

**Аналіз можливості використання поворотного гвинтовентилятора для реверсування тяги**

*В роботі розглядається можливість використання закапотованого гвинтовентилятора зі значним поворотом лопаті робочого колеса гвинтовентилятора для зміни напрямку вектору тяги. Математичне моделювання закапотованого гвинтовентилятора проводилося за допомогою чисельного експерименту. Газодинамічний аналіз параметрів гвинтовентилятора здійснювався шляхом розв'язання системи осереднених рівнянь Нав'є-Стокса з використанням моделі турбулентності k-ε в програмному середовищі ANSYS CFX. Сіткова модель створена в ICFEM і має блочну структуру. Топологія сітки враховує специфіку розрахунку течії в приміжовому шарі. Представлені результати CFD - моделювання роботи закапотованого гвинтовентилятора на режимі  $H=0$  м,  $M=0.2$ .*

Льотно-технічні та експлуатаційні, у тому числі, злітно-посадкові характеристик літака визначаються сукупністю низки конструктивних якостей літака та його силової установки і суттєво залежать від експлуатаційних факторів, а саме: розмірів зльотно-посадкової смуги, стану її поверхні, обставин застосування та інші. Зокрема, силова установка літака повинна забезпечувати створення як прямої так і зворотної тяги, тобто, при необхідності, має забезпечувати реверсування тяги.

Відомо [1], за принципом створення реактивної тяги повітряно-реактивні двигуни умовно поділяються на двигуни прямої реакції, що створюють реактивну тягу двигуна безпосередньо – це ракетні двигуни, турбореактивні, турбореактивні двоконтурні, прямоточні надзвукові та гіперзвукові, пульсуючі та численні можливі комбіновані двигуни та двигуни непрямої реакції, що передають вироблювану ними потужність спеціальному рушію (гвинту, гвинтовентилятору), що створює тягу, використовуючи той же повітряно-реактивний принцип – це турбогвинтові, турбовальні та турбогвинтовентиляторні двигуни.

На літальних апаратах з двигунами прямої реакції для гальмування літака під час посадки, в основному, використовуються реверсивні пристрої, що повністю або часткового змінюють напрямок вектора тяги двигуна літака. Реверсування тяги реактивного двигуна досягається зміною напрямку випускного струменя у зворотний бік за допомогою елементів, що дроселюють і відхиляють потік.

Відношення від'ємної тяги, що створюється на режимі реверсу –  $R_R$  до прямої тяги -  $R$  є коефіцієнтом ефективності реверсу тяги -  $\bar{R}$  [2].

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

Тяга реверсу зазвичай становить 0,25 ... 0,45 прямої тяги, що дозволяє скоротити посадкову дистанцію типового комерційного реактивного літака на 20–25%, а також знижує навантаження на колісні гальма, що призводить до економії на їхньому обслуговуванні. Крім того, реверс тяги значно ефективніше і безпечніше, ніж використання тільки колісних гальм на вологих, зледенілих або засніжених злітно-посадкових смугах. Разом з тим, загальна маса реверсивного пристрою з системою управління досягає 0,1 ... 0,15 маси двигуна [3].

Використання силової установки з закапотованим гвинтовентилятором є одним із способів підвищення ефективності та тяги двигуна. Розробка таких гвинтів та гвинтовентиляторів почалося в першій половині двадцятого століття і знайшла застосування в різних сферах, у тому числі, в авіації, морському транспорті та безпілотних літальних апаратах [4].

Закапотований гвинтовентилятор дозволяє знизити рівень шуму, а також підвищити тягу та ефективність силової установки.

Можливість повороту лопаті гвинтовентилятора з крейсерського режиму (рис. 1, п. 1) на значний кут на режимі реверсу (рис.1, п.2) створює умови для зміни напрямку тяги на зворотний, що сприяє відмові від традиційного реверсивного пристрою, зменшуючи при цьому осьову довжину капоту, його аеродинамічний опір та вагу силової установки.

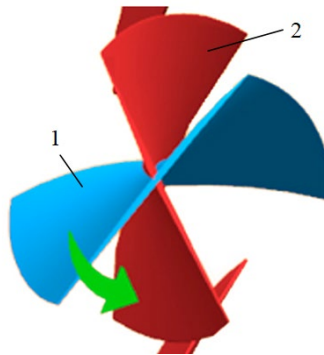


Рис. 1. Схема розташування лопатей гвинтовентилятора на крейсерському режимі (1) та при реверсуванні тяги на режимі  $H=0$  м,  $M=0.2$  (2)

В дослідженні розглядається можливість використання поворотного гвинтовентилятора для реверсування тяги шляхом чисельного моделювання зміни тяги гвинтовентилятора, що здійснюється поворотом на максимально можливий кут установки ( $65^\circ$ ) лопаті робочого колеса гвинтовентилятора для отримання значень тяги на режимі  $H=0$  м,  $M=0.2$ .

Дослідження закапотованого гвинтовентилятора проводилися за допомогою чисельного експерименту. Газодинамічний аналіз параметрів гвинтовентилятора здійснювався шляхом розв'язання системи осереднених

рівнянь Нав'є-Стокса з використанням моделі турбулентності k-ε в програмному середовищі Ansys CFX.

Сіткова модель була створена в ICEM і має блочну структуру. Топологія сітки враховує специфіку розрахунку течії в приміжовому шарі.

Сила тяги закапотованого гвинтовентилятора розраховувалася з використанням залежності [2]

$$R = G_2 \cdot V_2 - G_1 \cdot V_1 + F_2 \cdot (p_2 - p_1), \quad (2)$$

Де  $G_1, G_2$  – витрата повітря на вході та виході із гвинтовентилятора;  $V_1, V_2$  – осьова швидкість на вході та виході із гвинтовентилятора;  $p_1, p_2$  – тиск на вході та виході із гвинтовентилятора;  $F_2$  – площа поперечного перерізу на виході із гвинтовентилятора.

Результати чисельного моделювання показують, що поворот лопаті гвинтовентилятора (максимально можливий кут до торкання кромки лопаті) на режимі  $H=0$  м,  $M=0,2$  на кут  $65^\circ$  лопать створює від'ємну тягу  $R = -272$  кгс. При цьому коефіцієнт ефективності реверсу тяги складає  $\bar{R} = 0.025$ , що є дуже недостатнім.

На рис. 2 показано візуалізацію векторної швидкості в меридіональному перерізі, що демонструють зворотній напрямок руху потоку на периферії закапотованого гвинтовентилятора.

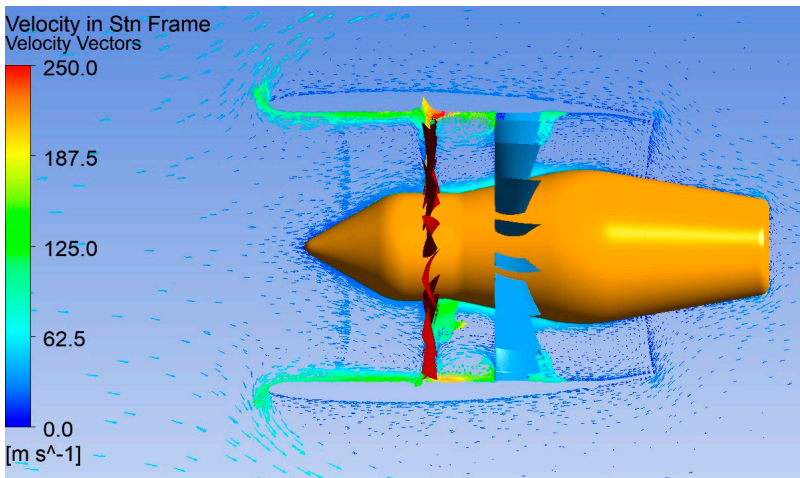


Рис. 2. Векторне поле швидкості при обтіканні закапотованого гвинтовентилятора на режимі реверсу при  $H=0$  м,  $M=0.2$

Отримані дані свідчать про можливість використання поворотної лопаті гвинтовентилятора для реверсування тяги, замість класичного реверсивного пристрою за умови відсутності закрутки потоку, що створює вхідна кромка спрямного апарату.

Для усунення цього негативного впливу спрямного апарату необхідно реалізувати можливість забору повітря ззовні капоту одразу після робочого колеса гвинтовентилятора. Осьовий напрям даного потоку значно підвищить ефективність роботи робочої лопаті гвинтовентилятора при реверсуванні тяги.

Напрямом подальших досліджень щодо підвищення ефективності реверсу може бути оцінка впливу забору повітря ззовні капоту одразу після робочого колеса гвинтовентилятора на коефіцієнт ефективності реверсу тяги.

### **Висновки**

1. Розглянуто можливість використання закапотованого гвинтовентилятора зі значним поворотом лопаті робочого колеса гвинтовентилятора для зміни напрямку вектору тяги. Результати CFD-моделювання показали від'ємне значення різниці імпульсів на вході у гвинтовентилятор та виході з гвинтовентилятора на режимі  $H=0$  м,  $M=0.2$ .

2. В отриманих результатах чисельного моделювання спостерігається недостатня величина коефіцієнту ефективності реверсу тяги, що складає 2,5% на режимі  $H=0$  м,  $M=0.2$ , що вимагає подальшої оптимізації цього параметра.

### **Список літератури**

1. El-Sayed, A. F. Fundamentals of Aircraft and Rocket Propulsion [Text] / A. F. El-Sayed. – Springer, 2016. – 1025 p.
2. Інтеграція авіаційних силових установок і літальних апаратів [Текст]/ Ю. М. Терещенко, М. С. Кулик, В. В. Панін, М. М. Мітрахович; МОН України; Терещенка Ю. М., ред. – Київ : НАУ-друк, 2009. – 341 с.
3. Bernie MacIsaac Gas turbine propulsion systems [Text] / Bernie MacIsaac, Roy Langton - Wiley, 2011. - 352 p.
4. Küchemann, D. Aerodynamics of propulsion[Text] /D. Küchemann, & J. Weber. – New York-Toronto-London, 1953. – 389 p.