

У спеціалізовану вчену раду Д 26.062.05
при Національному авіаційному універ-
ситеті МОН України

В І Д Г У К

офіційного опонента на дисертаційну роботу Кривохатська Іллі
Станіславовича «Метод визначення аеродинамічних характеристик
літального апарата схеми «тандем» на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук за спеціальністю
05.07.01 – аеродинаміка та газодинаміка літальних апаратів

1. Актуальність теми

Ідея створення безпілотних літальних апаратів з'явилась майже зразу після перших польотів братів Райт. Але навіть після своєї появи радіокеровані моделі літальних апаратів довгі десятиліття залишались лише цікавими іграшками, предметом хобі багатьох людей, закоханих в авіацію, техніку. Розвиток електроніки, що призвів до мініатюризації електронних пристроїв, став значним поштовхом до створення безпілотних літальних апаратів, які здатні конкурувати з пілотованими літальними апаратами. Дешевше виробництво і експлуатація, можливість старту і приземлення поблизу місця авіаційних робіт (без прив'язки до аеродромів) роблять безпілотні літальні апарати набагато ефективнішими пілотованих.

Використання безпілотних літальних апаратів для військових цілей різними арміями світу, і перш за все Ізраїлю, сприяло швидкому їхньому удосконаленню, створенню відповідної галузі індустрії, нормативно-правовій базі військового застосування (від норм льотної придатності до ліцензування льотного складу), появі кваліфікованих і досвідчених зовнішніх пілотів. За останнє десятиліття авіаційною спільнотою докладаються значні зусилля для широкого використання безпілотних літальних апаратів у цивільних цілях. Так, під егідою Євроконтролю у 2012 році була розроблена «дорожня карта» на 15 років щодо створення нормативно-правової бази для широкого використання безпілотних літальних апаратів одночасно з пілотованими. Міжнародна організація цивільної авіації після випуску циркуляру «Безпілотні авіаційні системи» активно працює над документами з дистанційно пілотованих

Відгук надіслав до спецради Д 26.062.05 28.09.2015р
Вг. секретар МОН/Козлова Т.В.

повітряних суден. Цього року з'явилися проекти документів Державіаслужби, що передбачають експлуатацію безпілотних літальних апаратів у повітряному просторі України. З іншого боку, аеродинаміка безпілотних літальних апаратів, яка багато у чому визначає їхню ефективність, складна і у певних питаннях складніша аеродинаміки пілотованих літальних апаратів. Це обумовлено тим, що безпілотні літальні апарати експлуатуються у критичній області чисел Рейнольдса, в якій всі аеродинамічні характеристики зазнають різкі, маловивчені скачки і залежать до того ж від напрямку зміни швидкості та кута. Поляра перестає бути постійною й багато положень аеродинаміки пілотованих літальних апаратів стають неприйнятними до безпілотних літальних апаратів або потребують сильних змін. Однак, необхідні наукові дослідження, що враховують аеродинамічні особливості безпілотних літальних апаратів, проводяться в обмеженому обсязі.

Тому дана дисертаційна робота спрямована на розробку методу визначення аеродинамічних характеристик на початкових етапах проектування безпілотних літальних апаратів є актуальною для України.

2. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

У дисертації та авторефераті сформульована актуальність, наукова новизна та практична цінність виконаних досліджень.

Головна мета роботи полягає у тому, щоб на засадах аналізу сучасних досліджень аеродинаміки безпілотних літальних апаратів, науково обґрунтованої теорії і коректних перетворень розробити метод визначення аеродинамічних характеристик літального апарата схеми «тандем».

У дисертації наводиться значний обсяг теоретичних напрацювань, проведених аеродинамічних досліджень та докладний аналіз результатів. Обґрунтованість запропонованого методу і достовірність одержаних результатів підтверджується співпадінням з результатами експериментальних даних, отриманих в аеродинамічних трубах та льотних випробуваннях.

Висновки, подані у дисертації та авторефераті, відображають головні результати досліджень.

3. Наукова новизна дисертаційної роботи

1. Визначенні закономірностей впливу геометричних параметрів і ступеня турбулентності потоку на аеродинамічні характеристики літального апарата схеми «тандем».

2. Розроблено аналітично-числовий метод визначення стаціонарних аеродинамічних характеристик літального апарату схеми «тандем».

3. Вперше досліджено аеродинамічні характеристики безпілотного літального апарату схеми «тандем» класу «мікро» з телескопічними крилами.

