

УДК 629.7.014-519.026.55:531.41

doi: 10.32620/aktt.2024.4sup1.05

А. А. КОВТУН

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ВПЛИВ ФОРМИ ТА КІЛЬКОСТІ ЛОПАТЕЙ НА КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ ГВИНТА БПЛА

Предметом дослідження є коефіцієнт корисної дії гвинта безпілотного літального апарату. **Об'єкт** – гвинт безпілотного літального апарату. **Метою** роботи є оцінка впливу форми та кількості лопатей на зміну коефіцієнта корисної дії гвинта безпілотного літального апарату. Для досягнення мети були вирішені наступні **задачі**: отримати залежність ККД від частоти обертання для семи дволопатевого гвинтів з різною формою лопаті; отримати залежність ККД від частоти обертання для гвинтів з двома, трьома, чотирма та п'ятьма лопатями. Дослідження течії у гвинті безпілотного літального апарату проводилось **методом** чисельного експерименту. Рівняння Нав'є-Стокса замикались моделлю турбулентності SST. Коефіцієнт корисної дії розраховувався на основі аеродинамічного розрахунку гвинта. Діапазон частоти обертання змінювався від 3000 об/хв. до 11000 об/хв. **Результати**: Представлена оцінка впливу форми та кількості лопатей на ККД гвинтів БПЛА та розподілення сили тяги по поверхні лопаті. Показано, що форма та кількість лопатей впливають на ефективність гвинтів. Всі сім гвинтів з різною формою лопатей при певних частотах обертання мають ККД вище 0,9. При мінімальній дослідженій частоті обертання 3000 об/хв. ККД всіх дволопатевого гвинтів має найменші значення і становить від 0,2 до 0,78. При збільшенні частоти обертання ротора двигуна ККД гвинтів поступово збільшується, максимум ККД спостерігається при частотах обертання 6000...10000 об/хв. Візуалізація сили тяги на поверхні лопатей дволопатевого гвинтів показала, що форма лопатей також впливає на створення тяги. В ході двоетапного дослідження проведено обґрунтування форми та кількості лопатей гвинта БПЛА. Отриманий трилопатевого гвинт має ККД від 0,63 до 0,98 в діапазоні частот обертання від 3000 об/хв. до 11000 об/хв.. **Наукова новизна та практична значимість** проведених досліджень полягає в тому, що отримані нові дані щодо впливу форми та кількості лопатей гвинта безпілотного літального апарату на коефіцієнт корисної дії. Отримані дані можуть бути використані під час створення та оптимізації параметрів гвинтів безпілотних літальних апаратів.

Ключові слова: гвинт; форма лопаті; кількість лопатей; БПЛА; коефіцієнт корисної дії; моделювання течії; сила тяги; частота обертання; чисельний експеримент.

Вступ

В останні роки БПЛА стали відігравати незамінну роль у військовому та цивільному застосуванні як у нашій країні, так і у світі. Це спричиняє необхідність глибокого дослідження та покращення характеристик БПЛА. БПЛА типу квадрокоптер, має більшу динамічну стійкість, ніж БПЛА-гелікоптер. Повітряні гвинти квадрокоптера є інтегрованим руховим пристроєм БПЛА, що створює тягу для вертикального зльоту і посадки апарату. Зростання областей застосування квадрокоптерів та збільшення їх загальної кількості супроводжуються дедалі вищими очікуваннями, що висуваються до вдосконалення рухових установок БПЛА та систем управління енергоспоживанням. У більшості квадрокоптерів з вертикальним зльотом та посадкою використовується повітряний гвинт постійного кроку. Тягові характеристики багато в чому визначають ефективність БПЛА, можливість виконати ту чи іншу місію. Одним із визначальних факторів високих тягових

характеристик є оптимальні параметри гвинта – форма лопаті, кути установки, аеродинамічний профіль, діаметр лопаті гвинта, частота обертання, кількість лопатей і т.д. Не менш важливим параметром є коефіцієнт корисної дії (ККД).

Питанню дослідження тягових характеристик присвячено багато наукових праць. У роботі [1] представлений докладний аналіз методів та методик, які використовуються для розрахунку характеристик ККД, коефіцієнтів тяги та потужності повітряних гвинтів квадрокоптерів.

