

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Гевка Богдана Андрійовича

на тему «Модель зовнішніх навантажень на пружне крило літака транспортної категорії при польоті в неспокійному повітрі»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 13 – Механічна інженерія
за спеціальністю 134 – Авіаційна та ракетно-космічна техніка

Актуальність теми дисертації.

Навантаження є вихідними даними для розрахунків на міцність, для статичних і динамічних випробувань, а також, для проведення аналізу напружено-деформованого стану конструкції та повинні відповідати вимогам, передбачених нормами льотної придатності. Від ступеня цієї відповідності залежить міцність, закладена в конструкцію літака, його вагова ефективність, ресурс та ін.

На відміну від статичних навантажень, визначення динамічних навантажень на пружний літак потребує розв'язання задач аеропружності для забезпечення необхідної міцності конструкції.

Політ в неспокійному повітрі є одним з основних розрахункових випадків для визначення міцності при дії динамічних навантажень, особливо це відноситься до міцності крила, фюзеляжу і кріплення двигунів. Вимоги до проведення аналізу динамічного навантаження від поривів та безперервної турбулентності записані в нормах льотної придатності. Більшість сучасних методів для визначення динамічних навантажень потребує індивідуального підходу і модернізації для кожної розглядуваної задачі.

Ускладнення пружно-масових схем конструкцій потребують удосконалення теоретичних і експериментальних методів досліджень динамічних навантажень – з використанням нестационарної аеродинаміки та динамічно подібних аеродинамічних моделей і результатів натурних льотних випробувань. Використання сучасних засобів телеметрії і керування польотом може забезпечити отримання достатньої кількості експериментальних даних під час льотних випробуваннях літака, як при польоті через однократний порив, так і через безперервну турбулентність.

Таким чином, отримання розрахункової моделі зовнішніх навантажень, яка з високою точністю співпадає з даними експериментальних досліджень та дозволить провести необхідні розрахунки на ранніх етапах проектування літального апарату, є актуальною науковою та практичною задачею.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Обґрунтованість наукових положень дисертаційного дослідження Гевка Б.А., їх переконливість, ґрунтовність висновків та рекомендацій, виконаних за результатами роботи, обумовлені використанням для їх одержання різнопланових методів досліджень. Дисертант використовував системний підхід до теоретичних та експериментальних напрямів досліджень на основі аналізу й узагальнення виконаних розробок і наукових напрацювань. Моделювання конструкції літака пружними балками дозволило описати навантаження й деформований стан конструкції з допомогою лінійної інженерної теорії вигину й кручення балок змінної жорсткості. Для отримання моделі навантажень використано відомі чисельні панельні аеродинамічні методи. Методи математичної статистики використовувалися при обробці експериментальних даних.

Достовірність одержаних у дисертаційній роботі результатів, положень, висновків і рекомендацій підтверджено високою точністю співпадіння результатів наземних частотних випробувань (НЧВ) з результатами математичного моделювання конструкції літака, та результатів вимірювань навантажень під час льотних випробувань з розрахунковими, а також апробацією та впровадженням результатів досліджень на ДП «АНТОНОВ» при проектуванні крил літаків Ан, що підтверджено відповідним Актом.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Удосконалено математичну модель зовнішніх навантажень при польоті в неспокійному повітрі для пружного літака, що враховує масові, пружні та аеродинамічні характеристики конструкції літака і параметри поривів повітря.
2. Синтезовано комп'ютерно-інтегрований метод розрахунку навантажень на літак, що використовує комплексну математичну модель пружного літака транспортної категорії з крилом великого подовження на базі балкових масово-інерційних моделей конструкції літака та панельних аеродинамічних методів.
3. Ідентифіковано параметри впливу зовнішніх факторів на навантаження та динамічну реакцію конструкції крила літака транспортної категорії у

відповідності до його пружної моделі та параметрів зовнішніх факторів, при використанні запропонованої моделі навантажень.