4. Розроблено спосіб побудови аеродинамічного профілю для літального апарата схеми «тандем» при малих числах Рейнольдса.

5. Вперше досліджено вплив початкового ступеня турбулентності та геометричних параметрів БЛА схеми «тандем» на інтерференцію несучих поверхонь.

6. Вперше виведено критерії подібності вихрових систем літальних апаратів схеми «тандем».

4. Практичне значення отриманих результатів

1. Метод визначення аеродинамічних характеристик літального апарата схеми «тандем» доведено до практичного використання, що дає можливість його використання на початкових етапах конструювання безпілотних літальних апаратів.

2. Розроблений аеродинамічний профіль для літальних апаратів схеми «тандем» для малих чисел Рейнольдса (патент України №75557) порівняно з аналогами забезпечує при незмінній максимальній аеродинамічній якості приріст максимального коефіцієнту піднімальної сили та зменшення балансувальних втрат.

3. Визначені поправки на ступінь турбулентності заднього крила безпілотного летального апарату типу «тандем» дають можливість підвищити точність визначення профільного опору на ~20...25 %.

4. Результати дисертаційної роботи впроваджені при створенні безпілотних літальних апаратів в ДП «ДККБ «Луч» (Акт впровадження від 16.06.2015 р.) і у в ДП «ДКБ авіації загального призначення» (Акт впровадження від 03.06.2015 р.).

5. Повнота викладення наукових положень, висновків та рекомендацій в опублікованих працях

Наукові положення, висновки і рекомендації достатньо повно викладені у 18 опублікованих працях, обговорені на конференціях та семінарах. Із них 7 входять до переліку фахових видань ДАК України, 1 робота у науковому періодичному виданні Польщі; загалом – 5 публікацій у наукометричних виданнях; 8 – матеріалів доповідей на наукових конференціях. Крім того за результатами роботи одержано 2 патенти на винаходи.

6. Аналіз змісту дисертації

Дисертаційна робота складається зі вступу, переліку основних скорочень та позначень, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 140 сторінок, містить 183 рисунки і 28 таблиць. Список використаних джерел містить 72 посилання.

У **вступі** наведена загальна характеристика роботи, обґрунтована її актуальність, сформульовано мету і завдання досліджень, наукову і практичну значимість отриманих результатів. Наведені дані про впровадження результатів роботи, її апробації та публікації

У **першому розділі** проаналізовано напрямки розвитку безпілотної авіації, наведено огляд літальних апаратів схеми «тандем», проаналізовано переваги та недоліки схеми «тандем», узагальнено рекомендації щодо аеродинамічного обрису таких літальних апаратів. Відмічені аеродинамічні особливості класу «мікро», що істотно відрізняється від аеродинаміки великих літальних апаратів. Остання полягає у тому, що для малих чисел Рейнольдса, властивих багатьом безпілотним літальним апаратам, при зменшенні чисел Рейнольдса у діапазоні 10^5 – 10^6 змінюються аеродинамічні характеристики профілів як функції числа Рейнольдса.

На засадах аналізу переваг і недоліків безпілотних літальних апаратів схеми «тандем» показано, що вибір аеродинамічної схеми вимагає задоволення умов не лише вибору профілів при малих числах Рейнольдса, але і врахування інтерференції переднього і заднього крил, особливостей їхнього обтікання на великих кутах атаки, а також взаємодію крил з вихровою системою гвинтів.

У **другому розділі** наведено аналітично-числовий метод визначення поздовжніх і бічних аеродинамічних характеристик безпілотного літального апарату схеми «тандем». Аналітично досліджено вплив кута поперечного V переднього та заднього крил на аеродинамічні характеристики. Досліджено аеродинамічні характеристики літального апарату з телескопічними крилами у діапазоні чисел Рейнольдса 125000...250000. Представлено схему вибору аеродинамічного профілю та дослідження аеродинамічних характеристик профілів при малих числах Рейнольдса. Запропоновано новий профіль, новизна якого підтверджена отриманим патентом. Для порівняння результатів випробувань літальних апаратів і їхніх моделей за різних умов визначено критерії подібності вихрових систем схеми «тандем». Показано, що для досягнення динамічної подібності вихрових систем необхідно геометрична та кінематична подібність із заданим масштабом сил.

У **третьому розділі** наведені й проаналізовані результати дослідження аеродинамічних характеристик моделі літального апарату схеми «тандем» в

аеродинамічній трубі й льотних випробувань безпілотного літального апарата схеми «тандем». Показано, що для аеродинамічних компоновок безпілотних літальних апаратів схеми «тандем», у яких розмах заднього крила перевищує розмах переднього крила, ефективність поперечного V заднього крила значно зростає при збільшенні поздовжнього виносу крила. Для цієї ж компоновки коли розмах переднього крила перевищує розмах заднього крила збільшення поздовжнього виносу крила знижує ефективність поперечного V заднього крила.

У четвертому розділі наведено результати порівняння аеродинамічних характеристик, розрахованих за запропонованим методом і отриманих в аеродинамічній трубі. Порівняння розрахованих та експериментальних поляр, характеристик поздовжньої стійкості, бокової стійкості, аеродинамічних характеристик моделі з телескопічним крилом показало узгодження між теоретичними і практичними результатами у межах похибки 10 %. Представлено алгоритм аналітично-числового методу визначення аеродинамічних характеристик літального апарату схеми «тандем», який було апробовано при формуванні обрису безпілотного літального апарату «Рама».

7. Зауваження:

1. Для створення методу визначення аеродинамічних характеристик немає потреби доведення методу до інженерного використання та розробки комплексу програм (останнє не є науковою задачею).
2. В описі особистого внеску здобувача не вказано його особистий внесок у конкретних публікаціях.
3. Дисертаційна робота дещо переобтяжена технічними деталями, частина яких може бути скорочена без шкоди для якості роботи, а інша частина може бути представлена на рисунках.

4. Для візуалізації вихорів доцільніше проводити дослідження у гідравлічних трубах. І для цих досліджень є спеціальний термін візуалізація при проведенні досліджень в аеродинамічних трубах, а не термін «візуальні випробування» використовуваний у роботі.

5. Окремі оцінки збігу розрахунків і експериментів не конкретні (стор. 74 – можна з високою точністю апроксимувати залежністю порівняння розрахункової якості; стор. 86 – показує гарне узгодження результатів; стор. 136 – Теорія та випробування показують досить точний збіг).

6. Не вказані переваги точності розрахунків при виборі програмного забезпечення Profili.

7. Деякі висновки є лише констатацією фактів (стор. 41 - Аеродинамічна схема «тандем» продемонструвала ряд переваг та недоліків для пілотованих літальних апаратів, стор. 83 – Аеродинамічна модель телескопічного крила може бути використана і для безпілотних літальних апаратів «нормальної» схеми.; стор. 94 – Проведено числові дослідження аеродинамічних характеристик системи.; стор. 103 – Розроблено аналітично-числовий метод визначення аеродинамічних характеристик літального апарата схеми «тандем» на початкових стадіях його проектування.; стор 126 – Для моделі в базовій компоновці (1–1) отримані аеродинамічні характеристики; стор. 138 – Порівняння показало узгодження між теоретичними і практичними результатами двох профілів при різних початкових ступенях турбулентності.)

8. Висновки за дисертаційною роботою містять деякі недостатньо чіткі положення (6. Розроблене програмне забезпечення, що дозволяє оперативно розраховувати аеродинамічні характеристики літального апарату схеми «тандем» на початкових стадіях проектування. 8. Результати аналітико-числових досліджень підтверджуються матеріалами випробувань в сертифікованій аеродинамічній трубі, а також результатами льотних випробувань.)

8. Загальна оцінка дисертаційної роботи

Дисертаційна робота є закінченим науковим дослідженням, в якому отримані нові науково обґрунтовані результати, що у сукупності є важливими для розвитку авіаційної науки. Оформлення дисертації у цілому відповідає чинним вимогам. Автореферат відповідає змісту дисертації.

Вважаю, що дисертація Кривохатька Іллі Станіславовича «Метод визначення аеродинамічних характеристик літального апарата схеми «тандем» задовольняє вимогам, які висуваються до кандидатських дисертацій за пунктами 9, 11-13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, а автор роботи, Кривохатько Ілля Станіславович, гідний присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.07.01 – аеродинаміка та газодинаміка літальних апаратів.

Старший науковий співробітник

науково-дослідної частини

Національного авіаційного університету,

доктор технічних наук

З.Г.Б.

В.В. Кабанячий



Підпис гр. Кабанячий В.В.

з а с в і д ч у ю

Вчений секретар

Національного авіаційного університету

О.І. Варгашко