Важливим питанням при дослідженні ККД та тягових характеристик гвинта є розробка стендів і вибору апаратури для вимірювання тяги БПЛА. У роботі [2] авторами розроблено універсальну експериментальну вимірювальну систему для більш точного вимірювання параметрів повітряного гвинта (тяга, струм споживання, максимальні обороти). Для більш точного вимірювання також вимірювалися напруга акумулятора, температура та вологість до-вкільля. Отримано математичні залежності, які до-

звояють описати роботу гвинта у широкому діапазоні режимів роботи. У роботі [3] представлений випробувальний стенд для кількісного визначення тяги, крутного моменту, і вібрації повітряних гвинтів малих БПЛА.

Від вибору геометричних параметрів повітряного гвинта багато в чому залежатимуть льотно-технічні характеристики БПЛА, тому ці питання потребують додаткових досліджень.

У роботі [4] представлено детальний аналіз наукових публікацій щодо впливу на підйомну силу, силу тяги гвинта БПЛА та ККД гвинта за зміни геометрії гвинта БПЛА до 4 кг. Автори акцентують увагу, що процес вибору оптимальної геометрії гвинта є архіскладним завданням, у вирішенні якої значну допомогу надають методи CFD.

У дослідженні [5] виконано оптимізацію конструкції гвинта для режиму набору висоти та крейсерського режиму, також проведено оптимізацію конструкції лопаті гвинта для двох режимів роботи набору висоти та крейсерського польоту одночасно. Оптимальна конструкція гвинтів для крейсерського польоту має менші хорди, більший крок і більший діаметр, тоді як оптимальна конструкція гвинтів для набору висоти має більші хорди, менший крок і менший діаметр. Оптимальна конструкція гвинтів для двох режимів одночасно включає більш високі частоти обертання при цьому значення хорди і діаметра є проміжним між значеннями для кожного режиму окремо. Характеристики всіх отриманих оптимальних гвинтів кращі порівняно з базовим гвинтом. Автор проводить оцінку ККД, сили тяги гвинта та потужності двигуна.

В роботі [6] проведено дослідження аеродинамічних характеристик повітряного гвинта APC 1045. Дослідження виконувались в аеродинамічній трубі з подальшим порівнянням результатів з даними чисельного експерименту. Результати чисельного експерименту добре узгоджуються з результатами фізичного експерименту за всіма досліджуваними режимами роботи, похибка розрахунку коефіцієнта тяги і потужності становить близько 5% і 4% відповідно. З іншого боку, більш комплексне дослідження шляхом чисельного експерименту показує, що при збільшенні кроку гвинта зменшується підйомна сила, тобто ККД знижується. Збільшення втрат викликано вихровим характером обтікання в зонах втулки та закінцівки лопаті.

У роботі [7] розроблено емпіричні залежності, які дозволяють при заданому наборі попередніх параметрів конструкції БПЛА (потрібна тяга та крейсерська швидкість польоту), розрахувати параметри повітряного гвинта, обрати гвинт з високим ККД для заданих режимів польоту. Для отримання емпіричних залежностей авторами було опрацьова-

но характеристики 170 повітряних гвинтів БПЛА, діаметр яких варіювався від 2 до 18 дюймів.

Отже, на даний час існує необхідність проведення досліджень аеродинамічних характеристик гвинтів БПЛА.

Метою роботи є оцінка впливу форми та кількості лопатей на зміну коефіцієнта корисної дії гвинта безпілотної літальної апаратури.

Для досягнення мети були вирішені наступні задачі:

- отримати залежність ККД від частоти обертання для семи дволопатевої гвинтів з різною формою лопаті;
- отримати залежність ККД від частоти обертання для гвинтів з двома, трьома, чотирма та п'ятьма лопатями.

Постановка задачі дослідження

Об'єкт дослідження – гвинт БПЛА, який має кінцевий діаметр – 128мм.

Перший етап дослідження. Проведено оцінку ККД дволопатевої гвинтів БПЛА, досліджувалось 7 різних форм лопатей. Кути установки, довжина лопатей, кінцевий та втулковий діаметр залишались незмінними. Дволопатевої гвинти досліджувались при стандартних атмосферних умовах на висоті $H=0$ км, в діапазоні частот від 3000 об/хв. до 11000 об/хв. Під час дослідження боковий вітер не враховувався. Тривимірні моделі досліджуваних дволопатевої гвинтів БПЛА представлено на рис. 1.

Другий етап дослідження. Проведено оцінку впливу кількості лопатей на ККД гвинта. Кількість лопатей змінювалась від 2 до 5. Форма лопаті, кути установки, довжина лопатей, кінцевий та втулковий діаметр залишались незмінними для всіх досліджуваних варіантів гвинтів БПЛА. Обтікання гвинтів здійснювалось при стандартних атмосферних умовах на висоті $H=0$ км, в діапазоні частоти обертання від 3000 об/хв. до 11000 об/хв., боковий вітер не враховувався. На рис.2 представлено тривимірні моделі досліджуваних гвинтів БПЛА.

