

УДК 629.735

О. М. МАСЬКО

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Україна

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЗДОВЖНЬОЇ СТІЙКОСТІ БПЛА СХЕМИ «ТАНДЕМ» ПРИ СТАРТІ З ТРАНСПОРТНОГО КОНТЕЙНЕРУ

Проведено дослідження позовдвжньої стійкості БПЛА контейнерного старту аеродинамічної схеми «тандем», при старті з транспортного контейнеру. Моделювання методами обчислювальної аеродинаміки показує, що такий БПЛА є нестійким при кутах повороту консолей до 60° і стійким – при більших кутах повороту. При натурному експерименті встановлено, що в діапазоні швидкостей виходу $12...14$ м/с, злітних мас БПЛА $1,8...3,1$ кг, швидкості зміни конфігурації за час $0,2...0,3$ с забезпечується позовдвжня стійкість на етапі переходу з транспортного положення в крейсерську конфігурацію.

Ключові слова: *безпілотний літальний апарат, схема «тандем», контейнерний старт, аеродинамічні характеристики, позовдвжня статична стійкість, методи обчислювальної аеродинаміки.*

Вступ

Серед малих безпілотних літальних апаратів (БПЛА) виокремлюється клас контейнерного старту (англ. tubelaunch). В умовах обмежених габаритів знаходить застосування аеродинамічна схема «тандем» (рис. 1), яка замінює одну несучу поверхню двома і дозволяє зменшити розмах крил на $30...40\%$. Специфікою таких БПЛА є перехідний процес під час розкриття консолей крил відразу після старту [1].



Рис. 1. БПЛА контейнерного старту: а – «Switchblade», б – «Сокіл-2»

Аналітичні методи, які звичайно використовуються на попередніх етапах проектування, малопродатні через те, що при малих видовженнях та великих кутах стрілоподібності крил не виконується гіпотеза плоских перерізів. Випробування в аеродинамічній трубі (тим більше, сертифікованій) параметричної моделі є дорогим і тривалим процесом, окрім того, виготовлення моделі з переставними державками на крилі пов'язано з конструктивними складнощами. Тому дослідження проведено сучасними методами обчислювальної аеродинаміки.

Постановка задачі

Дослідження аеродинамічних характеристик безпілотного літального апарата схеми «тандем» після старту з контейнеру, в процесі розгортання переднього та заднього крил.

Об'єкт і метод дослідження

Чисельний експеримент тривимірного обтікання типового БПЛА розкладної схеми «тандем» потоком в'язкої рідини та визначення параметрів позовдвжньої стійкості виконувались за допомогою програмного пакету Ansys 16.0 з неструктурованою розрахунковою сіткою та моделлю турбулентності Ментера [2]. Такий підхід не дозволяє точно оцінити лобовий опір, але надійний з точки зору визначення розподілу тиску за планером, а, відповідно, підіймальної сили та моментних характеристик. Розрахунки виконувались для положень консолей крил (15° , 30° , 45° , 60° , 75°), де кут повороту 0° відповідає транспортному положенню (переднє крило назад, заднє – вперед), а 90° – крейсерській конфігурації (рис. 2).

Кути повороту консолей для переднього та заднього крил розглянуто в кожному положенні однаково. Розрахункові умови: швидкість потоку 15 м/с, число Рейнольдса, обчислене за хордою одного крила, $Re = 1,1 \cdot 10^5$, кути атаки від 0° до $(\alpha_{кр} + 1^\circ)$. Коefіцієнти сил і моментів розраховувались в швидкій системі координат і зведені для площі обох крил та умовної хорди, що дорівнює сумі хорд пе-

реднього та заднього крил. Моменти розраховано відносно проектного центра мас, що знаходиться між осями повороту консолей на відстані 40 % від осі передніх консолей і відповідає крейсерській конфігурації БпЛА.

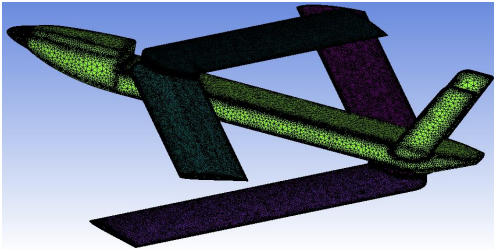


Рис. 2. Розрахункова модель з кутом розкриття 60° та розрахунковою сіткою

Результати дослідження. В результаті чисельного експерименту визначено інтегральні аеродинамічні характеристики (рис. 3, 4), розподіл тиску (рис. 5) та спектри обтікання (рис. 6).