4. Узагальнено обчислювальні методи ДНВ та IMAD, а також панельні аеродинамічні методи DLM/CPM, VFM, DLM та Panel, що використовуються для визначення навантажень, що діють на літак при польоті в неспокійному повітрі.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі авіа- та ракетобудування КПІ ім. Ігоря Сікорського та на базі розрахунково-дослідного відділу ресурсу, зовнішніх навантажень і аеропружності ДП «АНТОНОВ» відповідно до наказу ДП «АНТОНОВ» №2323 від 11.11.2020 року за темою: «Оцінки характеристик: спектрів навантажень, залежностей навантажень від умов навантаження (за матеріалами вимірювань навантажень в процесі льотних випробувань літака Ан-178 № 001)» під керівництвом доцента кафедри авіа- та ракетобудування, к.т.н., Бондаря Юрія Івановича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання з одержання математичної моделі зовнішніх навантажень на крило літака транспортної категорії при польоті в неспокійному повітрі, що забезпечить відповідність результатів чисельного рішення результатам експерименту, виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Гевка Б.А. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі 134 – Авіаційна та ракетно-космічна техніка та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям аеропружності та міцності авіаційних конструкцій.

Результати виконаного здобувачем дослідження свідчать про хороший науковий рівень дисертації і методичну цінність проведеної роботи. Отримані автором результати вирішують сформульовані в дисертації завдання і свідчать про теоретичне і практичне значення виконаних досліджень.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Гевка Богдана Андрійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Дисертаційна робота викладена послідовно, має логічну структуру та доступна для розуміння, написана технічною мовою з використанням наукової термінології. Текст дисертації має достатній обсяг та проілюстрований рисунками та таблицями.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Роботу викладено на 180 сторінках, містить 68 рисунків, 14 таблиць, список використаних джерел з 101 найменування.

У вступі обґрунтовано вибір тематики дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено відомості про апробацію результатів дисертаційної роботи та охарактеризовано особистий внесок здобувача.

В першому розділі проаналізовано вимоги норм льотної придатності до визначення динамічних навантажень, що діють на літак при польоті в неспокійному повітрі, в тому числі розглянуто види поривів повітря: статичний вертикальний порив вітру, однократний порив та безперервна турбулентність. Також, розглянуто методи визначення навантажень на крило літака при польоті в неспокійному повітрі. Сформульовано порядок розрахунку навантажень. Описано експериментальні методи дослідження пружних та аеропружних характеристик конструкції: випробування динамічно подібних моделей в аеродинамічних трубах, наземні частотні випробування. Розглянуто методику обробки навантажень виміряних під час льотних випробувань.

В другому розділі сформульовано алгоритм визначення та побудови осі жорсткості складного просторового агрегату. Це дозволяє описати навантаження й деформований стан конструкції з застосуванням лінійної інженерної теорії вигину й кручення балок змінної жорсткості, що використовує гіпотезу плоских перетинів. Таким чином, отримано балкову пружно-масову модель літака, для якої описано математичні алгоритми побудови й визначення форм та частот власних коливань. Також розглянуто три методи визначення аеродинамічних навантажень на пружну конструкцію літального апарату: 1) метод циркуляцій, 2) стаціонарних та 3) нестаціонарних вихорів. Отримані результати дозволили сформувати метод визначення навантажень на агрегати літака в тому числі і на крило при польоті в неспокійному повітрі.

В третьому розділі сформульовано та описано структуру та принцип роботи інтегрованої моделі розрахунку навантажень на літак при польоті в неспокійному повітрі. Також наведено перелік, структуру та порядок

організації вхідних та вихідних даних необхідних для розрахунку навантажень. Описано принцип побудови плоских несучих поверхонь літака, що використовуються при застосуванні панельних аеродинамічних методів для визначення аеродинамічних коефіцієнтів, сил та моментів.

