

УДК 629.735.33

DOI: <https://doi.org/10.20535/0203-3771432022275342>

Д. М. Зінченко¹, к.т.н., доцент, О. П. Мариношенко², к.т.н., доцент

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ СМАРТ-МАТЕРІАЛІВ У КОНСТРУКЦІЇ ЛІТАКА

Уа

У роботі досліджено умови використання матеріалів з пам'яттю форми (SMART-матеріалів) у конструюванні літальних апаратів з метою покращення їх аеродинамічних та експлуатаційних характеристик.

Найбільш вірогідне застосування матеріалів SMART для локальних змін геометрії агрегатів літака, які не відповідають за міцність і ресурс конструкції літака. Але такі авіаційні агрегати здатні при необхідності поліпшити характеристики літака.

З огляду на наявний арсенал технічних засобів, які використовуються в практиці літакобудування для покращення льотно-технічних характеристик, у статті наведено найбільш прийнятні варіанти використання матеріалів SMART, а саме: вихрогенераторів, закрилків Анрі та адаптивного завершення крила.

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

² КПІ ім. Ігоря Сікорського

En

The paper examines the conditions of using shape memory materials (SMART-materials) in the design of aircraft with the aim of improving their aerodynamic and operational characteristics.

The most likely application of SMART materials for local changes in the geometry of aircraft units that are not responsible for the strength and resource of the structure the aircraft. But such aircraft units are capable of improving the characteristics of the aircraft if it's necessary.

In view of the existing arsenal of technical means used in the practice of aircraft construction to improve flight characteristics, in the article are presented the most acceptable options for the use of SMART materials, namely: vortex generators, Henri flaps and adaptive wing tip.

Вступ

Постійний пошук шляхів покращення експлуатаційної ефективності транспортних засобів є наявною тенденцією розвитку сучасної цивілізації. Літаки, як частина сучасної транспортної системи, є найбільш ефективними та безпечними транспортними засобами, що демонструють стрімкий розвиток конструкції від самого початку виникнення авіації [1, 2]. Проте слід зазначити, що авіаційна техніка є не тільки об'єктом із максимальною концентрацією наукоємних конструкційних рішень, але й об'єктом чітко визначеного правового поля, що визначається відповідними нормативними документами, насамперед нормами льотної придатності літальних апаратів [3].

Вимоги безпеки льотної експлуатації авіаційної техніки ґрунтуються на прогнозованості характеристик матеріалів, що застосовуються у конструкції літального апарату. Так, (згідно [3], п.п. 25.603) характеристики матеріалів мають бути визначеним шляхом випробувань та відповідати затвердженим технічним умовам, що має гарантувати міцність та інші властивості, прийняті у розрахункових даних; та оцінюватися із урахуванням впливу навколишніх умов, очікуваних в експлуатації, у першу чергу таких, як температура і вологість.

Розробка новітніх конструкційних матеріалів та дослідження їх властивостей притаманні сучасній авіаційній галузі. Зокрема, застосування у елементах конструкції транспортного літака матеріалів із «ефектом пам'яті форми» (т.зв. СМАРТ - матеріали) [4 - 7] здатне реалізувати перспективну концепцію адаптивного крила. Аналіз результатів сучасних випробувань дослідних моделей в аеродинамічних трубах [8] доводить можливість зміни підйімальної сили та опору крила, а також створення керуючих моментів. Ідея керування літаком шляхом викривлення конструкції крила була реалізована ще на першому етапі розвитку авіації і на сьогодні знаходить застосування лише у конструкціях м'яких крил ультра легких літаків та парапланів [9].

Особливості прийнятих технологій виготовлення деталей та агрегатів літаків, а також властивості сучасних конструкційних матеріалів (насамперед явище втоми у металевих сплавах) у купі із вимогами норм льотної придатності значно ускладнюють реалізацію системи керування літаком шляхом деформації всієї конструкції крила із застосуванням матеріалів із «ефектом пам'яті форми». Про це свідчить абсолютна відсутність подібних систем керування серед сертифікованих типів комерційних літаків, оскільки на сьогодні для такої сертифікації відсутні юридичні підстави. Є характерним, що конструкція літаючих пілотованих дослідних літаків, застосованих для оцінювання ефективності адаптивних крил в натурних умовах не застосовує СМАРТ-матеріали для жодного із конструктивних елементів [10].

