

УДК 621.452.322.03.01

doi: 10.32620/aktt.2021.4sup1.06

О. В. ДЕНИСЮК

ДП «Івченко-Прогрес», Запоріжжя, Україна

ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК ЗАКАПОТОВАНОГО ГВИНТОВЕНТИЛЯТОРА ТРДД З НАДВИСОКИМ СТУПЕНЕМ ДВОКОНТУРНОСТІ

Багато в чому ефективність і економічність літального апарату визначаються параметрами і характеристиками силової установки. Аналіз тенденцій світового двигунобудування показує, що збільшення ступеня двоконтурності дозволяє істотно підвищити економічність двигунів. Одним з можливих технічних рішень забезпечення високих характеристик перспективних двигунів з надвисоким ступенем двоконтурності є використання закапотованого гвинта або гвинтовентилятора. Таке рішення дозволяє зменшити акустичне випромінювання. Крім того, основна перевага закапотованих гвинтовентиляторів полягає в певному збільшенні тяги при одній і тій же витраченій потужності. При обтіканні закапотованого гвинтовентилятора на носовій частині профільованого кільця виникає значна за величиною сила підсмоктування, проекція якої на напрямок руху забезпечує позитивну тягу кільця. Наявність капота також веде до зниження кінцевих втрат гвинта, що, в свою чергу, приводить до підвищення ККД двигуна. Для можливості оцінки характеристик закапотованого гвинтовентилятора досліджувалися закапотований і відкритий гвинтовентилятори з однаковим лопатковим вінцем гвинтовентилятора. Дослідження проводились методом чисельного експерименту. Об'єктом дослідження виступає гвинтовентилятор з діаметром на вході 2,924 м і кількістю лопатей 14 одиниць для двоконтурного двигуна зі ступенем двоконтурності $m = 30$. Для дослідження характеристик гвинтовентилятора обраний крейсерський режим роботи в діапазоні частот обертання $n = 1500...1650$ об/хв. при числах Маха на вході від $M = 0,54$ до $M = 0,8$. В даній роботі при розрахунку не враховувалася сила опору капота. Для якісної оцінки течії в гвинтовентиляторі була отримана візуалізація ліній струму в закапотованому та відкритому гвинтовентиляторі. Аналіз результатів дослідження показав, що для всіх режимів роботи закапотований гвинтовентилятор має силу тяги вище, ніж відкритий гвинтовентилятор. Приріст сили тяги досягає 71...76 %. Візуалізація ліній струму при обтіканні відкритого та закапотованого гвинтовентилятора показала, що наявність капота сприяє поліпшенню внутрішньої аеродинаміки гвинтовентилятора.

Ключові слова: закапотований гвинтовентилятор; надвисока ступінь двоконтурності; відкритий гвинтовентилятор; приріст сили тяги; чисельний експеримент; моделювання течії; перспективний двигун.

Вступ

Багато в чому ефективність і економічність літального апарату визначаються параметрами і характеристиками силової установки. Аналіз тенденцій світового двигунобудування показує, що збільшення ступеня двоконтурності дозволяє істотно підвищити економічність двигунів. Одним з можливих технічних рішень забезпечення високих характеристик перспективних двигунів з надвисоким ступенем двоконтурності є використання закапотованого гвинта або гвинтовентилятора.

Відомо, що закапотований гвинт (гвинт в кільці, сопло Корта) розроблений спочатку Луїджі Стіпе (1931), а потім Людовігом Кортом (1934) [1]. Сьогодні закапотований гвинт (гвинт в кільці) знайшов своє застосування в багатьох галузях. Гвинт в кільці може застосовуватися в якості фенестрону одногвинтових вертольотів, рушіїв для морських суден, літаків, дирижаблів, суден на повітряній подушці, а

також у вигляді автономних систем безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

Використання закапотованого гвинта (гвинтовентилятора) дозволяє зменшити акустичне випромінювання. Крім того, основна перевага закапотованих гвинтовентиляторів полягає в певному збільшенні тяги при одній і тій же витраченій потужності. При обтіканні закапотованого гвинтовентилятора на носовій частині профільованого кільця виникає значна за величиною сила підсмоктування, проекція якої на напрямок руху забезпечує позитивну тягу кільця.

Також наявність капота приводить до зниження кінцевих втрат гвинта, що веде до підвищення ККД.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій

Аналіз публікацій показує, що досить багато робіт [2 – 4] присвячено експериментальним і чисе-

льним дослідженням характеристик гребного гвинта в кільці як рушія морських і річкових суден.

У роботі [2] розглянуті особливості вихрового обтікання чотирьохлопатевого закапотованого гвинта. Показано, що застосування кільця сприяє зменшенню сліду за гвинтом і підвищує його ККД. Дослідження виконані за допомогою чисельного моделювання. В результаті проведених досліджень автори роблять висновок, що вихрова структура потоку всередині закапотованого гвинта включає в себе вихровий зсувний шар в каналі, вихрове обтікання на кінці лопаті і в кореновому перетині лопаті, нерівномірність обтікання на втулці і радіальну нерівномірність потоку. Автори відзначають, що наявність капота безпосередньо впливає на розподіл вихрового обтікання на кінці лопаті. При наявності капота інтенсивність вихрового обтікання на кінці лопаті значно зменшується.

У роботі [3] методом чисельного експерименту досліджуються характеристики закапотованого чотирьохлопатевого гвинта. Проведено порівняння результатів фізичного та чисельного експерименту, яке показало задовільну збіжність. Аналіз результатів чисельного та фізичного експериментів дозволяє стверджувати, що моделювання течії шляхом вирішення рівнянь RANS з використанням моделі турбулентної в'язкості SST $k - \omega$ може бути використано для такого класу задач.

У роботі [4] наведено метод оптимізації геометричних параметрів закапотованого гвинта (оптимізується форма лопатей). Показана можливість поліпшення характеристики гвинта при оптимізації.

У монографії [5] узагальнені результати досліджень, проведених автором в галузі аеродинаміки повітряних гвинтів і гвинтокільцевих рушіїв. Розглянуто характеристики одиночних, співвісних, дворядних гвинтів при різній кількості лопатей в профільованому кільці і без кільця. Надано характеристики повітряних гвинтів і гвинтокільцевих рушіїв на режимі реверсу, косоного обдування, при наявності механізації і без неї. Наведено дані щодо впливу кривизни профілів і покриття гвинта на аеродинамічні характеристики, впливу зазору між кінцями лопатей і внутрішньою поверхнею кільця, хорди профілю кільця, спрямного апарату і конусної приставки. Розглянуто обтікання лопаті повітряного гвинта, поширено відрив на лопаті, що обертається, вплив малих чисел Рейнольдса, особливості обтікання на режимі реверсу повітряного гвинта і гвинтокільцевого рушія. Представлені характеристики профілів гвинтів.

Особливе місце закапотований гвинт (гвинтовентилятор, вентилятор) має як рушій літака в складі силової установки з газотурбінним двигуном.

Застосування капота або кільця дає як ряд переваг, так і ряд недоліків.

Роботи, спрямовані на дослідження характеристик закапотованих гвинтів (гвинтовентиляторів, вентиляторів), до цього часу залишаються не до кінця дослідженими.

Аналіз літератури показав, що активну розробку гвинта/ гвинтовентилятора/ вентилятора в кільці ведуть NASA і ЦАГІ.

У 2014 році в NASA запропонована конструкція закапотованого гвинтовентилятора [6]. Відмінною особливістю конструкції закапотованого гвинтовентилятора є робоче колесо, що виготовлене за технологією «blisk». Також конструкція гвинтовентилятора передбачає спеціальний ряд лопатей для вторинного повітря, що може використовуватися для охолодження деталей двигуна та редуктора гвинтовентилятора.

У роботі [7] пропонується метод розрахунку аеродинамічних характеристик системи «гвинт в кільці» з колектором, перетин якого є півколо, а дифузор – циліндр обмеженою висоти в умовах, коли на виході з короткого дифузора повітряний потік не отримує повного розширення. Розглядається робота системи на місці.

У роботі [8] досліджується вплив густоти решітки закапотованих гвинтовентиляторів на їх тягу. Автори роботи роблять висновок, що при зменшенні густоти решітки до $b/t = 0,218$ тяга гвинта зменшується в порівнянні з варіантом гвинтовентилятора при $b/t = 0,728$ (периферійний радіус гвинтовентилятора становить 301,625мм).

У роботі [9] представлені результати експериментальних досліджень закапотованого гвинтовентилятора діаметром 1,22 м із змінним кутом установки лопатей β . Кут установки лопатей β змінювався в діапазоні від 11° до 43° . Найбільший ККД досягнуто при куті установки 23° .