Ефективність повітряного гвинта оцінюється за допомогою коефіцієнта корисної дії (ККД). Під ККД повітряного гвинта η розуміють відношення корисної тягової роботи, здійсненої гвинтом для переміщення літальної апаратури у напрямі польоту (рівної добуток PV_0) до потужності двигуна, яка передається на повітряний гвинт [8]

$$\eta = PV_0 / N. \quad (1)$$

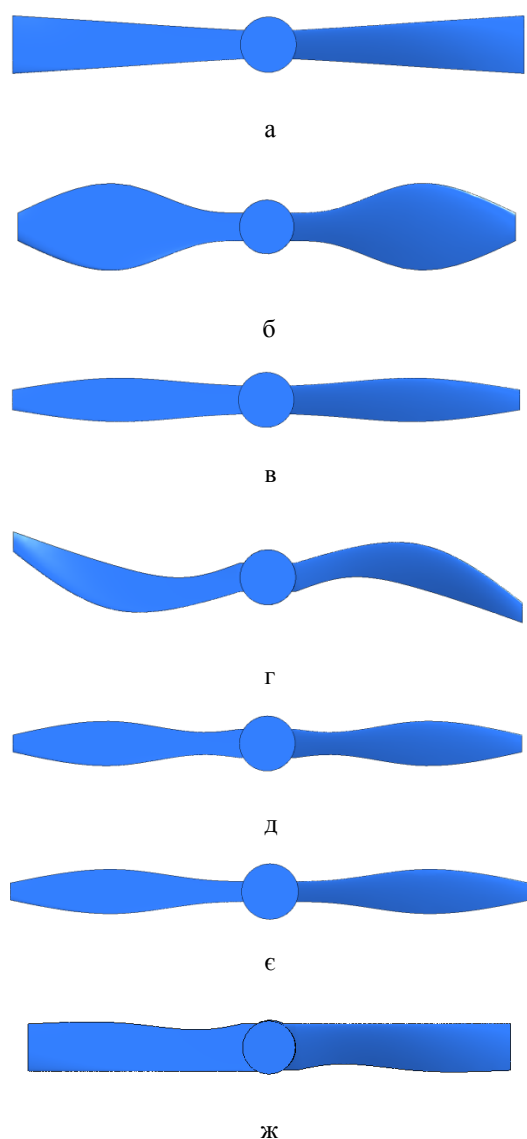


Рис. 1. Тривимірні моделі дволопатевого гвинта:
а – гвинт №1; б – гвинт №2; в – гвинт №3;
г – гвинт №4; д – гвинт №5; е – гвинт №6;
ж – гвинт №7

Аеродинамічний розрахунок гвинта проведено методом чисельного експерименту. Чисельний експеримент поставлено в програмному середовищі Ansys Workbench Student, застосовувались модулі Geometry (SpaceClaim), Mesh, CFX. Для всіх досліджуваних гвинтів побудовано розрахункову сітку з однаковою топологією з урахуванням прилежого шару. Система рівнянь Нав'є-Стокса замикалась моделлю турбулентності SST, яку було обрано за результатами вирішення тестової задачі [9].

Результати

В результаті проведення першого етапу дослідження моделювання обтікання дволопатевого

гвинтів БПЛА побудована залежність ККД гвинта від частоти обертання (рис. 3).