Постановка задачі

Визначити межі та умови застосування матеріалів з «ефектом пам'яті форми» в конструкції літальних апаратів із метою покращення його аеродинамічних та експлуатаційних характеристик.

Як видно із проведеного аналізу більш ймовірним може бути застосування СМАРТ - матеріалів для локальної зміни геометрії агрегатів літака, що не є відповідальними із точки зору забезпечення міцності та ресурсу конструкції, проте здатні покращувати характеристики літального апарату в разі необхідності.

Зважаючи на наявний арсенал технічних засобів, що застосовуються у практиці літакобудування для покращення льотно-технічних характеристик, найбільш прийнятними варіантами для застосування СМАРТ - матеріалів є наступні конструкційні рішення: генератори вихрів, закрилки Герні та адаптивна кінцівка крила [15, 16].

Генератори вихрів

Зовнішній вигляд типових моделей генераторів вихорів (ГВ), що застосовуються на сьогодні у практиці літакобудування відповідно до [11] наведені на рис. 1.

Типовий вплив ГВ на аеродинамічні характеристики профілю крила літака, відповідно до [11], наведено на рис. 2 у вигляді залежностей коефіцієнтів підйимальної сили C_u та лобового опору C_x від кута атаки α .

Система повздовжніх вихорів, що утворюється за ГВ, як це наведено на рис. 3, більш ефективно розподіляє кінетичну енергію зовнішнього потоку повітря, що, в свою чергу, збільшує максимальні несучі властивості перетинів крила – C_{yMAX} та значення критичного кута атаки α_S .

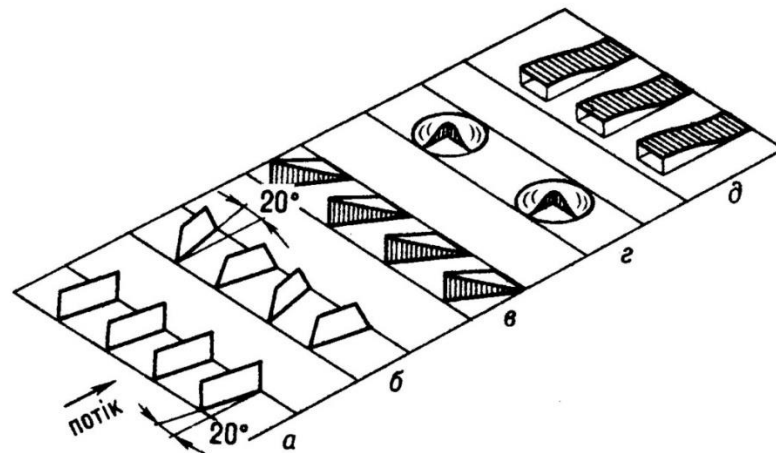


Рис. 1. Генератори вихрів: *а, б*) – комбінації плоских пластинок, що встановлюються перпендикулярно до поверхні, але під певним кутом до напрямку потоку; *в*) – комбінації клинців; *г*) – купола; *д*) – «плуги»

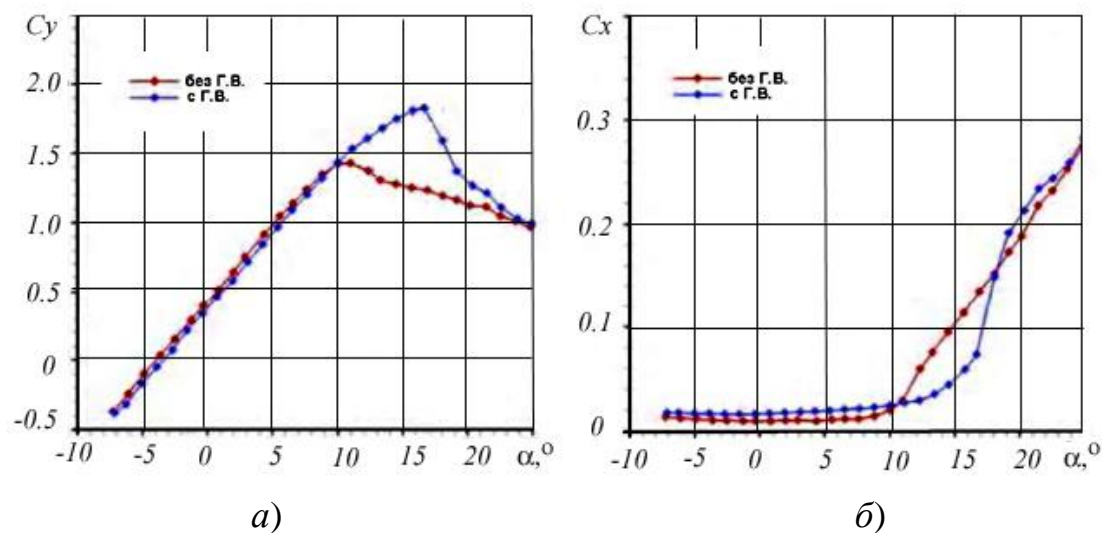


Рис. 2. Типовий вплив генераторів вихрів: *а*) – на підймальну силу профілю крила; *б*) – на лобовий опір профілю крила

Проте, наявність ГВ на поверхні крила також відчутно збільшує лобовий опір у діапазоні значень кутів атаки, що відповідають режиму крейсерського польоту літака ($\alpha = 0 \dots 5^\circ$). Ця особливість обґрунтовує необхідність застосування такого типу ГВ, що в разі необхідності мають з'явитись на поверхні тіла в необхідному місці, але на режимах крейсерського польоту літака будуть прибраними під поверхню літального апарату та не створювати додаткового опору (та додаткової витрати пального).

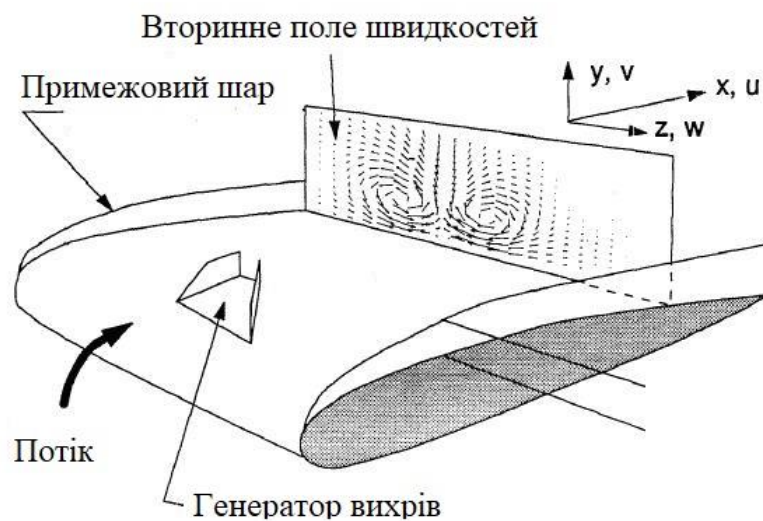


Рис. 3. Схема роботи генератора вихрів

Закрилок Герні

Одним із можливих варіантів застосування матеріалів із «ефектом пам'яті форми» є їх використання у разі реалізації закрилку Герні. Так закрилок Герні являє собою просте конструктивне рішення у вигляді прямого рівнобічного кутника, приєднаного до задньої крайки крила (рис. 4.):