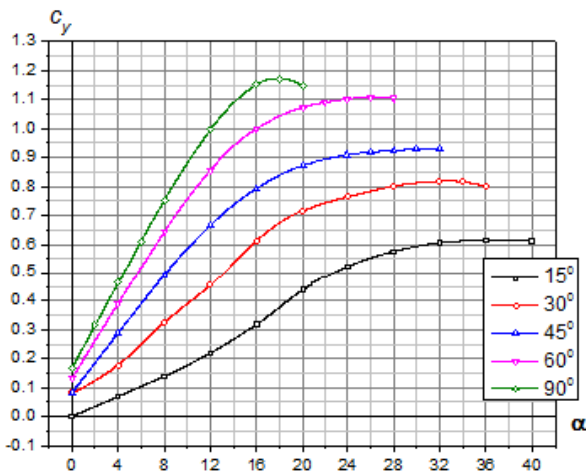


Рис. 3. Залежності коефіцієнтів підймальності від кута атаки

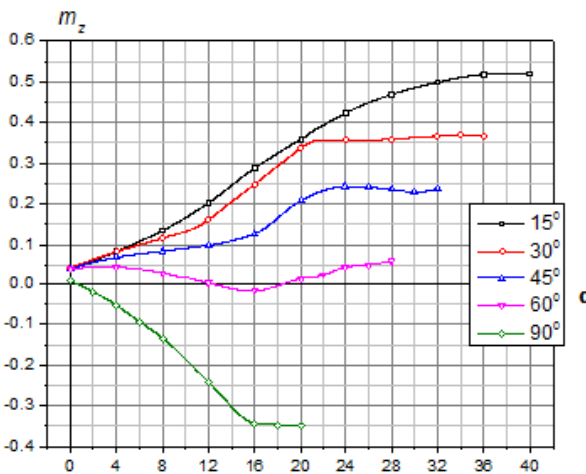


Рис. 4. Залежності коефіцієнтів поздовжнього моменту від кута атаки

Аналіз спектрів обтікання БпЛА показує, що в зоні установки консолей спостерігається постійний зрив потоку в усьому діапазоні льотних кутів атаки, що зменшує на аеродинамічну якість і практично не впливає на повздовжню стійкість. Мінімізація відривних явищ в зоні кронштейнів навіски крил можлива тільки за рахунок додаткових обтікачів, використання яких в серійному зразку мало ймовірно з точки зору експлуатаційної технологічності.

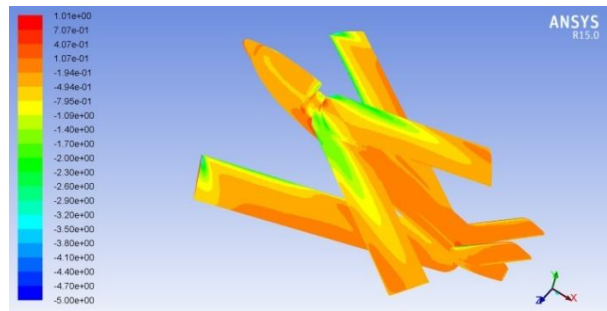


Рис. 5. Розподіл коефіцієнта тиску на планері БпЛА (кут повороту 30°, кут атаки 16°)

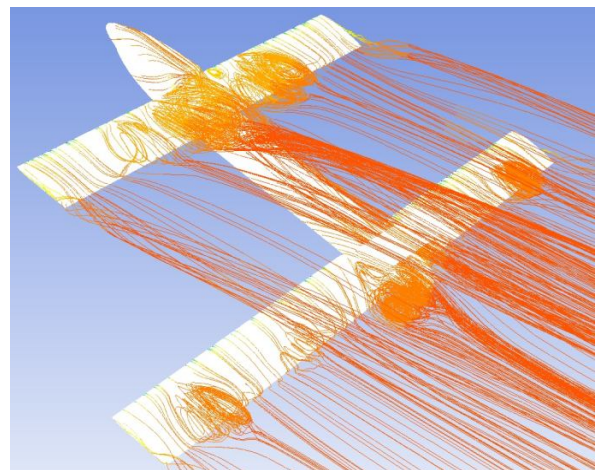


Рис. 6. Спектри обтікання моделі БпЛА (кут повороту консолей 90°, кут атаки 20°)

