

Порівняльний аналіз характеристик повітряних гвинтів

В роботі розглянуто порівняння значень тяги двох варіантів повітряних гвинтів з даними тяги, що є заданими. Наведено основні вихідні дані для проведення математичного моделювання в середовищі ANSYS CFX на визначених режимах роботи повітряного гвинта. За результатами математичного моделювання отримані значення тяги, що порівнянні з тягою, що є заданою. Показано, що варіант 2 є найбільш раціональним, порівняно за варіантом 1.

Повітряний гвинт, що використовується в силових установках в якості рушія літальних апаратів різного призначення, пройшов довгий еволюційний шлях від перших згадок, в 400 роках до нашої ери, в працях стародавніх вчених Архіта (учня Піфагора), 220 роках до нашої ери, Архімеда, до сучасних аеродинамічно досконалих гвинтів, що реалізували концепцію повітряного гвинта для рушія літаючої машини, яка була запропонована в XV столітті Леонардо да Вінчі [1] та реалізована братами Райт в 1903 році, коли вони вперше підняли літак у небо з використанням перше успішно реалізованого повітряного авіаційного гвинта.

Брати Райт на основі своїх інноваційних досліджень в аеродинамічній трубі [2]:

дійшли до висновку, що повітряні авіаційні гвинти мають бути більше схожими на крило або профіль крила, а не на гвинт;

виявили, що лопаті повітряного гвинта діють подібно крилу, що обертається, але замість того, щоб створювати підйомну силу за аналогією з крилом, лопаті, що обертаються витісняють повітря назад, створюючи тягу вперед;

виступили з ідеєю додати скручування вздовж кожної лопаті повітряного гвинта, що дозволяє підвищувати їх ККД.

Перші гвинти виготовлялися з дерева і мали фіксований крок, що значно обмежувало льотно-технічні можливості літака.

В подальшому були розроблені повітряні гвинти з постійною швидкістю, тобто гвинти зі змінним кроком, що автоматично регулюють крок, щоб підтримувати постійну швидкість обертання. Більшість сучасних високоефективних силових установок літальних апаратів з повітряним гвинтом використовують повітряні гвинти постійної швидкості, оскільки вони мають кращі характеристики та є більш ефективними.

Еволюція повітряного авіаційного гвинта пов'язана з результатами наукових досліджень світових вчених XIX і XX століть, в першу чергу, У. Ранкіна [3], У. Фруда [4], М.С. Жуковського [5], С.К. Джевецького [6], А. Betz [7], Н. Glauert [8] та іншими, в працях яких створена сучасна теорія повітряного гвинта.

Сформована на даний час теорія повітряних гвинтів дозволяє досліджувати та прогнозувати їх характеристики.

Метою дослідження є порівняння тяги повітряних гвинтів, що спроектовані за різними методиками з умовно визначеною тягою для проекту [9].

Для досягнення мети, що визначена, спроектовані повітряні гвинти за методиками [10] і [11].

Для формування повітряних гвинтів, за обома методиками проєктування, обрано аеродинамічний профіль лопаті на базі аеродинамічного профілю типу NASA GA(W) з відносною товщиною 17% (рис. 1) [12].

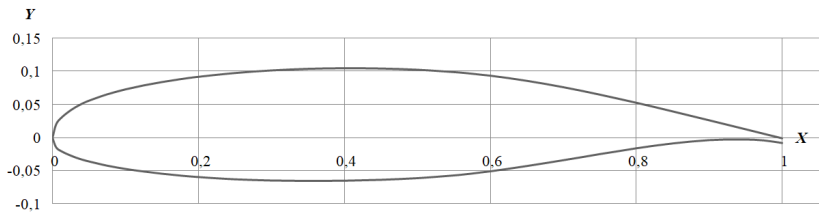


Рис. 1. Переріз профілю лопаті типу NASA GA(W)

За прототипом [9] обрано: максимальний діаметр повітряного гвинта 3,93 м, втулковий діаметр повітряного гвинта 0,615 м та кількість лопатів повітряного гвинта – 7.

За результатами проєктування повітряних гвинтів за методикою [10] отримано 1 варіант повітряного гвинта, а за методикою [11] – 2 варіант.

Для проведення проєктування повітряних гвинтів за обома методиками обрано однаковий розподіл відносної товщини профілю (рис. 2).

Визначені методики відрізняються розподілом циркуляції, а відповідно і розподілом кута атаки профілю, розміру хорди та кута установки профілю за висотою лопаті (рис. 3 - 5).

Математичне моделювання повітряного гвинта в середовищі ANSYS CFX проведено з використанням 3D моделі сектору простору навколо однієї лопаті.

У визначеному секторі простору навколо однієї лопаті побудована кінцево-елементна сітка розрахункової області, у якій використовується О-топология для опису лопаті, Н – топология, для опису стінок обтічника, умовної мотогондольї й простору навколо повітряного гвинта.

За результатами сіткового аналізу обрано розрахунків сітку, що сформована з 8,3 млн. вузлів та середнє значення $Y^+ = 1$.

Для розрахунку в'язкої течії через повітряний гвинт використано модель турбулентності SST з врахуванням ламінарно-турбулентного переходу моделі Gamma - Theta.