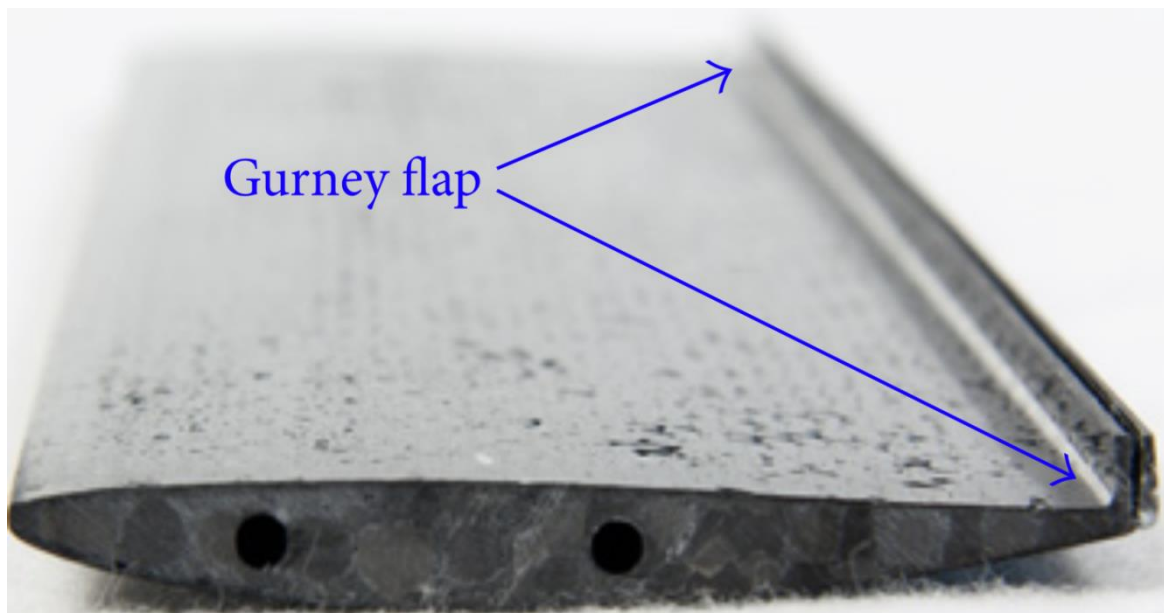


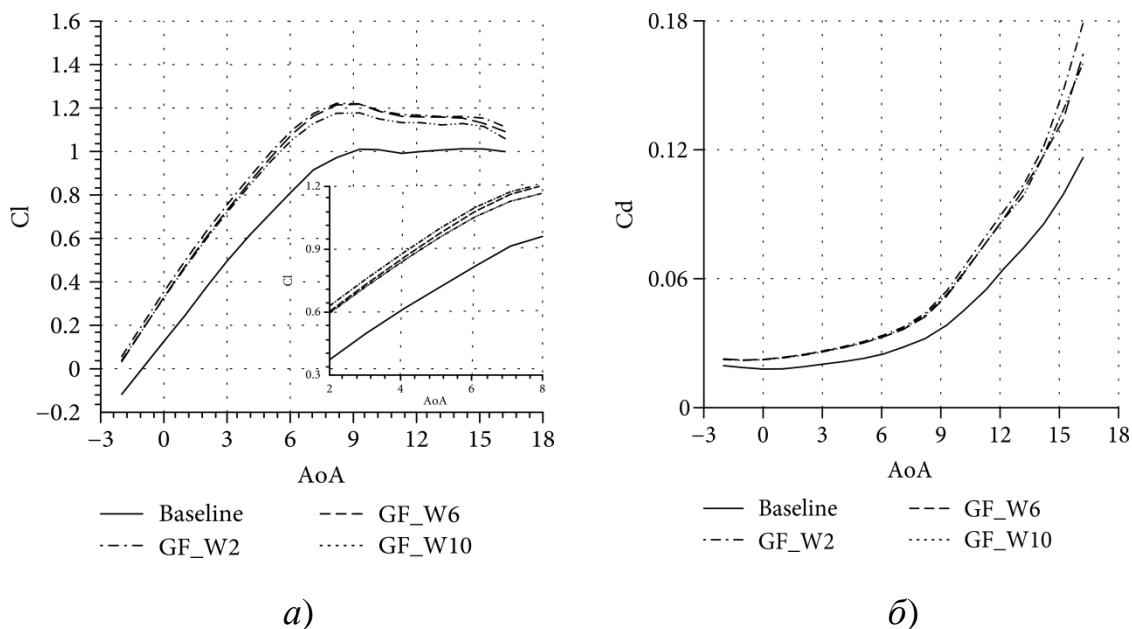
Рис. 4. Закрилок Герні

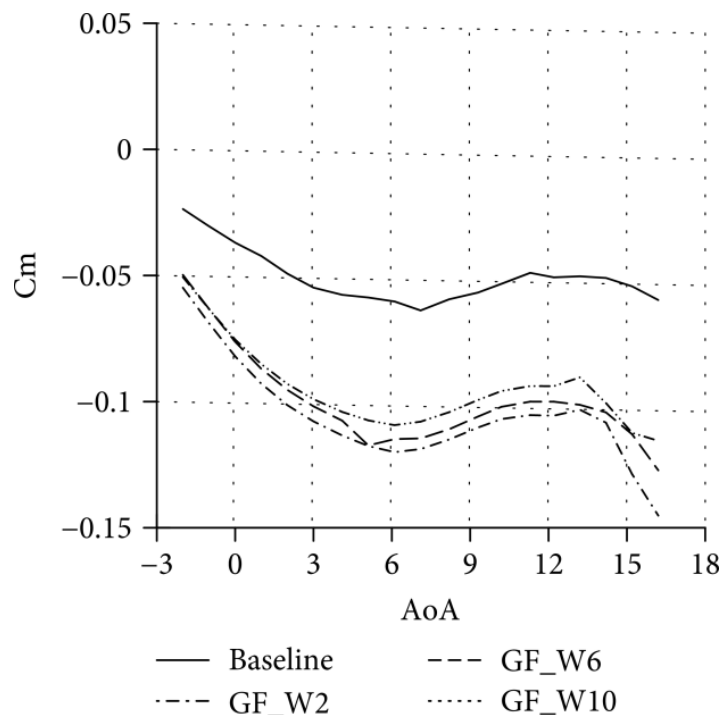
Обтікання профілю крила із встановленим кутником спричиняє систему приєднаних вихорів (рис. 5).



Рис. 5. Схема роботи закрилку Герні

Стала система приєднаних до задньої крайки вихорів створює додатковий активний гідродинамічний контур перетину крила, що у свою чергу, збільшує циркуляцію повітря та спричиняє відчутний приріст несучих властивостей, опору та повздовжнього моменту крила. Характерний вплив закрилку Герні на аеродинамічні характеристики профілю крила наведено на рис. 6 [16]:





в)

Рис. 6. Характерний вплив закрилку Герні (для різних варіантів компонування) на аеродинамічні характеристики перетину крила