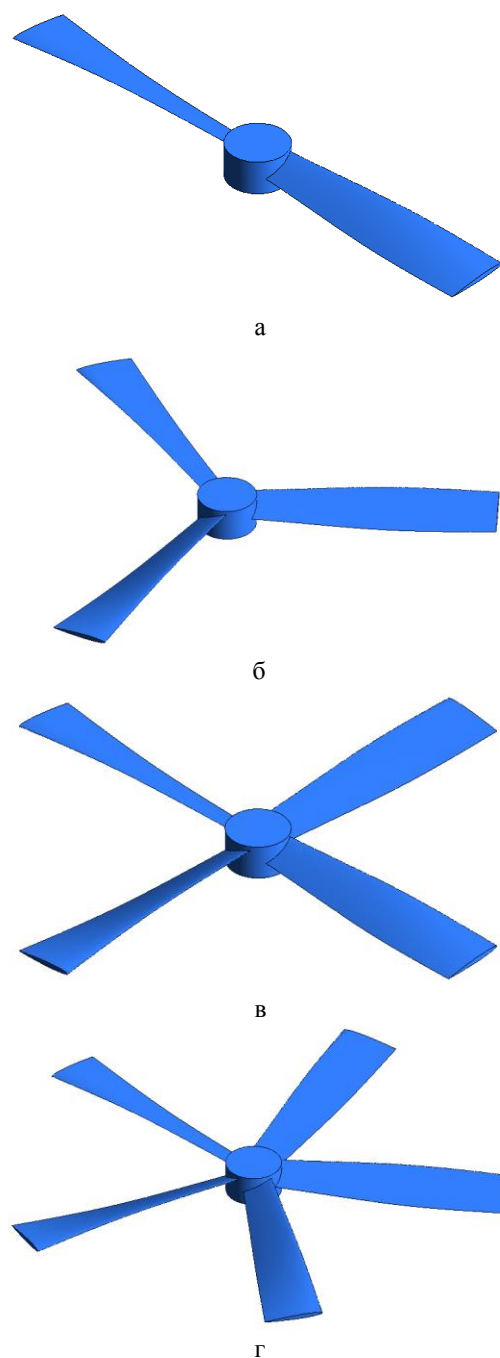


Рис. 2. Тривимірні моделі гвинтів:
а – дволопатевого гвинта; б – гвинта з трьома лопатями; в – гвинта з чотирма лопатями;
г – гвинта з п'ятьма лопатями

Аналіз графіку, представленого на рис. 3 показує, що всі гвинти при певних частотах обертання мають ККД вище 0,9. При мінімальній дослідженій частоті обертання 3000 об/хв. ККД всіх дволопатевого гвинтів має найменші значення і становить від 0,2 до 0,78. При збільшенні частоти обертання ротора двигуна ККД гвинтів поступово збільшується,

максимум ККД спостерігається при частотах обертання 6000...10000 об/хв.

Варіант дволопатевого гвинта №7 (рис. 4, ж) має найнижчі значення у всьому дослідженому діапазоні частот обертання.

Варіанти дволопатевих гвинтів №2 та №6 мають найвищі значення ККД при частотах обертання 3000 – 5000 об/хв., які становлять 0,6...0,78 – 0,88...0,9 відповідно.

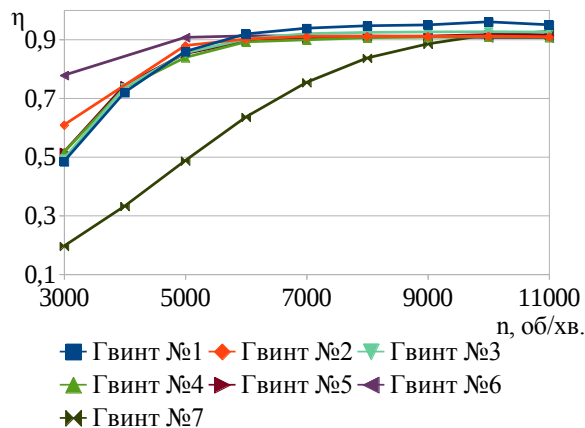


Рис. 3. Залежність ККД гвинтів квадрокоптера від частоти обертання

Значення ККД гвинтів № 1, 3, 4, 5 при частотах обертання 3000-5000 об/хв. становить 0,48...0,51 – 0,83...0,85 відповідно.

Із всіх досліджених варіантів гвинтів гвинт №1 має найвищі значення ККД, на частотах 8000 – 10000 об/хв. ККД сягає 0,94...0,95.

Отже, можна підтвердити твердження, що форма лопатей впливає на ККД. Також, із досліджених гвинтів з різними формами лопатей, варіант гвинта №1 має максимальні значення ККД; варіант гвинта №6 має найвищі значення ККД в діапазоні 3000 – 5000 об/хв.

Для більш зручної оцінки ефективності лопаті щодо створення сили тяги (площі лопаті, яка створює силу тяги) на рис. 4 представлено проєкцію лопатей досліджених варіантів гвинтів з візуалізацією сили тяги для частоти обертання 4000 об/хв.

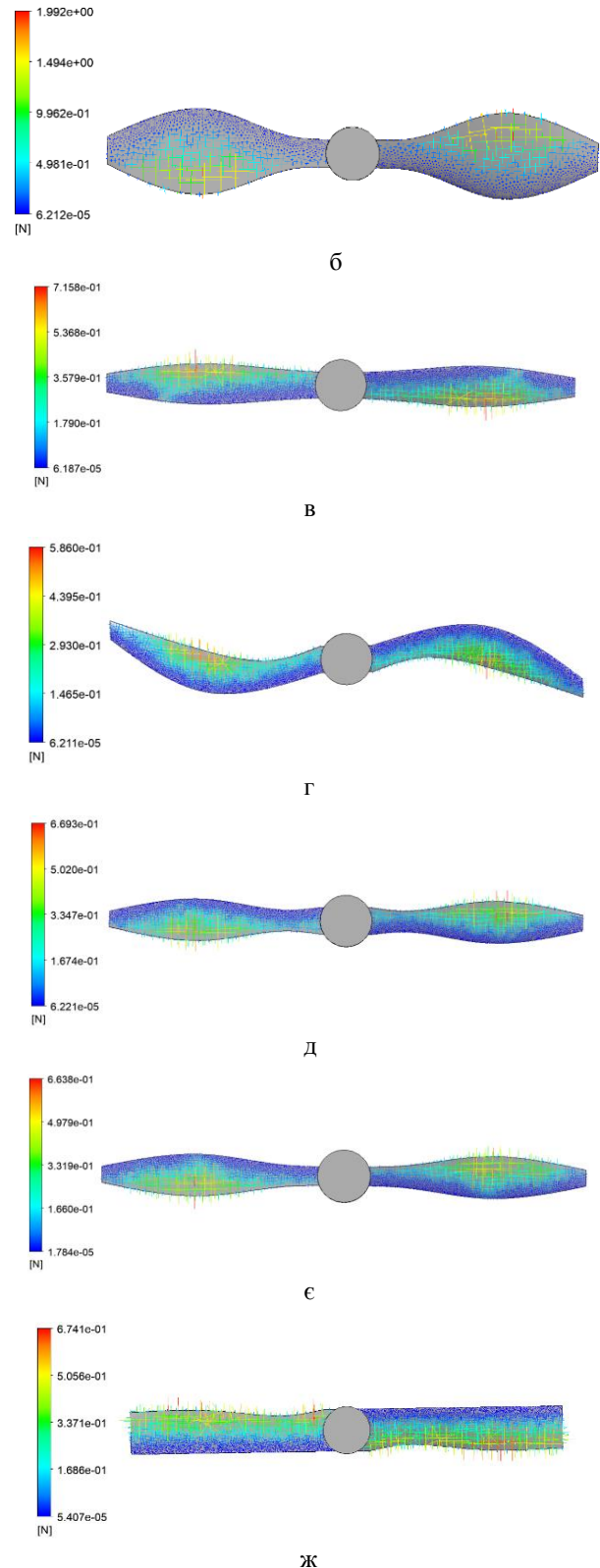
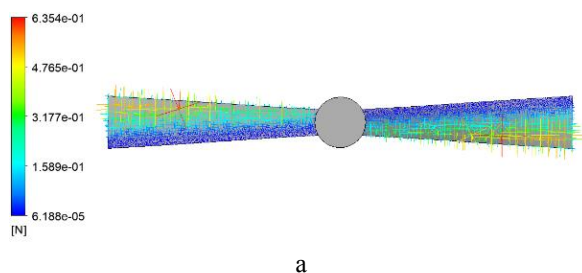


Рис. 4. Візуалізація сили тяги на лопатях гвинта: а – гвинт №1; б – гвинт №2; в – гвинт №3; г – гвинт №4; д – гвинт №5; є – гвинт №6; ж – гвинт №7

Гвинт №1 має форму лопатей, які створюють силу тяги по всій довжині лопатки, включаючи і втулкову частину і периферійну. У втулковій частині лопаті не працює приблизно 50 % площі лопаті, на периферійній - приблизно 30 %.

Форми лопатей гвинта №2, на відміну від всіх інших досліджених гвинтів, не генерують силу тяги у втулковій та периферійній частинах лопаті, що складає приблизно 40 % висоти лопаті. Силу тяги створює тільки частина середньої області лопаті.

Гвинт №3 має форму лопатей, які не створюють силу тяги на периферії, у втулковій частині працює тільки приблизно 10 % площі лопаті. Але, на відміну від інших досліджуваних гвинтів, є характерна область, де силу тяги створює вся поверхня лопатки.

Гвинт №4 має шаблевидні лопаті, які не створюють силу тяги на периферійній області лопаті, у втулковій частині працює приблизно 40...50 % площі.

Гвинт №5 та №6 мають схоже розподілення областей, де лопаті створюють силу тяги: периферійна частина не працює, втулкова частина має площу 30-40%, яка генерує силу тяги.

Характерною особливістю лопатей гвинта №7 є те, що сила тяги генерується по всій висоті лопаті. По всій висоті лопаті не створює силу тяги приблизно 30 % площі лопаті.

Отже, із всіх досліджуваних гвинтів, лопаті яких мають різну форму, але однакові кути установки, гвинт №1 має найвищі значення ККД в досліджуваному діапазоні частот обертання та характерну особливість форми лопатей, які створюють силу тяги по всій довжині лопаті, включаючи і втулкову частину і периферійну. У втулковій частині лопаті не працює приблизно 50 % площі лопаті, на периферійній - приблизно 30 %. Тому, для подальших досліджень обрано гвинт №1.

Другим етапом дослідження було проведення оцінки впливу кількості лопатей на ККД гвинта. Кількість лопатей змінювалась від 2 до 5 (рис. 2).

За результатами моделювання течії розраховувались значення тяги гвинта, потужності, необхідної для приводу гвинта, швидкості та за формулою 1 розраховувався ККД. На рис. 5 представлено отримані залежності ККД від частоти обертання для гвинтів з різною кількістю лопатей.

Аналіз отриманих залежностей показує, що кількість лопатей впливає на ККД гвинта. Також, у всьому дослідженому діапазоні найкращі характеристики має гвинт з трьома лопатями.

Можна відмітити наступні тенденції зміни ККД гвинта в залежності від кількості лопатей. В діапазоні частот обертання від 5000 об/хв. до 11000 об/хв. гвинти з трьома, чотирма та п'ятьма лопатями ма-

ють значення ККД вище, ніж у вихідного гвинта з двома лопатями. При чому, значення ККД п'ятилопатевого та чотирьохлопатевого гвинта в цьому діапазоні частот обертання майже однакові і менші, ніж значення ККД трилопатевого гвинта БПЛА.

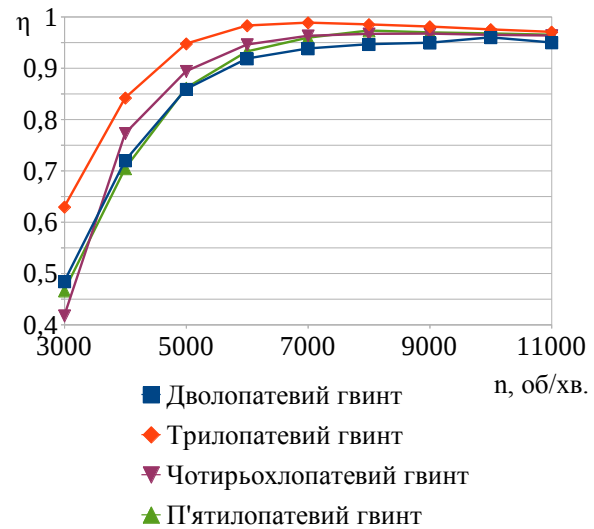


Рис. 5. Залежність ККД від частоти обертання гвинта

При частоті обертання від 4000 об/хв. до 6000 об/хв. значення ККД чотирьохлопатевого гвинта більше, ніж п'ятилопатевого, і менше, ніж значення ККД трилопатевого гвинта.

При менших обертах обертання - 3000 об/хв. дволопатевого гвинта має більші значення ККД, ніж чотирьохлопатевого та п'ятилопатевого, але гвинт з трьома лопатями має суттєво більший ККД, ніж дволопатевого. При частоті обертання 3000 об/хв. ККД трилопатевого гвинта сягає 0,63, на відміну від дволопатевого, який має ККД 0,485.

При частоті обертання гвинта 4000 об/хв. ККД трилопатевого гвинта збільшується до 0,84, при цьому ККД гвинта з чотирма лопатями складає 0,77, з п'ятьма та двома – 0,71 та 0,72 відповідно.

Взагалі, крива залежності ККД від частоти обертання для дволопатевого та п'ятилопатевого гвинта майже співпадають.

Гвинт з трьома лопатями має найбільше значення ККД при частоті обертання 6000 об/хв., яке сягає 0,98. ККД трилопатевого гвинта змінюється від 0,63 до 0,98, при частоті обертання 11000 об/хв. знижується до 0,97. Таким чином, ККД трилопатевого гвинта з розглянутою формою лопаті при заданих кутах установки поперечних перетинів дозволяє збільшити ККД від 0,02 до 0,15 в залежності від частоти обертання. Найбільше підвищення значення

ККД відбувається при частотах обертання 3000-4000 об/хв.