При дослідженні характеристик гвинта в кільці особливе місце займають питання інтерференції літального апарату та гвинта в кільці.

Робота [10] присвячена питанню інтерференції повітряних гвинтів з елементами планера літака. Одним із способів збільшення тяги може бути установка гвинта в кільці спеціального профілювання. Розрахункові дослідження зі збільшення тяги штовхаючого повітряного гвинта внаслідок інтерференції частин конструкції моделі показали, що розміщення гвинта в кільці сприяє зростанню тяги в 2 рази.

Таким чином, дослідження, що присвячені вивченню характеристик закапотованого гвинта для газотурбінних двигунів, є актуальними. В першу чергу, це пов'язано з поліпшенням акустичних характеристик закапотованого гвинта в порівнянні з відкритим гвинтом, а також можливістю збільшення

тяги за рахунок профілювання капота (кільця). Однак до теперішнього часу питання дослідження характеристик закапотованих гвинтів для перспективних двигунів з надвисоким ступенем двоконтурності залишаються до кінця не розкритими.

Мета роботи – оцінка характеристики закапотованого гвинта для двоконтурного двигуна з надвисоким ступенем двоконтурності.

Постановка задачі дослідження

Об'єктом дослідження виступає гвинтовентилятор для двоконтурного двигуна зі ступенем двоконтурності $m = 30$. Периферійний діаметр гвинтовентилятора на вході – 2,924 м; втулковий діаметр на вході – 0,6 м; кількість лопатей – 14. На рис. 1 наведена твердотільна модель гвинтовентилятора.

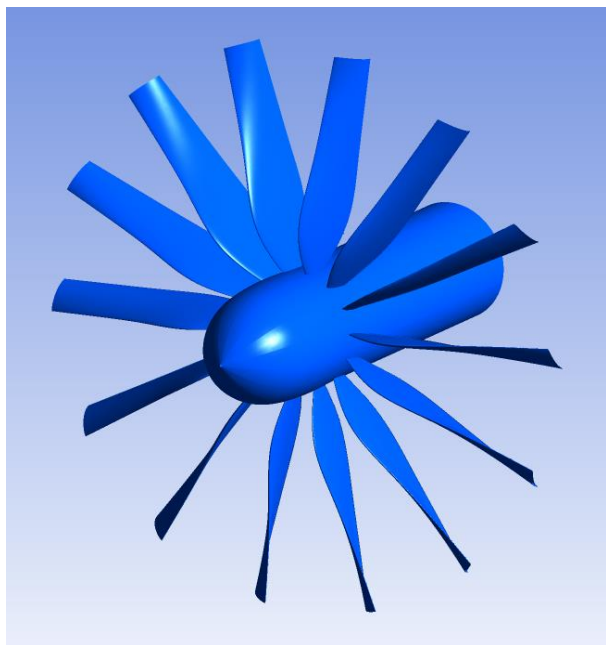


Рис. 1. Твердотільна модель гвинтовентилятора

Для дослідження характеристик гвинтовентилятора обраний крейсерський режим роботи в діапазоні частот обертання $n = 1500 \dots 1650$ об/хв. при числах Маха на вході $M = 0,54 \dots 0,8$.

Дослідження проводились методом чисельного експерименту. Система рівнянь Нав'є-Стокса замикалася моделлю турбулентності SST Ментера. Тип розрахункової сітки – неструктурована з адаптивним примежовим шаром. Для можливості оцінки характеристик закапотованого гвинтовентилятора досліджувалися закапотований і відкритий гвинтовентилятори з однаковим лопатковим вінцем гвинтовентилятора.

Аналіз результатів досліджень

З використанням результатів досліджень розрахована сила тяги гвинтовентилятора і побудована залежність сили тяги R від числа Маха на вході M для відкритого і закапотованого гвинтовентилятора (рис.2).

