

ПРОБЛЕМА АЕРОДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ МАЛОРОЗМІРНИХ ЕКРАНОПЛАНІВ

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна
Університет митної справи і фінансів, м. Дніпро, Україна

Анотація

Екраноплани – літальні апарати, що використовують принцип динамічної підтримки над підстильною поверхнею під час руху. Проблема широкого впровадження в практику таких апаратів пов'язана з відсутністю надійної теорії польоту за руху на критично низьких висотах. В представленій роботі ця проблема розглядається в контексті розвитку малорозмірних безпілотних апаратів, актуальність використання яких на сьогодні є беззаперечною. Розглянуті теоретичні основи стійкості апаратів та розглянуто питання визначення аеродинамічних характеристик апарату з використанням методу дискретних вихорів. У випадку криволінійної підстильної поверхні такі характеристики мають складну поведінку і суттєво впливають на стійкість польоту апарату.

Ключові слова: екраноплан, приземний ефект, безпілотний літальний апарат (БПЛА), маловисотний політ, аеродинамічна стійкість, метод дискретних вихорів, криволінійна поверхня

Рух літального апарату з використанням динамічної повітряної подушки називають ще рухом в зоні впливу екранного ефекту. Інтерес до апаратів, що використовують цей принцип руху наразі актуалізується у зв'язку з можливістю використання їх надводні безпілотні апарати [1]. Забезпечення стійкості польоту літального апарату в зоні дії екранного ефекту є найскладнішою проблемою під час створення такого роду суден. Проте, на сьогодні, повною мірою цю проблему вирішити не вдалося.

Визначають статичну і динамічну стійкість. Статична стійкість означає, що коли порушується рівновага транспортного засобу, він буде прагнути повернутися в стан рівноваги. По суті, статична стійкість визначається напрямком сил і моментів, що діють на транспортний засіб відразу після прикладання збурень. Динамічна стійкість передбачає, що після збурення транспортний засіб буде коливатися навколо стану рівноваги, але в кінцевому підсумку коливання згасають, і транспортний засіб повертається в рівноважний стан. Статична стійкість не обов'язково передбачає існування динамічної стійкості. Ступінь динамічної стійкості, як правило, визначається часом, необхідним для загасання збурення до половини його початкової амплітуди. Аналогічно, міру динамічної нестійкості можна охарактеризувати як час, необхідний для подвоєння початкової амплітуди збурення.

Якщо статична стійкість літака в нормальному режимі польоту може бути забезпечена відповідним вибором положення центра ваги, то стійкість апарату може бути забезпечена тільки за рахунок відповідного проектування аеродинамічної конфігурації.

Загальноприйнятими критерієм повздовжньої статичної стійкості екранопланів є критерій Іродова [2]

$$\left. \frac{dc_y}{d\alpha} \right|_{m_z=0} \frac{dm_z}{dh} < 0, \quad \left. \frac{dc_y}{dh} \right|_{m_z=0} \frac{dm_z}{d\alpha} > 0, \quad (1)$$

$$\left. \frac{dm_z}{d\alpha} \right|_{c_y=c_{yzn}} \frac{dc_y}{dh} > 0, \quad \left. \frac{dm_z}{dh} \right|_{c_y=c_{yzn}} \frac{dc_y}{d\alpha} < 0, \quad (2)$$

де c_y – коефіцієнт підйомної сили, m_z – коефіцієнт моменту тангажу, – кут атаки, безрозмірна висота польоту над екраном. Оскільки на крейсерських режимах $\frac{dc_y}{dh} < 0$, $\frac{dm_z}{d\alpha} > 0$, отже критерії стійкості (1), (2) приймають вигляд

$$\left. \frac{dm_z}{d\alpha} \right|_{c_y=c_{y,zn}} < 0, \quad \left. \frac{dm_z}{dh} \right|_{c_y=c_{y,zn}} < 0. \quad (3)$$

де $c_{y,zn}$ – коефіцієнт підйомної сили для горизонтального польоту.

Отже для визначення стійкості польоту потрібно визначити аеродинамічні характеристики апарату. У разі криволінійного профілю поверхні, що характерно для водної поверхні, аеродинамічні характеристики мають складний нестационарний характер. В представленій роботі пропонується підхід до визначення аеродинамічних характеристик, що ґрунтується на методі дискретних вихорів. Такий підхід дає змогу проводити розрахунки над криволінійною поверхні з прийнятними витратами обчислювальних ресурсів і прийнятною для інженерних рішень точністю.

Роботу виконано за фінансової підтримки Національного фонду досліджень України в рамках проекту «Обґрунтування аеродинамічних і проектних параметрів високошвидкісного надводного безпілотного літального апарату», договір № 80/0170.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дреус А.Ю., Алексеєнко С.В., Дронь М.М., Кравець О.В., Кулик О.В., Сохацький А.В. Аеродинамічні аспекти проектування безпілотних екранопланів: монографія/за заг. Ред А.Ю. Дреуса. –Д.: ДНУ, 2024, 180 с.
2. Kirill V. Rozhdestvensky, Wing-in-ground effect vehicles, Progress in Aerospace Sciences, Volume 42, Issue 3, 2006, 211-283, <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2006.10.001>

Дреус Андрій Юлійович, д.т.н., професор, зав. каф. аерогідромеханіки та енергомасопереносу, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, dreus_a@365.dnu.edu.ua

Сохацький Анатолій Валентинович, д.т.н., професор, професор кафедри транспортних систем і міжнародної логістики Університету митної справи та фінансів, Дніпро, Україна

Геті Кристина Віталіївна, к.т.н., доцент, доцент каф. аерогідромеханіки та енергомасопереносу, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

THE PROBLEM OF AERODYNAMIC STABILITY OF SMALL-SCALE WIG-CRAFTS

Abstract

Ekranoplans are ground-effect vehicles that utilize dynamic lift generated in close proximity to the surface during motion. One of the primary obstacles to their widespread application is the absence of a comprehensive and reliable theory describing flight dynamics at extremely low altitudes. This paper addresses this challenge within the framework of unmanned aerial vehicle (UAV) development—an area of growing strategic and technological significance. The study explores the theoretical foundations of vehicle stability and focuses on the determination of aerodynamic characteristics using the discrete vortex method. When operating over curved underlying surfaces, these aerodynamic properties exhibit complex behavior, which in turn exerts a critical influence on the stability of the vehicle.

Keywords: ekranoplane, ground effect, unmanned aerial vehicle (UAV), low-altitude flight, aerodynamic stability, discrete vortex method, curved surface

Dreus Andrii, Doctor of Engineering, Head of the Department of Fluid Mechanics and Energy and Mass Transfer, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Email: dreus_a@365.dnu.edu.ua

Sohatskyi Anatolii, Doctor of Engineering, Professor of the Department of Transport Systems and International Logistics, University of Customs and Finance, Dnipro, Ukraine

Heti Krystyna, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Fluid Mechanics and Energy and Mass Transfer, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine