

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 надіслано до спецради Д 26.062.05 28.09.2015р
Вг. секретар МОН/Кочубов 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 компонок 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

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Кривохатько Іллі Станіславовича

**" Метод визначення аеродинамічних характеристик літального апарата
схеми «Тандем» "**

поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності
05.07.01 – аеродинаміка та газодинаміка літальних апаратів.

Детальний аналіз дисертації Кривохатько І. С. " Метод визначення аеродинамічних характеристик літального апарата схеми «Тандем» " дозволяє сформулювати наступні узагальнені висновки щодо актуальності, ступеня обґрунтованості основних наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності, наукової новизни, практичного значення, а також загальної оцінки роботи.

Актуальність теми дисертаційного дослідження.

Вибір аеродинамічної схеми займає ключове місце в загальному процесі проектування літального апарата. Від вдалого вибору аеродинамічної схеми як правило залежить успіх всього проекту літального апарату. За всю історію розвитку авіації аеродинамічна схема «тандем» хоч і не набула широкого розповсюдження, але вирізняється серед інших аеродинамічних схем високими аеродинамічними якостями і компактністю. На жаль в силу конструктивних особливостей аеродинамічної схеми «тандем» не вдалося реалізувати всі її переваги при створенні великих літальних апаратів. На сучасному етапі розвитку авіації дуже активно розвиваються малі та безпілотні літальні апарати, принципи конструювання та методи забезпечення міцності яких суттєво спрощені. При проектуванні таких літальних апаратів аеродинамічна схема «тандем» стає дуже привабливою.

Для оптимізації аеродинамічної схеми літального апарата необхідно мати ефективні методи визначення його аеродинамічних характеристик, які можна було застосовувати уже на початкових стадіях проектування. Застосування існуючих

*Відгук надіслано до секретаря 26.06.05 16.09.2019
В. секр. МКОФМ / Козлов І.В.*

методів визначення аеродинамічних характеристик при аналізі схеми «тандем» малих літальних апаратів призводить до суттєвих похибок. Тому розробка методів визначення аеродинамічних характеристик літальних апаратів схеми «тандем» на сьогоднішній день є **актуальною задачею**.

Актуальність теми також підтверджується актами впровадження (акт впровадження на ДП «ДККБ «Луч» від 16.06.2015 р. і акт впровадження на ДП «ДКБ авіації загального призначення» від 03.06.2015 р.) та виконаними науково-дослідними роботами по державній бюджетній тематиці кафедри приладів та систем керування літальними апаратами Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» (НТУУ «КПІ»): «Дослідження аеродинамічних та конструктивно-технологічних параметрів телескопічного крила безпілотного літального апарата» (дослідна робота №0114U004361 від 11.06.2014 р), та за господарчими договорами №1 між НТУУ «КПІ» та ДП «ДККБ «Луч» від 04.07.2008 р. та №12 від 19.11.2014 р.

Основні наукові положення, висновки і рекомендації, що сформульовані у дисертації, ступінь їх обґрунтованості і достовірності

Наукові положення, висновки і рекомендації, які сформульовані в дисертаційній роботі Кривохатько І. С. достатньо обґрунтовані:

- застосуванням сучасних аналітично-чисельних методів досліджень, в тому числі математичного моделювання на ПК з використанням пакетів прикладних програм;
- застосуванням експериментальних методів фізичного моделювання, зокрема в аеродинамічній трубі;

Достовірність розробленого аналітично-числового методу визначення стаціонарних аеродинамічних характеристик літального апарату схеми «тандем», що дозволяє уточнити розрахунок поздовжніх характеристик і розраховувати бокові характеристики з урахуванням інтерференції переднього та заднього крил, не викликає сумніву.

Наведені в дисертаційній роботі теоретичні обґрунтування та експериментальні дослідження виконані коректно на високому науковому рівні.

Результати теоретико-експериментальних досліджень підтверджені льотними випробуваннями безпілотного літака схеми «тандем».

Висновки, які сформульовані в дисертаційній роботі, містять нові наукові положення для удосконалення літального апарату схеми «тандем». Зокрема, висновок 2 підтверджує перспективність застосування в конструкції літального апарату схеми «тандем» телескопічного крила, висновок 3 дає можливість вдосконалення аеродинамічного профілю крила для літального апарату в умовах низьких чисел Рейнольдса, а висновок 6 свідчить про можливість використання результатів досліджень в системах автоматизованого проектування літальних апаратів.

Наукова новизна дисертаційної роботи.