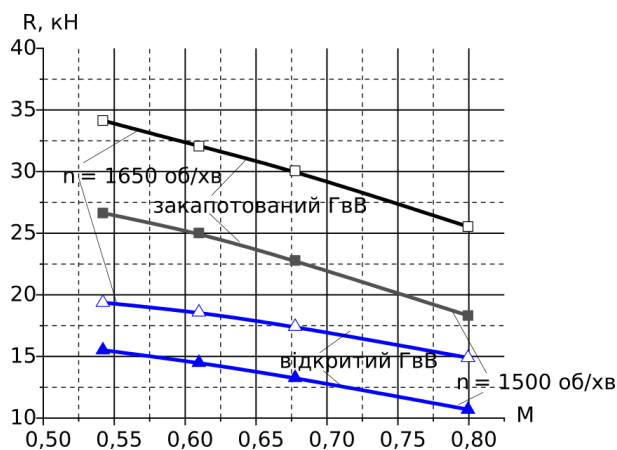


Рис. 2. Залежність сили тяги гвинтовентилятора від числа Маха на вході закапотованого і відкритого гвинтовентилятора

Аналіз результатів дослідження показав, що для всіх режимів роботи закапотований гвинтовентилятор має силу тяги вище, ніж відкритий гвинтовентилятор. Приріст сили тяги для діапазону частот обертання $n = 1500 \dots 1650$ об/хв. при числах Маха на вході від $M = 0,54$ до $M = 0,8$ досягає 71...76 %. Для частоти обертання $n = 1500$ об/хв. в досліджуваному діапазоні чисел Маха приріст сили тяги для закапотованого гвинтовентилятора становить $R = 11,1 \dots 7,6$ кН, а для частоти обертання $n = 1650$ об/хв. – $R = 14,8 \dots 10,7$ кН.

Варто також сказати, що в даній роботі при розрахунку не враховувалася сила опору капота – це завдання майбутніх досліджень.

Для якісної оцінки течії в гвинтовентиляторі на рис.3 і рис. 4 показана візуалізація ліній струму в закапотованому та відкритому гвинтовентиляторі при частоті обертання 1650 об/хв., осьової швидкості на вході 180 м/с.

Можна відзначити, що наявність капота сприяє зменшенню рівня нерівномірності при обтіканні лопатей гвинтовентилятора. Також відсутні вихрові зони, що мають місце у відкритому гвинтовентиляторі в периферійній зоні лопатей. Загалом, можна стверджувати, що наявність капота сприятливо впливає на внутрішню аеродинаміку гвинтовентилятора.

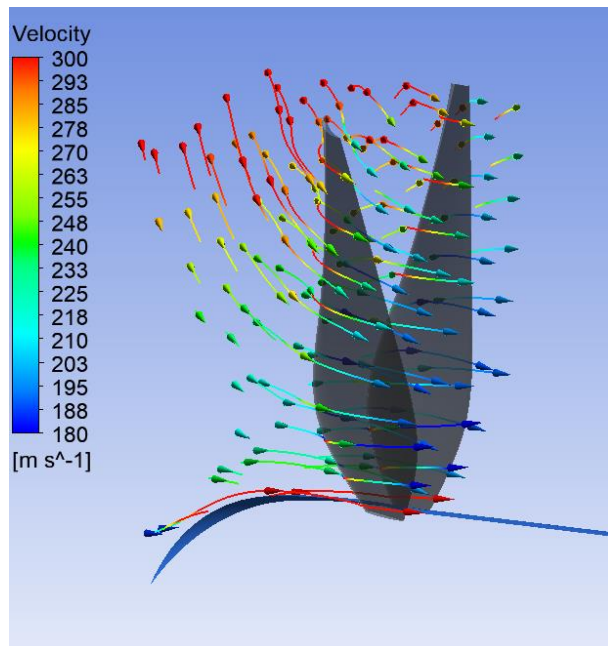


Рис. 3. Візуалізація ліній струму при обтіканні закапотованого гвинтовентилятора

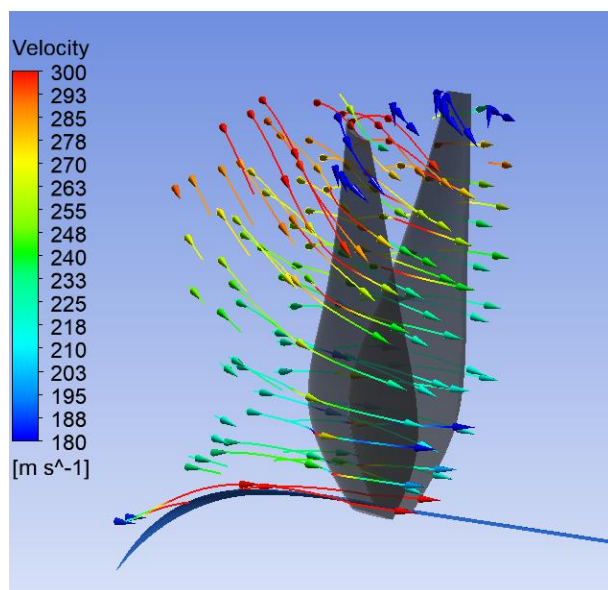


Рис. 4. Візуалізація ліній струму при обтіканні відкритого гвинтовентилятора

Висновки

За результатами чисельного моделювання течії в закапотованому та відкритому гвинтовентиляторі для перспективного двоконтурного двигуна з надвисоким ступенем двоконтурності встановлено, що капот має суттєвий вплив на приріст тяги гвинтовентилятора. Для діапазону частот обертання $n = 1500 \dots 1650$ об/хв. при числах Маха на вході від $M = 0,54$ до $M = 0,8$ приріст сили тяги досягає біль-

ше 70 %. В даному дослідженні при розрахунку сили тяги не враховувалася сила опору капота.

Візуалізація ліній струму при обтіканні відкритого та закапотованого гвинтовентилятора показала, що наявність капота сприяє поліпшенню внутрішньої аеродинаміки гвинтовентилятора.

Література

1. Nozzle Around Boat Propeller Adds to Power [Електронний ресурс] // *Popular Mechanics*. - september 1937. - V. 68, № 3. - P. 369. - Режим доступу: https://books.google.com.ua/books?id=rNoDAAAAMBAJ&pg=PA369&dq=Popular+Science+1935+plane+%22Popular+Mechanics%22&hl=en&ei=r81ETsS3KI3isQLY3dX5BQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&redir_esc=y#v=onepage&q&f=true. - 12.01.2020.
2. Numerical Simulation of Internal Flow Field Characteristics for a Ducted Propeller [Text] / Jie Gong, C. Y. Guo, T. C. Wu [et al.] // *11th International Conference on Cognitive Modeling: proceedings of Conference, Berlin, Germany, 13-15 April 2012*. - Режим доступу: <https://www.sci-entech.com/ICCM2017/PDFs/2522-9280-1-PB.pdf>. - 15.05.2021.
3. Numerical analysis of ducted propeller and pumpjet propulsion system using periodic computational domain [Text] / M. Motallebi-Nejad, M. Bakhtiari, H. Ghassemi [et al.] // *Journal of Marine Science and Technology*. - 2017. - № 22. - P. 559-573.
4. Yu, L. Numerical and Experimental Analysis of A Ducted Propeller Designed by A Fully Automated Optimization Process Under Open Water Condition [Text] / L. Yu, M. Druckenbrod, M. Greve // *China Ocean Engineering*. - 2015. - Vol. 29, No. 5. - P. 733.
5. Остроухов, С. П. Аэродинамика воздушных винтов и винтокольцевых движителей : монография [Текст] / С. П. Остроухов. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2014. - 328 с.
6. Пат. 8667775 США, МПК B64C11/14, F02K3/02. Reverse flow engine core having a ducted fan with integrated secondary flow blades [Text] / Kisska M. K., Princen N. H., Kuehn M. S., Cosentino G. В. заявник і патентовласник THE BOEING COMPANY. - №20090536426 ; заявл. 05.08.09 ; опубл. 11.03.14.
7. Аэродинамика винта в кольце с коллектором и коротким диффузором в режиме работы на месте [Текст] / В. И. Шайдаков // *Вестник МАИ*. - 2013. - Т. 20, № 4. - С. 36-46.
8. Investigations of tip-jet and exhaust jet development in a ducted fan [Text] / L. Li, G. Huang, J. Chen // *Chinese Journal of Aeronautics*. - 2019. - Vol. 32(11). - P. 2443-2454.
9. Mort, K. W. Performance characteristics of a 4-foot-diameter ducted fan at zero angle of attack for several fan blade angles [Електронний ресурс] / K. W. Mort // *NASA Technical note*. - 1964. - 20 p. - Режим

доступу: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19660002851.pdf>. – 15.05.2021.