Четвертий розділ містить результати математичного моделювання, НЧВ та льотних випробувань, які дозволили проаналізувати достовірність запропонованої моделі зовнішніх навантажень. Першочергово, порівняно методи ДНВ та IMAD, що використовуються для визначення навантажень на літак при польоті в неспокійному повітрі. Додатково розглянуто кілька методів математичного моделювання обтікання літака: дипольної решітки (DLM), панельний (Panel), дипольної решітки та постійних тисків (DLM/CPM), вихрових рамок (VFM). Врахування ефектів нестационарної аеродинаміки призводить до зміни значень приростів навантажень від поривів повітря (до 2% у кореневих перетинах крила). Розглянуто вплив кількості обчислюваних тонів коливаний конструкції літака на навантаження: при збільшенні кількості тонів з 20 до 40 – значення не відрізняються більш ніж на 0,5% для вертикального перевантаження n_y , та не більш ніж 0,1% для поперечної сили Q_y та моментів M_z та M_x . Крім того, обчислено частоти та форми власних коливаний літака та порівняно з результатами НЧВ літака Ан-178, де отримано збіжність частот в межах 2,5%. Підтвердження розрахункових моделей навантажень здійснено шляхом порівняння навантажень виміряних в польоті з обчисленими. Отримано, що різниця між значеннями згинального та крутного моментів становить 2% та 5% відповідно, а відхилення від довірчого інтервалу експериментальних даних не перевищують 1%. Це свідчить про коректне визначення розподілу тисків по поверхні крила, та означає, що метод визначення аеродинамічних навантажень (DLM/CPM) вибраний правильно та його можна використовувати для розрахунку навантажень на крило при польоті в неспокійному повітрі.

У висновках наведено узагальнення отриманих у дисертаційній роботі наукових й практичних результатів.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 9 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus.

Також результати дисертації були апробовані на 6 наукових фахових конференціях.

Кількість та якість публікацій відповідає «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою КМУ від 12 січня 2022 р. № 44. В наведених публікаціях в достатньо повній мірі відображено науковий зміст та основні результати дисертаційної роботи. Особистий внесок здобувача, Гевка Богдана Андрійовича, у всіх публікаціях, опублікованих у співавторстві та зарахованих за темою дисертації, є вагомим, що підтверджується особистою участю у проведенні виконаних робіт. В усіх публікаціях дотримуються принципи академічної доброчесності.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Не зважаючи на високий науковий рівень дисертації, її практичну значущість та актуальність по роботі є зауваження, а її окремі положення потребують пояснень:

1. Термін «навантаження», що використовується в роботі бажано замінити на «внутрішні силові фактори».
2. В роботі (розділ 2) показано детальну скінченно-елементну модель (СЕМ) пружного літака з, приблизно, 10^4 - 10^6 степенями вільності, яка потребує значних обчислювальних потужностей. Однак, можна побудувати і більш просту СЕМ нижчого порядку, це дозволить більш коректно та повно визначити розподіл навантажень на агрегати конструкції літака.
3. В роботі, в четвертому розділі, наведено значну кількість одноманітних графіків, що погіршує сприйняття представлених результатів дослідження.
4. На рисунках 4.19 та 4.20, не дуже зрозуміла легенда. Потрібно уточнити позначення, або надати в тексті їхнє пояснення.
5. В роботі представлено, в більшості випадків, максимальні навантаження на крило від вертикальних висхідних поривів повітря. Бажано привести навантаження і для низхідних поривів, а також, як змінюються навантаження з часом при входженні літака в порив.
6. Зустрічаються граматичні помилки.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Гевка Богдана Андрійовича на тему «Модель зовнішніх навантажень на пружне крило літака транспортної категорії при польоті в неспокійному повітрі» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для 13 – Механічна інженерія. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Гевко Богдан Андрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – Механічна інженерія» за спеціальністю 134 – Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

Рецензент:

Доцент кафедри авіа- та
ракетобудування НН ІАТ
КПІ імені Ігоря Сікорського,
к.т.н.



Олександр БОНДАРЕНКО

М.П.



12

2023 року