В результаті чисельного експерименту встановлено, що при куті повороту крил 75...90° БпЛА є стійким в широкому діапазоні кутів атаки: відрив виникає спочатку на передньому крилі і в кореневих частинах обох крил. Це безпечний характер обтікання, так як не викликає моменту на кабрування чи значних моментів крену, а тому не загрожує звалюванням. З іншого боку, під дією кінцевого вихору переднього крила виникають зони відриву на елеронах/елевонах, розташованих на задньому крилі. Це призводить до зниження ефективності цих органів керування. Для уникнення потенційно небезпечних режимів можна збільшити площу елеронів/елевонів, застосувати від'ємне кручення консолей або кути V-подібності крил (зменшує інтерференцію крил і кути

скосу [6]) або перенести органи керування на переднє крило.

Разом з тим проблемою є нестійкість моделі в поздовжньому каналі при малих кутах повороту консолей (від 0 до 45°), так як заднє крило створює значну підймальну силу в передній частині компоновки. Тому процес розгортання повинен займати доли секунди, щоб БПЛА не встиг вийти на закритичні кути атаки. Це, в свою чергу, ставить відповідні вимоги до конструкції вузла розкриття та фіксації крил.

Для дослідження впливу швидкості розкриття консолей на повздовжню стійкість виготовлено експериментальний зразок БПЛА (рис. 7) з механізмами розкриття крил на основі пружини кручення.



0,1 с. Вихід БПЛА з контейнеру



0,2 с. Розкриття крил на кут 70°



0,3 с. Фіксація крил в крейсерській конфігурації



0,4 с. Запуск двигуна. Виконання польоту

Рис. 7. Покадровий старт БПЛА з контейнеру

Випробування проводились при наступних умовах: старт БПЛА злітною масою 1,8...3,1 кг з катапульты, на якій встановлено геометрично подібні обмежувачі транспортного контейнеру, посадка – на парашуті, температура +10...+15°С, швидкості приземного шару вітру 5...6м/с, вологість повітря 40...70 %

В ході випробувань виконано 5 тестових запусків. Старт БПЛА стабільний, швидкість переходу з транспортної конфігурації в крейсерську становить 0,25...0,3 с. Нестабільності по каналу тангажа не виявлено. Швидкості виходу БПЛА з контейнеру становили 12...14 м/с. Таким чином експериментально підтверджена можливість реалізації БПЛА контейнерного старту заданої маси та габаритів.

Висновок

Таким чином, результатами дослідження є:

- проведено чисельний та дослідний експеримент по повздовжній стійкості БПЛА контейнерного старту на етапі переходу з транспортної конфігурації в крейсерську;

- в результаті чисельного експерименту встановлено, що при куті повороту крил 75...90° БПЛА є стійким в широкому діапазоні кутів атаки: відрив виникає спочатку на передньому крилі і в кореневих частинах обох крил;

- в результаті натурного експерименту встановлено, що в діапазоні швидкостей виходу 12...14 м/с, злітних мас БПЛА 1,8...3,1 кг, швидкості зміни конфігурації БПЛА аеродинамічної схеми «тандем» за час 0,2...0,3 с забезпечується повздовжня стійкість на етапі переходу з транспортного положення в крейсерську конфігурацію.

Результати досліджень використано при розробці БПЛА контейнерного старту «Сокіл-2».

Література

1. Збруцький, О. В. Безпілотні літальні апарати контейнерного старту: сучасний стан і напрямки досліджень [Текст] / О. В. Збруцький, О. М. Масько, В. В. Сухов // Вісник ММІ.– Вип. 64.– К.: НТУУ «КПІ», 2012. – С. 63–66.

2. Лапин, Ю. В. Статистическая теория турбулентности (прошлое и настоящее – краткий очерк идей) [Текст] / Ю. В. Лапин // Научно-технические ведомости. – Вып. 2 «Проблемы турбулентности и вычислительная аэродинамика», 2004. – 35 с.

3. Switchblade: Not a UAV to Mess With. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.deepbluehorizon.blogspot.com/2009/03/switchblade-not-uav-to-mess-with.html> – 09.02.2017.