10. Губский, В. В. Интерференция воздушных винтов с элементами планера и механизацией крыла легкого транспортного самолета на режимах взлета и посадки [Текст] : дис. канд. техн. наук : 05.07.01 / Губский Виталий Валентинович. – ЦАГИ, Жуковский, 2017. – 150 с. – Режим доступа: <http://www.tsagi.ru/upload/iblock/76e/76e6ca5f99339925c5d913c921a935e3.pdf>. – 15.05.2021.

References

1. Nozzle Around Boat Propeller Adds to Power. *Popular Mechanics*, September 1937, vol. 68, no. 3, pp. 369. Available at: https://books.google.com.ua/books?id=rNoDAAAAMBAJ&pg=PA369&dq=Popular+Science+1935+plane+%22Popular+Mechanics%22&hl=en&ei=r81ETsS3KI3isQLY3dX5BQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&redir_esc=y#v=onepage&q&f=true (accessed 12.01.2020).

2. Gong, J., Guo, C.Y., Wu, T.C., Song, K.W., Lin, J.F. Numerical Simulation of Internal Flow Field Characteristics for a Ducted Propeller. *11th International Conference on Cognitive Modeling*. Berlin, April 13 - 15, 2012. Available at: <https://www.sci-entech.com/ICCM2017/PDFs/2522-9280-1-PB.pdf> (accessed 15.05.2021)

3. Motallebi-Nejad, M., Bakhtiari, M., Ghassemi, H., Fadavie, M. Numerical analysis of ducted propeller and pumpjet propulsion system using periodic computational domain. Motallebi-Nejad M., Bakhtiari M., Ghassemi H., Fadavie M. *Journal of Marine Science and Technology*, 2017, no. 22, pp. 559–573.

4. Yu, L., Druckenbrod, M., Greve, M. Numerical and Experimental Analysis of A Ducted Propeller De-

signed by A Fully Automated Optimization Process Under Open Water Condition. *China Ocean Engineering*, 2015, vol. 29, no. 5, pp. 733.

5. Ostroukhov, S. P. *Aerodinamika vozdushnykh vintov i vintokol'tsevykh dvizhiteley* [Aerodynamics of propellers and ducted propfan proellers], Moscow, FIZMATLIT Publ., 2014. 328 p.

6. Kisska, M. K., Princen, N. H., Kuehn, M. S., Cosentino, G. B. *Reverse flow engine core having a ducted fan with integrated secondary flow blades*. Patent US, №. 8667775, 2014.

7. Shaydakov, V. I. Aerodinamika vinta v kol'tse s kollektorom i korotkim diffuzorom v rezhime raboty na meste [Aerodynamics of the “fan-in-fin” system with short collector and the diffuser in a hover]. *Vestnik MAI* [Proc. of the Scientific Bulletin MAI (Moscow Aviation Institute)], 2013. vol. 20, no. 4, pp. 36–46 (In Russian).

8. Li, L., Huang, G., Chen, J. Investigations of tip-jet and exhaust jet development in a ducted fan. *Chinese Journal of Aeronautics*, 2019, vol. 32(11), pp. 2443–2454.

9. Mort, K. W. Performance characteristics of a 4-foot-diameter ducted fan at zero angle of attack for several fan blade angles. *NASA Technical note*, 1964, 20 p. Available at: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19660002851.pdf> (accessed 15.05.2021).

10. Gubskiy, V. V. *Interferentsiya vozdushnykh vintov s elementami planera i mekhanizatsiey kryla legkogo transportnogo samoleta na rezhimakh vzleta i posadki*. Diss. kand. tekhn. nauk [Interference of propellers with airframe elements and wing mechanization of a light transport aircraft during takeoff and landing. PhD diss.]. Zhukovskiy, TsAGI Publ., 2017. 150 p. Available at: <http://www.tsagi.ru/upload/iblock/76e/76e6ca5f99339925c5d913c921a935e3.pdf> (accessed 15.05.2021).

