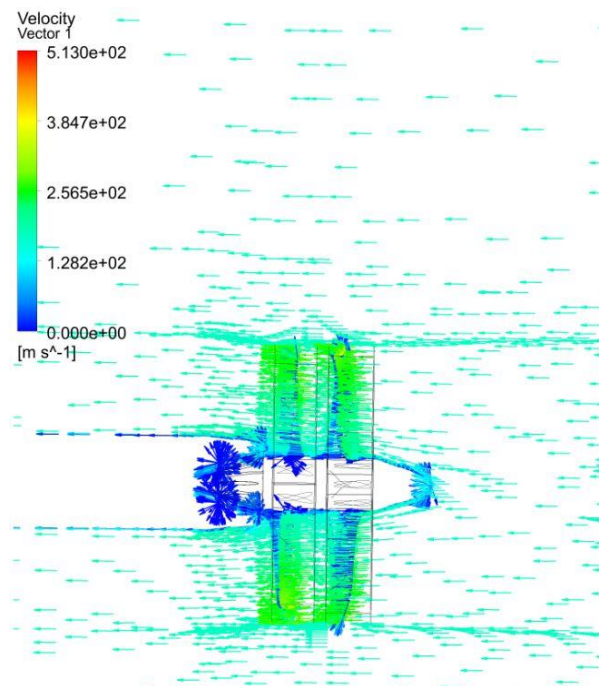


Рис. 5. Векторне поле швидкості при обтіканні відкритого співвісного гвинтовентилятора

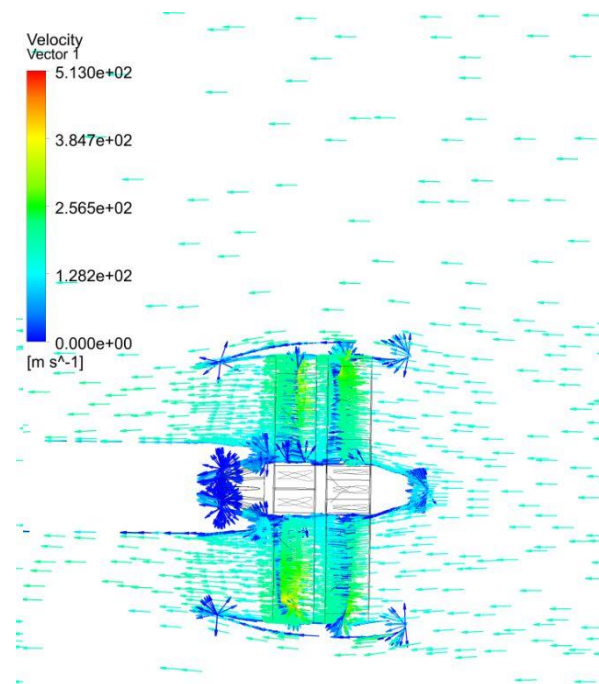


Рис. 6. Векторне поле швидкості при обтіканні закапотованого співвісного гвинтовентилятора

Зниження частоти обертання – один із класичних засобів зменшення акустичного випромінювання лопаткових машин. До того ж у капоті можна розмістити конструкції, поглинають звук, які теж будуть давати змогу зменшити акустичне випромінювання.

Висновки

В роботі представлено результати моделювання течії для оцінки тяги закапотованого та відкритого співвісного гвинтовентилятора, що проводились при однакових умовах польоту.

Результати дослідження показали, що наявність капоту дає досить значний приріст тяги – тяга співвісного гвинтовентилятора збільшується на 82 %. Збільшення тяги закапотованого співвісного гвинтовентилятора дає можливість знизити частоту обертання гвинтовентилятора для забезпечення тяги як у відкритого гвинтовентилятора, що приведе до покращення акустичних характеристик гвинтовентилятора. Також зменшення акустичного випромінювання можна досягнути за рахунок розміщення у капоті конструкцій, що поглинають звук.

Література

1. Agarwal, R. K. *Recent Advances in Aircraft Technology* [Text] / Ramesh K. Agarwal. – Croatia : InTech, 2012. – 544 p.
2. Hughes, Ch. E. *Aircraft Engine Technology for Green Aviation to Reduce Fuel Burn* [Text] / Ch. E. Hughes, Dale Van Zante, J. Heidmann // AIAA. 2011. – Article No. 3531. – P. 1-17. DOI: 10.2514/6.2011-3531.
3. Nelson, E. S. *Green Aviation: Reduction of Environmental Impact Through Aircraft Technology and Alternative Fuels* [Text] / E. S. Nelson, D. R. Reddy. – London : CRC Press, 2017. – 396 p. DOI: 10.1201/b20287.
4. *Modeling Geared Turbofan and Open Rotor Engine Performance for Year-2050 Long-Range and Short-Range Aircraft* [Text] / F. S. Mastropierro, J. Sebastampillai, F. Jacob, A. Rolt // J. Eng. Gas Turbines Power. – 2020. – Vol. 142, Iss. 4. – Article no. 041016. – 12 p. DOI: 10.1115/1.4045077.
5. *Preliminary Design Framework for the Power Gearbox in a Contra-Rotating Open Rotor* [Text] / D. G. San Benito Pastor, D. Nalianda, V. Sethi [et al.] // J. Eng. Gas Turbines Power. – 2021 – Vol. 143, Iss. 4. – Article No. 041022. – 12 p. DOI: 10.1115/1.4049411.
6. Денисюк, О. Оцінка характеристик закапотованого гвинтовентилятора ТРДД з надвисоким ступенем двоконтурності [Текст] / О. Денисюк // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2021. – № 4(172). – С. 41-46. DOI: 10.32620/aktt.2021.4sup1.06.
7. Vasanthakumar, P. *Design, Fabrication and Analysis of an Electric Ducted Fan* [Text] / P. Vasanthakumar, J. Tsering, S. S. Suddunuri // *Gtindia*. – 2019. – 10 p. DOI: 10.1115/GTINDIA2019-2620.