4. БПЛА СОКИЛ-2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://shvachko.net/?p=1567&lang=ru>. – 28.01.2017.

5. *Unmanned Integrated Systems. Trident* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uis.sg/category/uncategorized/>. – 28.01.2017.

6. Шахов, В. Г. *Аэродинамические усовершенствования и схемы летательных аппаратов [Текст] / В. Г. Шахов. – Куйбышев : Куйбышевский авиационный институт им. С. П. Королева, 1984. – 70 с.*

2. Lapy`n, Yu. V. *Staty`sty`cheskaya teory`ya turbulentnosti` (proshloe y` nastoyashhee – kratky`j ocherk y` dej)* [The statistical theory of turbulence (past and present - a brief outline of ideas)]. Scientific and technical statements, vol. 2 Problems of turbulence and computational aerodynamics, 2004. 35 p.

3. *Switchblade: Not a UAV to Mess With*. Available at: <http://www.deepbluehorizon.blogspot.com/2009/03/switchblade-not-uav-to-mess-with.html> (accessed 09.02.2017).

4. *BPLA SOKIL-2*. [UAV SOKIL-2]. Available at: <http://shvachko.net/?p=1567&lang=ru> (accessed 28.01.2017).

5. *Unmanned Integrated Systems. Trident*. Available at: <http://uis.sg/category/uncategorized/> (accessed 28.01.2017).

6. Shaxov, V. G. *Ajerodinamicheskie usovershenstvovaniya i shemy letatel'nyh apparatov* [Aerodynamic improvements and schemes of aircraft]. Kuibyshev, Kuibyshev Aviation Institute. S. P. Koroleva Publ., 1984. 70 p.

References

1. Zbrucz`ky`j, O. V., Mas`ko, O. M., Suxov, V. V. *Bezpilotni lital'ni aparaty` kontejnernogo startu: suchasny`j stan i napryamky` doslidzhen`* [Tube launch unmanned aerial vehicles: current state and direction research]. *Journal of Mechanical Engineering the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*, no. 64, pp. 63–66.

Поступила в редакцию 1.09.2016, рассмотрена на редколлегии 15.03.2017

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ БПЛА СХЕМЫ «ТАНДЕМ» ПРИ СТАРТЕ ТРАНСПОРТНОГО КОНТЕЙНЕРА

А. Н. Масько

Выполнено исследование продольной устойчивости БПЛА контейнерного старта аэродинамической схемы «тандем», при старте с транспортного контейнера. Моделирование методами вычислительной аэродинамики показывает, что такой БПЛА является неустойчивым при углах поворота консолей до 60° и устойчивым - при больших углах поворота. При натурном эксперименте установлено, что в диапазоне скоростей выхода 12 ... 14 м/с, взлетных масс БПЛА 1,8 ... 3,1 кг, скорости изменения конфигурации за время 0,2...0,3 с обеспечивается продольная устойчивость на этапе перехода из транспортной в крейсерскую конфигурацию.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, схема «тандем», контейнерный старт, аэродинамические характеристики, продольная статическая устойчивость, методы вычислительной аэродинамики.

CHARACTERISTICS OF LONGITUDINAL STABILITY OF THE TANDEM UAV WHEN STARTING WITH A TRANSPORT CONTAINER

O. M. Masko

The longitudinal stability of the UAV of the container start of the aerodynamic scheme "tandem", at the start from the transport container, is studied. Modeling by the methods of computational aerodynamics shows that such a UAV is unstable at angles of rotation of consoles to 60° and stable - at large angles of rotation. In the full-scale experiment it was established that in the range of exit velocities 12 ... 14 m / s, take-off masses of UAV 1.8 ... 3.1 kg, the rate of configuration change during the time 0.2 ... 0.3 s longitudinal stability is ensured during the transition from transport to cruising configuration.

Keywords: unmanned aerial vehicle, tandem scheme, tube launch, aerodynamic characteristics, longitudinal static stability, methods of computational aerodynamics.

Масько Олександр Миколайович – асистент кафедри приладів та систем керування літальними апаратами, факультет авіаційних та космічних систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна, e-mail: masko.alexandr@gmail.com.

Masko Aleksandr Nikolaevich – assistant of Department of Aircraft Control Devices and Systems, Faculty of Aircraft and Space Systems, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine, e-mail: masko.alexandr@gmail.com.