Висновки

В роботі представлена оцінка впливу форми та кількості лопатей на ККД гвинтів БПЛА та розподілення сили тяги по поверхні лопаті.

Показано, що форма та кількість лопатей впливають на ефективність гвинтів.

В ході двоетапного дослідження проведено обґрунтування форми та кількості лопатей гвинта БПЛА. Отриманий трилопате́вий гвинт має ККД від 0,63 до 0,98 в діапазоні частот обертання від 3000 об/хв. до 11000 об/хв.

Конфлікт інтересів

Автор заявляє, що немає конфлікту інтересів щодо цього дослідження, фінансового, особистого, авторського чи іншого, який міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в цій статті.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Наявність даних

Рукопис не має супутніх даних.

Використання штучного інтелекту

Автор підтверджує, що він не використовував технології штучного інтелекту при створенні даної роботи.

Подяка

Автор висловлює подяку кафедрі авіаційних двигунів Національного авіаційного університету.

Автор прочитав та погодився з опублікованою версією рукопису.

Література

1. Eraslan, Y. A literature review on determination of quadrotor unmanned aerial vehicles propeller thrust and power coefficients [Text] / Y. Eraslan, E. Özen, & T. Oktay // *Ejona X–International Conference on Mathematics–Engineering–Natural & Medical Sciences*. – 2020. – P. 1-12.
2. Experimental measurement of a UAV propeller's thrust [Text] / M. Kišev, L. Vacho, L. Tóth [et al] // *Tehnički vjesnik*. – 2022. – Vol. 29, iss. 1. – P. 73-80. DOI: 10.17559/TV-20201212185220.

3. Case Study of a Methodological Approach to the Verification of UAV Propeller Performance [Text] / G. Vorotović, J. Burazer, A. Bengin [et al] // *Strojarski vestnik-Journal of Mechanical Engineering*. 2023. – Vol. 69, iss. 5-6. – P. 199-207. DOI: 10.5545/SV-JME.2022.432.

4. A review on design and analysis of the propeller used in UAV [Text] / Y. Patel, A. Gaurav, K. Srinivas, & Y. Singh // *Int. J. Adv. Prod. Ind. Eng.* – 2017. – Vol. 605. – P. 20-23.

5. Wall, D. L. Optimum propeller design for electric UAVs [Text]: Thesis. ... Degree of Master of Science: 04.08.2012 / David Lee Wall. – Auburn, 2012. – 130 p.

6. Liu, X. Comparison studies on aerodynamic performances of a rotating propeller for small-size UAVs [Text] / X. Liu, D. Zhao, & N. L. Oo // *Aerospace Science and Technology*. – 2023. – Vol. 133. – P. 108148. DOI: 10.1016/j.ast.2023.108148.

7. Kedarisetty, S. Novel empirical models for estimating aerodynamic coefficients of small UAV propellers [Text] / S. Kedarisetty, & J. G. Manathara // *Aerospace Systems*. – 2023. – Vol. 6. – P. 457-471. DOI: 10.1007/s42401-023-00203-y.

8. Інтеграція авіаційних силових установок і літальних апаратів [Текст] / Ю. М. Терещенко, М. С. Кулик, В. В. Панін, & М. М. Мітрахович; МОН України; Терещенко Ю. М., ред. – Київ : НАУ-друк, 2009. – 341 с.

9. Kovtun, A. A. Test problem of modeling the flow around the propeller of an unmanned aerial vehicle [Text] / A. A. Kovtun, & K. V. Balalaieva // *Modern research in technical sciences: the impact of martial law in Ukraine: International scientific conference*. – 2024. – P. 31-33. DOI: 10.30525/978-9934-26-414-6-7

References

1. Eraslan, Y., Özen, E., & Oktay, T. A literature review on determination of quadrotor unmanned aerial vehicles propeller thrust and power coefficients. *Ejona X–International Conference on Mathematics–Engineering–Natural & Medical Sciences*, 2020, pp. 1-12.
2. Kišev, M., Vacho, L., Tóth, L., Olejár, M., Harničárová, M., Valíček, J., Tozan, H. Experimental measurement of a UAV propeller's thrust. *Tehnički vjesnik*, 2022, vol. 29, iss. 1, pp. 73-80. DOI: 10.17559/TV-20201212185220.
3. Vorotović, G., Burazer, J., Bengin, A., Mitrović, Č., Januzović, M., Petrović, N., & Novković, D. A Case Study of a Methodological Approach to the Verification of UAV Propeller Performance. *Strojarski vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, 2023, vol. 69, iss. 5-6, pp. 199-207. DOI: 10.5545/SV-JME.2022.432.
4. Patel, Y., Gaurav, A., Srinivas, K., Singh, Y. A review on design and analysis of the propeller used in UAV. *Int. J. Adv. Prod. Ind. Eng.*, 2017, vol. 605, pp. 20-23.