References

1. Agarwal, R. K. *Recent Advances in Aircraft Technology*. Croatia, InTech Publ., 2012. 544 p.
2. Hughes, Ch. E., Zante, Dale Van., Heidmann, J. *Aircraft Engine Technology for Green Aviation to Reduce Fuel Burn*. AIAA, 2011, article no. 3531, pp. 1-17. DOI: 10.2514/6.2011-3531.
3. Nelson, E. S., Reddy, D. R. *Green Aviation: Reduction of Environmental Impact Through Aircraft Technology and Alternative Fuels*. London, CRC Press Publ., 2017. 396 p. DOI: 10.1201/b20287.
4. Mastropierro, F. S., Sebastampillai, J., Jacob, F., Rolt, A. *Modeling Geared Turbofan and Open Rotor Engine Performance for Year-2050 Long-Range and Short-Range Aircraft*. J. Eng. Gas Turbines Power, 2020, vol. 142, iss. 4, article no. 041016. 12 p. DOI: 10.1115/1.4045077.
5. San Benito Pastor, D. G., Nalianda, D., Sethi, V., Midgley, R., Rolt, A., Novelo, D. A. *Preliminary Design Framework for the Power Gearbox in a Contra-Rotating Open Rotor*. J. Eng. Gas Turbines Power, 2021, vol. 143, iss. 4, article no. 041022. 12 p. DOI: 10.1115/1.4049411.
6. Denisjuk O. Performance assessment of the ducted propfan of the turbofan engine with ultra-high bypass ratio. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologija – Aerospace technic and technology*, 2021, no. 4(172), pp. 41-46. DOI: 10.32620/aktt.2021.4sup1.06.
7. Vasanthakumar, P., Tsering, J., Suddunuri, S. S. *Design, Fabrication and Analysis of an Electric Ducted Fan*. *Gtindia*, 2019. 10 p. DOI: 10.1115/GTINDIA2019-2620.

Надійшла до редакції 15.04.2022, розглянута на редколегії 27.07.2022

EVALUATION OF THE THRUST OF A DUCTED COAXIAL PROPFAN

Vjacheslav Usenko, Kateryna Balalaieva, Mykhailo Mitrakhovych

One of the basic requirements for existing and future aircraft engines is high specific power, low specific fuel consumption, and low noise level. The current work evaluates the thrust of a ducted coaxial propfan. A coaxial propfan was chosen as the object under study. The peripheral diameter of the first and second rows of the propfan reaches 4.5 m. The number of blades of the first row of the propfan is 8, the second – 6. The duct had a length of

3.214 m and a maximum profile thickness of 0.23 m. For this study, a model of a coaxial propeller fan was made for a numerical experiment. The model created for the study was a cylinder with a radius of 75 m and a height of 150 m. A model of an open coaxial fan and a ducted coaxial fan was created in this cylinder. The simulation of the flow in a ducted and open coaxial propfan was carried out for a flight altitude of $H=7534$ m at a rotational speed of the first and second rows of the propfan at 850 rpm. The input Mach number was 0.52. Based on the results of the study, a histogram for evaluating the thrust of the ducted and open coaxial propfan was constructed. The simulation of the flow in assessing the thrust of a ducted and open coaxial propfan was carried out under the same flight conditions. The results of the study showed that the presence of a duct gives a fairly large increase in thrust - the thrust of a coaxial propfan increases by 82 %. However, note that the calculations do not consider the drag that the duct will create. Evaluation of the drag of the ducted is the next task of the study. The resulting visualizations of the flow around an open and ducted coaxial propfan demonstrate qualitative and quantitative changes in the values of the parameters under study during flow. It can be seen that in the presence of a duct, the total pressure behind the propfan increases significantly. Increasing the thrust of a ducted coaxial propfan makes it possible to reduce the rotational speed of the propfan to provide thrust similar to that of an open propfan, which will improve the acoustic characteristics of the propfan. Also, the acoustic radiation can be reduced by placing sound-absorbing structures in the duct.

Keywords: duct; thrust; numerical experiment; coaxial propfan; open propfan; acoustic characteristics.

Усенко Вячеслав Юрійович – канд. техн. наук, головний конструктор з силових установок та систем життєзабезпечення, ДП «Антонов», Київ, Україна.

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

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

Vjacheslav Usenko – Candidate of Technical Sciences, Chief Designer for Power Plants and Life Support Systems, State Enterprise "Antonov", Kyiv, Ukraine,
e-mail: uvy1758@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4794-9294,
<https://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=NiFo09gAAAAJ>

Kateryna Balalaieva – Doctor of Technical Sciences, Professor of Dept. of aviation engine, National Aviation University, Kyiv, Ukraine,
e-mail: Kiki_ua@ukr.net, ORCID: 0000-0001-6495-3263, Scopus Author ID: 57190439468,
<https://scholar.google.com/citations?user=D5hIt0wAAAAJ&hl=ru>

Mykhailo Mitrakhovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director, SE «Ivchenko-Progress», Zaporizhzhia, Ukraine,
e-mail: mmma777@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7656-1371, ResearchGate ID: Mykhailo-Mitrakhovich.