Порівняння наведених на рис.2 та рис.6 залежностей, вказує, що встановлення закрилку Герні відчутно покращує аеродинамічні характеристики в порівнянні із встановленням генераторів вихрів. Відповідно є доцільним дослідження впливу параметрів закрилку Герні на його аеродинамічну ефективність із врахуванням технологічних особливостей СМАРТ-матеріалів.

Адаптивна кінцівка крила

Адаптивна кінцівка крила є одним з характерних рішень в царині проектування конструкції адаптивних крил, що здатні змінювати свою форму для покращення льотних характеристик. Кінцівка крила є конструктивно нескладним у виконанні агрегатом, прийнятним для застосування СМАРТ-матеріалів у якості рухомого елемента конструкції, що забезпечують відхилення кінцівки крила (рис. 7).

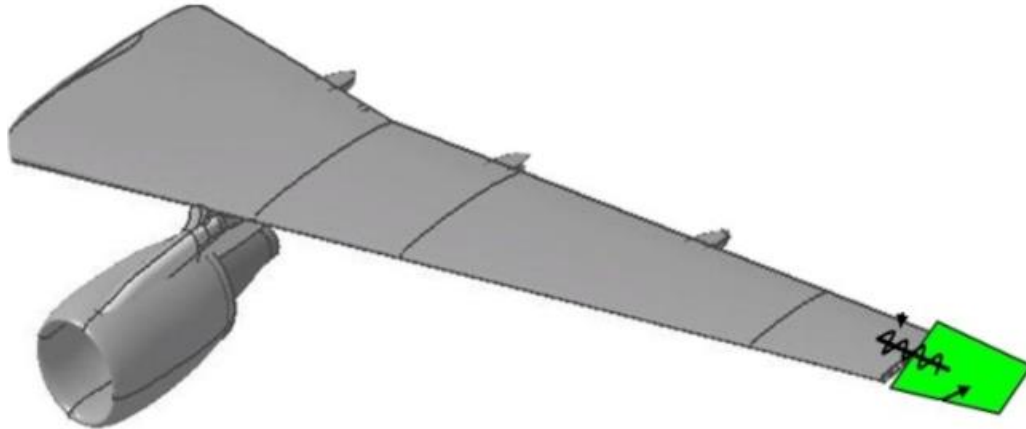


Рис. 7. Принципова схема адаптивної кінцівки крила

Зміна кутів встановлення перетинів крила спричиняє значний вплив на розподіл підйімальної сили вздовж розмаху крила, як це продемонстровано нижче на (рис. 8) [17]:

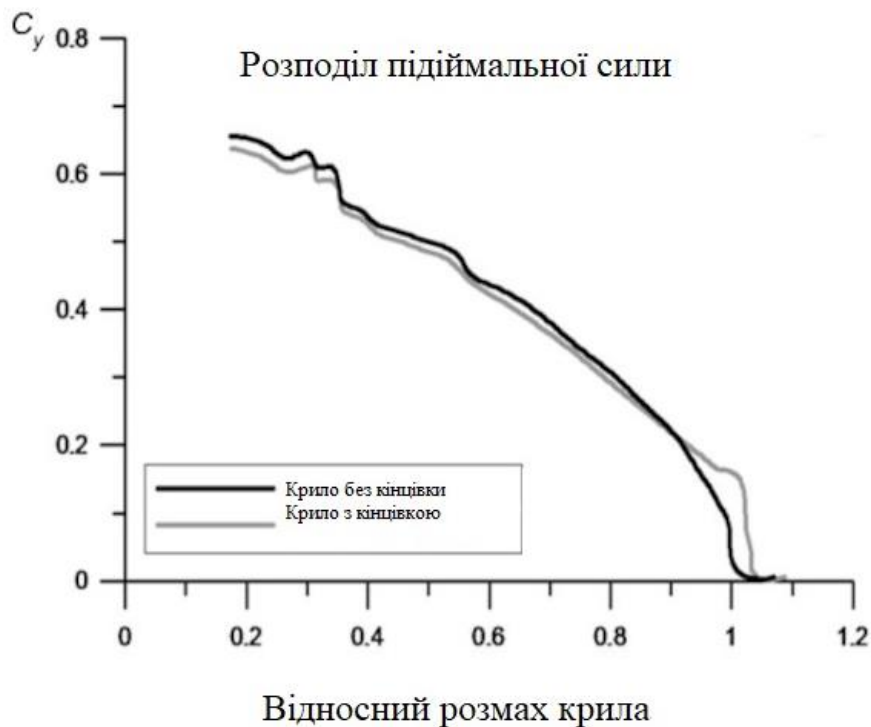


Рис. 8. Характерний вплив адаптивної кінцівки крила на розподіл підйімальної сили

Практичним застосуванням адаптивної кінцівки крила має бути зменшення навантаження на конструкцію консолі крила під час дії атмосферної турбулентності та збільшення ресурсу конструкції (рис. 9):

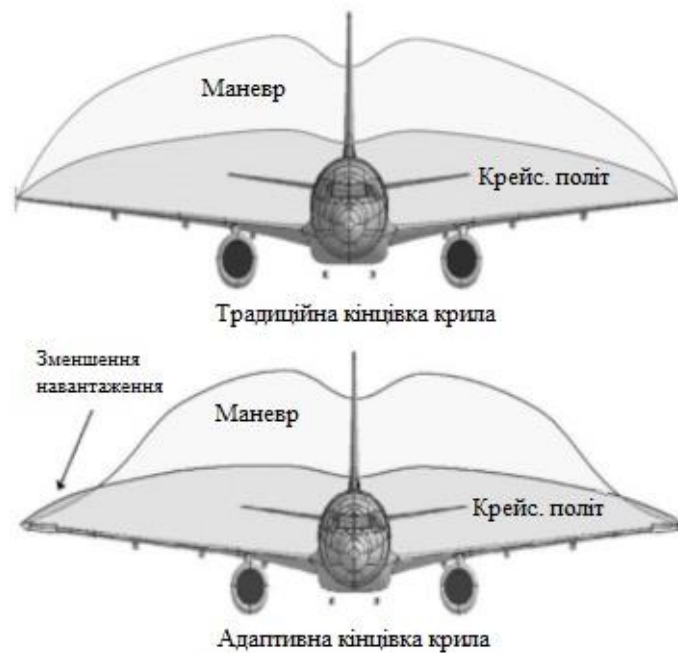


Рис. 9. Ефективність адаптивної кінцівки крила

Висновки

Відсутність характеристик СМАРТ - матеріалів (у першу чергу залежностей параметрів міцності від ресурсу), визначених у відповідності до чинних вимог льотної придатності та затверджених у якості галузевих стандартів унеможливорює застосування СМАРТ - матеріалів для конструктивно-силових елементів літального апарату;