5. Wall, D. L. *Optimum propeller design for electric UAVs*. Degree of Master of Science Thesis. Auburn, 2012. 130 p.
6. Liu, X., Zhao, D., & Oo, N. L. Comparison studies on aerodynamic performances of a rotating propeller for small-size UAVs. *Aerospace Science and Technology*, 2023, vol. 133, article no. 108148. DOI: 10.1016/J.AST.2023.108148.
7. Kedarisetty, S., & Manathara, J. G. Novel empirical models for estimating aerodynamic coefficients of small UAV propellers. *Aerospace Systems*, 2023, vol. 6, pp. 457-471. DOI: 10.1007/s42401-023-00203-y.
8. Tereshchenko, Yu. M., Kulyk, M. S., Panin, V. V., & Mitrahovich, M.M. *Intehratsiia aviatsiinykh sylovykh ustanovok i litalnykh aparativ* [Integration of power plant and aircraft]. Kyiv, NAU-druk, 2009. 341 p.
9. Kovtun, A. A., & Balalaieva, K. V. Test problem of modeling the flow around the propeller of an unmanned aerial vehicle. *Modern research in technical sciences: the impact of martial law in Ukraine: International scientific conference*, 2024, pp. 31-33. DOI: 10.30525/978-9934-26-414-6-7.

Надійшла до редакції 25.05.2024, розглянута на редколегії 15.08.2024

INFLUENCE OF THE SHAPE AND NUMBER OF BLADES ON THE EFFICIENCY OF THE UAV PROPELLER

Artem Kovtun

The subject of this study is the efficiency of the propeller of an unmanned aerial vehicle. The object is the propeller of an unmanned aerial vehicle. The purpose of this work was to assess the influence of the shape and number of blades on the efficiency of the propeller of an unmanned aerial vehicle. To achieve this purpose, the following tasks were solved: obtain the dependence of efficiency on the rotation speed of seven two-blade propellers with different blade shapes; obtain the dependence of efficiency on the rotation speed of propellers with two, three, four, and five blades. The study of the flow in the propeller of an unmanned aerial vehicle was carried out using a numerical experiment. The Navier-Stokes equations were closed by the SST turbulence model. The efficiency was calculated based on the aerodynamic calculation of the propeller. The rotation speed range varied from 3000 rpm. up to 11000 rpm. Results: An assessment of the influence of the shape and number of blades on the efficiency of the UAV propellers and the distribution of thrust force over the surface of the blade is presented. It has been shown that the shape and number of blades influence propeller efficiency. All seven propellers with different blade shapes at certain rotation speeds had an efficiency above 0.9. At the minimum tested speed of 3000 rpm. the efficiency of all two-blade propellers had the lowest values, ranging from 0.2 to 0.78. As the engine rotor speed increases, the efficiency of the propellers gradually increases; the maximum efficiency is observed at rotation speeds of 6000–10,000 rpm. Visualization of the thrust force on the surface of the blades of the two-bladed propellers showed that the shape of the blades also affects the generation of thrust. During a two-stage study, the shape and number of UAV propeller blades were substantiated. The resulting three-bladed propeller has an efficiency ranging from 0.63 to 0.98 in the rotational speed range from 3000 rpm. up to 11000 rpm. The scientific novelty and practical significance of the conducted research lies in the fact that new data were obtained on the influence of the shape and number of propeller blades of an unmanned aerial vehicle on the propeller efficiency. The obtained data can be used to create and optimize the parameters of unmanned aerial vehicle propellers.

Keywords: propeller; blade shape; number of blades; UAV; efficiency; flow modeling; traction force; rotation frequency; numerical experiment.

Ковтун Артем Анатолійович – асп. каф. авіаційних двигунів, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

Artem Kovtun – PhD Student, Department of Aircraft Engines, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: 8274925@stud.nau.edu.ua, ORCID: 0009-0006-4327-8151.