Надійшла до редакції 31.05.2021, розглянута на редколегії 16.08.2021

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ЗАКАПОТИРОВАННОГО ВИНТОВЕНТИЛЯТОРА ТРДД СО СВЕРХВЫСОКОЙ СТЕПЕНЬЮ ДВУХКОНТУРНОСТИ

О. В. Денисюк

Во многом эффективность и экономичность летательного аппарата определяются параметрами и характеристиками силовой установки. Анализ тенденций мирового двигателестроения показывает, что увеличение степени двухконтурности позволяет существенным образом повысить экономичность двигателей. Одним из возможных технических решений обеспечения высоких характеристик перспективных двигателей со сверхвысокой степенью двухконтурности является использования закапотированного винта или винтовентилятора. Такое решение позволяет уменьшить акустическое излучение. Кроме того, основное преимущество закапотированных винтовентиляторов состоит в определенном увеличении тяги при одной и той же израсходованной мощности. При обтекании закапотированного винтовентилятора на носовой части профилированного кольца возникает значительная по величине сила подсосывания, проекция которой на направление движения обеспечивает положительную тягу кольца. Наличие капота также ведет к снижению конечных потерь винта, что, в свою очередь, приводит к повышению КПД двигателя. Для возможности оценки характеристик закапотированного винтовентилятора исследовались закапотированный и открытый винтовентиляторы с одинаковым лопаточным венцом винтовентилятора. Исследования проводились методом численного эксперимента. Объектом исследования выступает винтовентилятор с диаметром на входе 2,924 м и количеством лопастей 14 штук для двухконтурного двигателя со степенью двухконтурности $m = 30$. Для исследования характеристик винтовентилятора выбран крейсерский режим работы в диапазоне частот об-

ращения $n = 1500 \dots 1650$ об/мин. при числах Маха на входе от $M = 0,54$ до $M = 0,8$. В данной работе при расчете не учитывалась сила сопротивления капота. Для качественной оценки течения в винтовентиляторе была получена визуализация линий потока в закапотированном и открытом винтовентиляторе. Анализ результатов исследования показал, что для всех режимов работы закапотированный винтовентилятор имеет силу тяги выше, чем открытый винтовентилятор. Прирост силы тяги достигает 71...76 %. Визуализация линий потока при обтекании открытого и закапотированного винтовентилятора показала, что наличие капота способствует улучшению внутренней аэродинамики винтовентилятора.

Ключевые слова: закапотированный винтовентилятор; сверхвысокая степень двухконтурности; открытый винтовентилятор; прирост силы тяги; численный эксперимент; моделирование течения; перспективный двигатель.

PERFORMANCE ASSESSMENT OF THE DUCTED PROPFAN OF THE TURBOFAN ENGINE WITH ULTRA-HIGH BYPASS RATIO

O. Denisyuk

In many respects, the efficiency and economy of the aircraft are determined by the parameters and characteristics of the power plant. The analysis of trends in the world engine building shows that an increase in the bypass ratio can significantly increase the efficiency of engines. One of the possible technical solutions to ensure the high performance of the perspective engines with an ultra-high bypass ratio is the use of a ducted propeller or propfan. This solution allows you to reduce acoustic radiation. In addition, the main advantage of the ducted propfans is a certain increase in thrust for the same consumed power. When flowing around a ducted propfan, a significant suction force arises on the nose of the profiled ring, the projection of which on the direction of movement provides a positive thrust of the ring. The presence of a duct also leads to a decrease in the final loss of the propeller, which, in turn, leads to an increase in the efficiency of the engine. Ducted and unducted propfans with the same blade row are investigated to assess the characteristics of a ducted propfan. The researches were carried out by the method of numerical experiment. The object of the research is a propfan with an inlet diameter of 2.924 m and the number of blades of 14 for a turbofan engine with a bypass ratio of $m = 30$. To research the propfan characteristics, a cruising mode of operation was selected in the range of revolutions $n = 1500 \dots 1650$ rpm. with Mach numbers at the input from $M = 0.54$ to $M = 0.8$. In this work, the calculation did not take into account the resistance force of the duct. For a qualitative assessment of the flow in the propfan, visualization of the flow lines in the ducted and unducted propfan was obtained. The analysis of the research results showed that for all modes of operation the ducted propfan has a thrust force higher than the unducted propfan. The increase in thrust load reaches 71 ... 76 %. Visualization of the flow lines when flowing around a ducted and unducted propfan showed that the presence of a duct improves the internal aerodynamics of the propfan.

Keywords: ducted propfan; ultra-high bypass ratio; unducted propfan; increase in thrust load; numerical experiment; flow modeling; perspective engine.

Денисюк Олеся Валеріївна – інженер-конструктор 1 категорії; ДП «Івченко-Прогрес», Запоріжжя, Україна.

Olesya Denisyuk – engineer-designer of 1 category; SE Ivchenko-Progress, Zaporozhye, Ukraine, e-mail: Denisyukolesya@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7516-7399.