

УДК 629.3: 533.682

А. В. СОХАЦЬКИЙ – д. т. н., професор, Університет митної справи та фінансів.
Sokhatsky_anatoly@ukr.net

ВИКОРИСТАННЯ ЕКРАНОПЛАННОГО ЕФЕКТУ В ПЕРСПЕКТИВНИХ ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Вступ

Особливістю розвитку транспортних засобів сьогодні є тенденція до підвищення швидкості руху і поліпшення їх економічності. Це в цілому веде до зростання ефективності пасажирських і вантажних перевезень, дає можливість покращити якість виконання ряду спеціальних завдань і операцій як у цивільній, так і у військовій сфері. Не випадково в даний час в таких країнах, Китай, США, Німеччина, Японія та інших активізувалися роботи в напрямку створення високошвидкісних наземних транспортних засобів, що рухаються над шляховою структурою з використанням електромагнітної левітації [1-4]. Значне поліпшення показників ефективності транспортних засобів досягається підвищенням їх аеродинамічних характеристик. Вони суттєво впливають не тільки на динаміку руху, але й на економічні показники.

Висока ефективність таких транспортних засобів, може обґрунтуватися використанням впливу екранного ефекту на його аеродинамічні характеристики і як наслідок зростанням аеродинамічної якості і показників паливної економічності.

Габрієлли і Карман досліджували питання енергетичних затрат швидкісного руху [5]. Вони провели порівняльну оцінку енергетичної ефективності різних транспортних засобів. Запропонований ними фундаментальний підхід використовують і у наш час [6]. Для порівняння ефективності транспортних засобів можна скористатися діаграмою Кармана–Габрієлі [5]. В основі цієї оцінки лежить відома гіпотеза Кармана, згідно з якою широкий клас різноманітних транспортних апаратів на даному техніч-

ному рівні характеризується однаковою величиною $K_V = \text{const}$. Ця величина визначається нахилом обвідної лінії відповідних залежностей $K_V = f(V)$, наведених на рис. 1. Універсальність граничної лінії $K_V = f(V)$ підтверджується практично і служить підставою для прогнозування розвитку тих чи інших видів транспорту, а також відкриває можливість, навіть за одиничними експериментальними даними для розроблених апаратів, аналізувати принципові досягнення рівня аеродинаміки широкого класу транспортних апаратів і поряд з цим оцінити ступінь їх аеродинамічної досконалості. Кожному рівню технічного розвитку будь-якого транспортного засобу відповідають свої значення $K_V = \text{const}$. Зокрема, наприклад, рівень K_V в 1985-1995 років для літаків оцінювався величиною рівною $15 \cdot 10^3$.

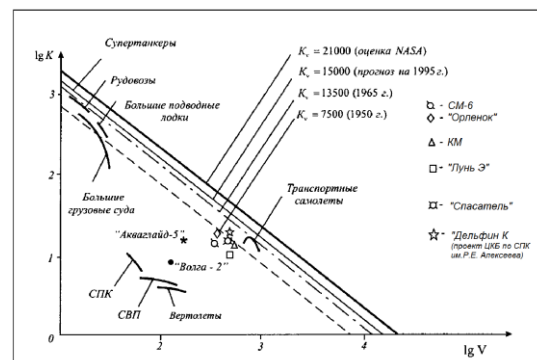


Рис. 1. Діаграма Кармана–Габрієлі для оцінки ефективності транспортних засобів [5]

З діаграми (рис. 1) видно, що в діапазоні швидкостей 200-500 км/год аеродинамічна ефективність наземних транспортних засобів таких, як екраноплани, що визначається залежністю $K_V = f(V)$, значно вища,

ніж у інших транспортних засобів. З точки зору перспектив розвитку наземних транспортних засобів представляє цікавість оцінки значень величини їх K_V , яка широко використовується при прогнозуванні їх розвитку, а також при порівняльному аналізі досягнутого рівня в області аеродинаміки і проектування. Виходячи з аналізу Діаграма Кармана –Габрієли можна зробити висновок про те, що створення наземних транспортних засобів, що рухатимуться з швидкостями 250...500 км/год та використовуватимуть екранопланний ефект, є перспективним розвитком транспортних технологій.

Мета

Метою даної роботи є визначення шляхів використання екранопланного ефекту для покращення технічних параметрів високошвидкісних наземних транспортних засобів, що працюють на новітніх технологіях. Для цього проведено експериментальні дослідження аеродинамічних характеристик двофюзеляжного компоновання транспортного засобу.

Методика та умови проведення експерименту

Експериментальні дослідження проводилися в аеродинамічна труба АТ-1 КМЗ імені О. К. Антонова [2].

Аеродинамічна труба АТ-1 з відкритою робочою частиною має еліптичний вихідний переріз з розміром осей 4000 мм×2230 мм. Вона забезпечує швидкість набігаючого потоку від 10 м/с до 70 м/с з ступенем турбулентності $\varepsilon=0,3\%$. Степінь підтискування сопла -5.

Допустимі габарити моделей:

- розмах крила - $l \leq 2,5$ м,
- площа крила - $S \leq 0,75$ м²,
- еквівалентний діаметр поганообтічних тіл - $d \leq 0,8$ м,
- діапазон кутів атаки - $\alpha = 50^\circ$,
- діапазон кутів ковзання - $\beta = \pm 25^\circ$.

Моделі екіпажу високошвидкісного наземного транспортного засобу повинні мати розмір несучих поверхонь, що не перевищують 70% ширини робочої частини аеродинамічної труби.