Дисертантом отримані наступні основні наукові результати:

- вперше розроблено аналітично-числовий метод визначення аеродинамічних характеристик літального апарату схеми «тандем», що дозволяє розраховувати як поздовжні, так і бокові аеродинамічні коефіцієнти з урахуванням інтерференції переднього та заднього крил при наявності V-подібності крил.
- вперше визначено критерії подібності вихрових систем літальних апаратів схеми «тандем», що дозволяють переносити результати розрахунку індуктивного опору моделей при відсутності їх повної геометричної подібності.
- новими є результати щодо впливу початкового ступеня турбулентності потоку на інтерференцію крил в схемі «тандем»: при збільшенні ступеня турбулентності негативна інтерференція зменшується; вперше визначено поправки на ступінь турбулентності (наприклад, в аеродинамічній трубі) для заднього крила, які відрізняються від поправок для переднього крила.
- експериментально виявлено нові закономірності впливу геометричних параметрів ЛА (винесення крила, співвідношення розмахів, кута поперечного V) на аеродинамічні характеристики (максимальну аеродинамічну якість): якщо розмах

заднього крила більше, ніж переднього, ефективність поперечного V крила зростає при збільшенні поздовжнього винесення. Причиною є взаємодія і, як наслідок, деформація вільних вихорів переднього та заднього крил.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Запропонований метод дозволяє на початкових стадіях проектування визначати поздовжні та бокові аеродинамічні характеристики безпілотної літальної апаратури схеми «тандем», що забезпечує пришвидшення та здешевлення процесу проектування літальної апаратури.

2. Метод доведено до інженерного використання, розроблено прикладне програмне забезпечення, що дозволяє визначати аеродинамічні характеристики літальної апаратури в автоматизованому режимі.

3. Запропоновано порядок побудови аеродинамічного профілю для літальної апаратури схеми «тандем» в умовах низьких чисел Рейнольдса (патент України №75557), який порівняно з найближчими аналогами забезпечує при незмінній максимальній аеродинамічній якості приріст максимального коефіцієнту піднімальної сили та зменшення балансувальних втрат.

4. Для заднього крила визначено поправки на ступінь турбулентності, що дозволяє підвищити точність визначення профільного опору на ~20...25 %.

Результати дисертаційної роботи впроваджені при створенні безпілотної літальної апаратури в ДП «ДККБ «Луч» (Акт впровадження від 16.06.2015 р.), в ДП «ДКБ авіації загального призначення» (Акт впровадження від 03.06.2015 р.)

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

Основні положення дисертації опубліковані в 18 наукових працях, з них: 8 статей у фахових виданнях за переліком ВАК України, в т.ч. 5 статей у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз; 1 стаття у закордонному виданні; матеріали 8 науково-технічних конференцій; 2 патенти України на корисну модель.

Обсяг друкованих робіт та їх кількість відповідають вимогам МОН України щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Зміст автореферату є ідентичним до змісту дисертації і достатньо повно відображає основні положення дослідження.

Аналіз змісту дисертації.

Дисертація складається з вступу, переліку основних скорочень та позначень, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел з 72 найменувань, додатків. Основна частина дисертації надрукована на 140 сторінках, містить 183 рисунки та 28 таблиць.

У *вступі* Кривохатьком І.С. обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані мета і задачі досліджень, викладені наукова новизна та практична значимість отриманих результатів, наведені дані про особистий внесок, публікації та апробацію наукових розробок.

В *першому розділі* дано аналіз сучасного стану та перспектив розвитку як літальних апаратів схеми «тандем», так і методів визначення їх аеродинамічних характеристик. Показано, що аеродинаміка даної схеми досліджена в значно меншій мірі, ніж традиційної схеми. Насамперед це пов'язано зі складнощами врахування інтерференції між крилами: скосу потоку, турбулізації та уповільнення потоку на задньому крилі. Зроблено узагальнення рекомендацій щодо вдосконалення аеродинамічного обрису літального апарата схеми «тандем».

В *другому розділі* на основі аналітично-чисельного методу проведено теоретичні дослідження аеродинамічних характеристик літального апарата схеми «тандем». Зокрема, досліджено вплив кута поперечного V переднього та заднього крил на аеродинамічні характеристики; проаналізовані аеродинамічні характеристики телескопічного крила як перспективного напрямку вдосконалення аеродинаміки безпілотного літального апарату схеми «тандем» класу «мікро»; розроблено алгоритм вибору аеродинамічного профілю крила для низьких чисел Рейнольдса; досліджено

вплив початкового ступеня турбулентності потоку на аеродинамічні характеристики профілю крила.