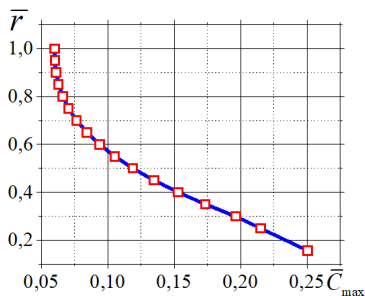


Рис. 2. Розподіл відносної товщини профілю за висотою лопаті повітряного гвинта

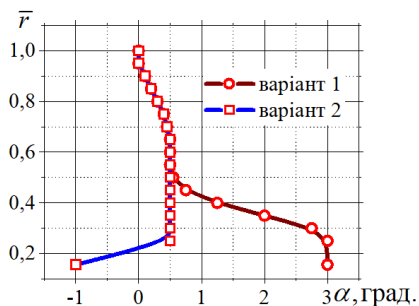


Рис. 3. Розподіл кута атаки профілю за висотою лопаті повітряного гвинта для варіантів 1 і 2

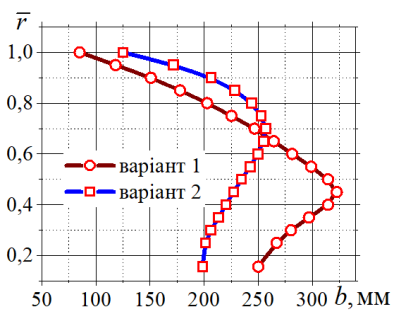


Рис. 4. Розподіл розміру хорди профілю за висотою лопаті повітряного гвинта для варіантів 1 і 2

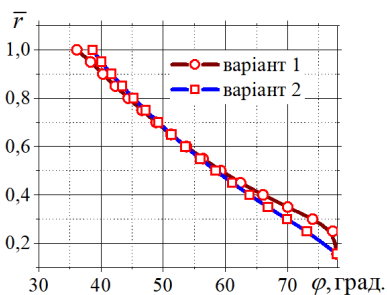


Рис. 5. Розподіл кута установки профілю за висотою лопаті повітряного гвинта для варіантів 1 і 2

Математичне моделювання визначених варіантів повітряних гвинтів проведено при наступних режимах, що наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Режими моделювання					
№	режим	висота, м	число М	частота обертання, об/хв	потужність, к.с.
1	максимальний при наборі висоти	4000	0.3	1000	2600
2	максимальний крейсерський	6000	0.45	950	1965

За результатами математичного моделювання повітряних гвинтів на визначених режимах отримано значення тяги повітряного гвинта для варіантів 1 і 2 та значення тяги, що визначена [9]. Значення параметрів наведено в таблиці 2.

Таблиця 2.

Порівняння результатів розрахунків на визначених режимах

№	режим	тяга гвинта [9], кН	тяга гвинта, варіант 1, кН	тяга гвинта, варіант 2, кН
1	максимальний при наборі висоти	15,789	15,516	15,816
2	максимальний крейсерський	8,826	8,534	8,658

На рис. 6 наведено співвідношення значення розміру тяги повітряних гвинтів 1 і 2 варіантів та розрахункової тяги.

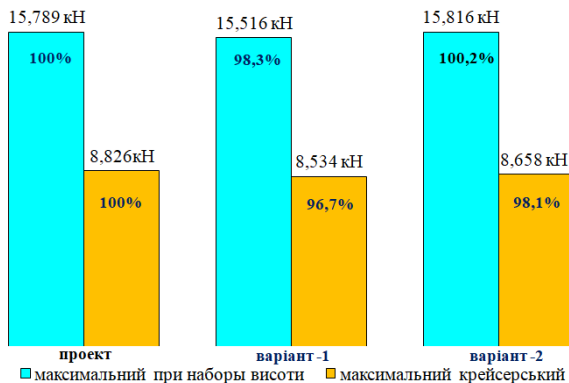


Рис. 6. Співвідношення значення розміру тяги повітряних гвинтів 1 і 2 варіантів та розрахункової тяги

Висновки

За результатами проведених досліджень можливо зробити наступні висновки:

Повітряний гвинт варіанту 2, що отриманий за методикою [11] є найбільш раціональним за показниками тяги, порівняно з варіантом 1, що отриманий за методикою [10]. Разом з тим, варіант гвинта 2 на максимальному крейсерському режимі має на 2:% менше тягу, ніж поставлено в завданні на проєктування [9].

На максимальному режимі (при наборі висоти) повітряний гвинт варіанту 2 має достатню тягу при обраній потужності і може бути використаний для реалізації проєкту [9].

Список літератури

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Museo_Nazionale_Scienza_e_Tecnologia_Leonardo_da_Vinci.
2. <https://www.biography.com/inventors/orville-wilbur-wright-brothers-first-flight>.
3. Rankine WJM. On the mechanical principles of the action of propellers. Trans Inst Naval Architects (British), 1865;6(13).
4. Froude W. Remarks on the mechanical principles of the action of propellers. Trans INA, Vol. 6, London, 1865.
5. Степанов Г.Ю. Теория крыла в трудах Н.Е. Жуковского и С.А. Чаплыгина// Ученые записки ЦАГИ. Т. XXVIII, №1. 1997. С. 6-26.
6. Дзевецкий С.К. Теория воздушных винтов. - К.: 1910.
7. Betz, A., with appendix by Prandtl, L., Screw Propellers with Minimum Energy Loss, Gottingen Reports, 1919, pp. 193-213.
8. Glauert, H., "Airplane Propellers, "Aerodynamic Theory, edited by W. Durand, Div. L, Vol. 5, Peter Smith, Gloucester, MA, 1976, pp. 169-269.
9. <https://efaca.eu>.
10. А.П. Мелников, В.В. Свечников. Теория и расчет лопастей винта часть 1[Текст]: учеб. пособие/ ЛКВВИА – 1947 – 143с.
11. C.N. Adkins, R.B. Leibeck. Design of Optimum Propellers. Journal of propulsion and power Vol. 10, No. 5, Sept.-Oct. 1994.
12. R.B. McGhee. W.D Beasley. Low-speed aerodynamic characteristics of a 17-percent-thick airfoil section designed for general aviation applications. NASA TN D-7428NASA Langley Research Center. Hampton, Va.1973.