Єдиним прийнятним шляхом є застосування СМАРТ - матеріалів у елементах конструкції, що не відповідають безпосередньо за безпеку польоту, але здатні покращувати льотно-технічні характеристики літака – турбулізатори, генератори вихрів, закрилки Генрі, адаптивна кінцівка крила тощо;

Подальші висновки що до доцільності застосування СМАРТ - матеріалів для конструктивних елементів літака мають ґрунтуватись на результатах фізичних та обчислюваних експериментів дослідних моделей .

Список використаної літератури

1. Civil aviation planes carry 4 billion passengers every hour. – Режим доступу URL: <https://news.un.org/ru/story/2019/12/1368681>.
2. Затрати на авіаційний транспорт – Режим доступу URL: https://ecfor.ru/publication/12_zatraty-na-transport/.

3. European Aviation Safety Agency. Certification Specifications for Large Aeroplanes CS-25 –2006. – Режим доступу URL: http://www.ulc.gov.pl/download/ltt/standatdy/CS-25_2_en.pdf.
4. Електронне видання – Режим доступу URL: <http://pro-samolet.ru/blog-pro-samolet/1107-smart-skin-for-aircraft>.
5. *Jian Sun*. Morphing aircraft based on smart materials and structures/ Jian Sun, Qinghua Guan, Yanju Liu, Jinsong Leng: A state-of-the-art review. Journal of Intelligent Material Systems and Structures. 1–24. DOI: 10.1177/1045389X16629569 jim.sagepub.com.
6. *Lerner E. J.* Biomimetic Nanotechnology / The In Vol.10. P. 16-19. OECD. Environmental Outlook to 2030, 2008.
7. *Кожина Т. Д, Ерошков В. Ю.* Обзор перспектив разработки и применения композиционных и интеллектуальных конструкционных материалов в авиации, на транспорте и энергетике: [SCIENTIFIC RESEARCH AND THEIR PRACTICAL APPLICATION. MODERN STATE AND WAYS OF DEVELOPMENT ‘2013]./ Т. Д. Кожина, В. Ю. Ерошков – РГАТУ им. П. А. Соловьева, 2013.– С. 35–43.
8. Електронне видання – Режим доступу URL: <https://www.nasa.gov/ames/feature/go-go-green-wing-mighty-morphing-materials-in-aircraft-design>.
9. Електронне видання – Режим доступу URL: https://zoom.cnews.ru/rnd/article/item/morfnoe_krylo_istrebitelej_budushchego_zabytye_istoki/1.
10. Електронне видання – Режим доступу URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/adaptive-wing>.
11. Энциклопедия «Авиация». - М.: Научное изд.: Большая российская энциклопедия – ЦАГИ им. проф. Н. Е. Жуковского, 1994. – 735 с.
12. *Bruce R. Fox, Stephen J. Fox* . Retractable vortex generator for reducing stall speed. Patent US 8657238B2. Feb.25.2014 Retractable vortex generator. EP 1896323B1. 17.06.2009.
13. *Аббас Ф. М.* Методика экспериментального определения влияния генераторов вихрей на аэродинамические характеристики крыла при различных углах атаки : дис. канд. техн. наук : 05.07.01 / Аббас Фадиль Махмуд – Київ, 2008. – 172 с.
14. Електронне видання – Режим доступу URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Gurney_flap
15. Електронне видання – Режим доступу URL: <https://www.hindawi.com/journals/ijae/2019/9875968/>
16. Електронне видання – Режим доступу URL: <https://thepresentation.ru/uncategorized/innovatsionnye-ustroystva-zakontsovki-kryla>