В **третьому розділі** проаналізовано результати дослідження аеродинамічних характеристик моделі літального апарата схеми «тандем» в аеродинамічній трубі. Зокрема, розглянуто вплив інтервалу винесення крил та кута поперечного V крила на поздовжні та бокові аеродинамічні характеристики; представлені результати візуалізації розташування вільних вихорів при різних геометричних параметрах моделі.

В **четвертому розділі** проведено порівняння результатів розрахунку аеродинамічних характеристик літального апарату схеми «тандем» з застосуванням запропонованого методу з результатами випробувань в аеродинамічній трубі. Порівняння розрахованих та експериментальних поляр, характеристик поздовжньої стійкості, бокової стійкості, аеродинамічних характеристик моделі з телескопічним крилом показало задовільний результат для методу, що використовується на початкових стадіях проектування літального апарату.

Загальні висновки по дисертації відповідають її змісту, конкретно і стисло висвітлюють основні наукові результати.

Загалом можна зазначити, що дисертація є закінченою науковою роботою, в якій отримані нові наукові результати, що мають теоретичну та практичну цінність

Дискусійні положення та зауваження щодо дисертаційного дослідження.

Разом з тим, по дисертаційній роботі слід зробити наступні зауваження:

1. Алгоритм вибору аеродинамічного профілю для літального апарата схеми «тандем» при низьких числах Рейнольдса, викладений в розділі 2.4, не зовсім переконливий. Не сформульовано чіткого комплексного критерію вибору профілю, який би базувався на геометричних та аеродинамічних характеристиках профілів. Основна частина алгоритму базується на основі експертних рішень/досвіду. Крім цього база профілів, з яких робиться вибір, обмежена базою програмного забезпечення *Profili 2.27c(2.30)*. В той-же час, якщо керуватися викладеним в розділі

2.4 алгоритмом, то серед найкращих профілів для низьких чисел Рейнольса мав би бути профіль у вигляді пластинки, вигнутої по дузі кола.

2. При визначенні коефіцієнта підйимальної сили літального апарату схеми «тандем» (формула 7, сторінка 50) не врахована інтерференція між крилами та фюзеляжем. Відомо, що інтерференція між фюзеляжем та крилом стає суттєвою, якщо останнє розташоване відносно фюзеляжу по схемі низькоплан. В досліджуваній схемі «тандем» це стосується заднього крила. Ситуація ще більше ускладнюється, якщо зважити на те, що заднє крило розташоване в задній частині фюзеляжу, що звужується.

3. Викликає сумнів правильність назви параграфа 3.10 «Результати візуальних випробувань». Ймовірно це невдалий переклад з російської мови терміну «*визуальные исследования*», які широко застосовуються в мистецтві та криміналістиці. Зміст параграфа свідчить про те, що в ньому йде мова про візуалізацію вихрових структур.

4. Дисертація переобтяжена додатками. Обсяг додатків становить близько 100 сторінок при 140 сторінках основного тексту дисертації. Додатки містять багато первинних матеріалів досліджень (додаток С) та матеріалів технологічного характеру (наприклад, скріншоти прикладів розрахунків). Вважаю, що обсяг додатків без втрати якості дисертації можна було скоротити вдвічі. Необхідно було ширше використовувати зведені та узагальнюючі графіки. Крім цього, частина рисунків до дисертації розміщена в додатках (розділи 1, 2 та 3), а рисунки до розділу 4 – в тексті розділу. Нумерація рисунків незрозуміла: в межах розділів 1, 2 і частини 3 – застосовано наскрізну нумерацію сторінок, а в частині 3-го і 4 розділах – нумерація рисунків містить вказівку на параграф.

Загальна оцінка дисертаційної роботи

Дисертація Кривохатько Іллі Станіславовича є структурованою, цілісною, завершеною науково-дослідною роботою, а отримані в ній результати вирішують задачу вдосконалення методів визначення аеродинамічних характеристик літальних апаратів схеми «тандем».

Оформлення дисертації і автореферату в цілому, з урахуванням зазначених вище зауважень, відповідає діючим нормативним документам.

Представлена дисертаційна робота відповідає вимогам, що висуваються до кандидатських дисертацій згідно з п.п. 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 її автор, Кривохатько Ілля Станіславович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.07.01 – аеродинаміка та газодинаміка літальних апаратів.

Офіційний опонент,
старший науковий співробітник
Інституту гідромеханіки НАН України,
канд. техн. наук, ст. наук. співробітник



В.В. Мороз

Підпис Мороза В.В. засвідчую:
Вчений секретар
Інституту гідромеханіки НАН України



Н.С. Городецька