Продувочна модель транспортної апарата мала двофюзеляжне крилове компоновання. Аеродинамічні дослідження моделі проводилися при швидкостях набігаючого потоку 30 м/с, 40 м/с, 50 м/с. Величина швидкісного напору визначалася за перепадом статичного тиску в форкамері аеродинамічної труби та атмосфери.

Аеродинамічні сили та моменти, що діють на модель, вимірювалися шестикомпонентними терезами АВ-М2.

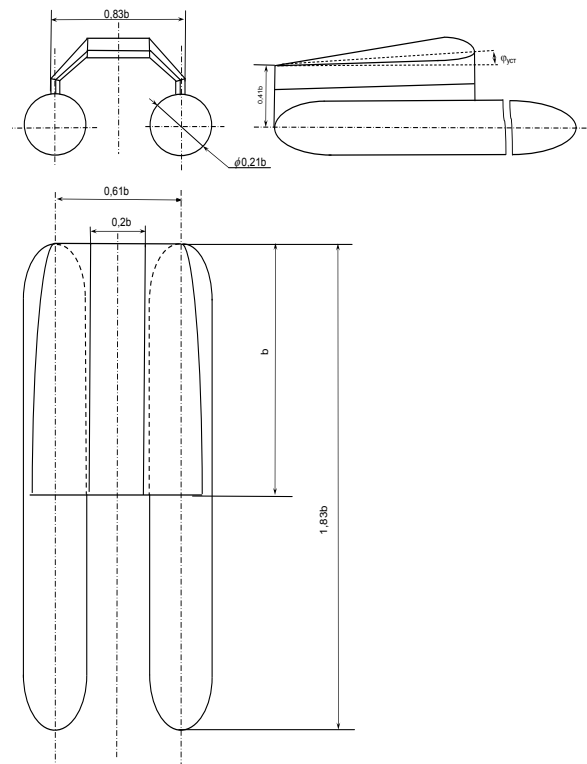


Рис. 2. Двофюзеляжна компоновка транспортного засобу розробленого в ІТСТ НАН України [2]

Кути атаки моделі α відраховувалися від горизонтальної площини потоку. Кути ковзання β відраховувалися від вертикальної площини симетрії потоку до вертикальної площини симетрії моделі. Для визначення безрозмірних аеродинамічних пара-

метрів за характерні розміри було прийнято: проекційна площа крила $S=0,252\text{ м}^2$, хорда крила моделі $b=0,6\text{ м}$, розмах крила моделі $l=0,42\text{ м}$.

При обробці даних експериментальних досліджень урахувались прийняті для аеродинамічної труби поправки на блокінг-ефект, на вплив меж потоку, на опір та моменти від системи підвіски моделей.

Результати досліджень моделі транспортного апарата

Для усіх варіантів експериментальних досліджень проводилися попередні продувки для різних швидкостей потоку в робочій частині аеродинамічної труби. Як показали результати експерименту, в дослідженому діапазоні чисел Рейнольдса $2 \cdot 10^6 < Re < 1 \cdot 10^7$, з достатнім ступенем точності можна вважати аеродинамічні коефіцієнти незалежними від числа Re . Тобто дослідження проведено в області автомодельності.

Експериментальні дослідження проводилися в безмежному потоці при максимальному значенні числа Рейнольдса та куту ковзання, що дорівнювали нулю. Кути атаки змінювалися від -3° до 10° з кроком $\Delta\alpha=1^\circ$. Результати експерименту наведено на рис. 3-8. Коефіцієнт лобового опору змінюється за нелінійним законом. Мінімальне значення коефіцієнта C_x спостерігається для кута атаки $\alpha=-3^\circ$ і дорівнює $0,07$ для моделі транспортного апарата двофюзеляжного компонування. Коефіцієнт підйомної сили C_y в досліджуваному діапазоні кутів атаки змінюється від $0,05$ до $0,4$ для двохфюзеляжної моделі транспортного апарата. Аналіз зміни коефіцієнтів лобового опору та підйомної сили за кутом атаки показує, що для двохфюзеляжної компонувальної схеми похідні $dC_x/d\alpha$ і $dC_y/d\alpha$ мають більші значення ніж для одиничного крила відповідного розмаху.

Аеродинамічна якість $K = C_y/C_x$ при $\alpha=0^\circ$ для двохфюзеляжної схеми складає $K=1,846$.

Залежність коефіцієнта поздовжнього моменту m_z від кута атаки α близька до лінійної і має від'ємне значення похідної $dm_z/d\alpha$, що свідчить про наявність статичної стійкості компоновки. Для моделі транспортного апарата коефіцієнт m_z зменшується від $m_z=0,17$ до $m_z=0,006$ при зміні кута атаки від $\alpha=-3^\circ$ до $\alpha=+10^\circ$. Така залежність коефіцієнта поздовжнього моменту m_z від кута атаки α свідчить про достатнє забезпечення статичної стійкості моделі транспортного апарата двофюзеляжного компонування.

Результати досліджень, що ілюструють вплив кута ковзання β на аеродинамічні коефіцієнти m_x , m_y , C_z для досліджуваних компонувань, показані на рис. 6-8. Продувки проводилися при швидкості набігаючого потоку $V_\infty=50\text{ м/с}$, куті атаки $\alpha=0^\circ$. Кут ковзання β змінювався від $\beta=-15^\circ$ до $\beta=+15^\circ$, з кроком $\Delta\beta=5^\circ$.

Аналіз одержаних результатів показує, що залежності коефіцієнтів бокової сили C_z , моментів m_x і m_y від кута ковзання β мають задовільний характер.

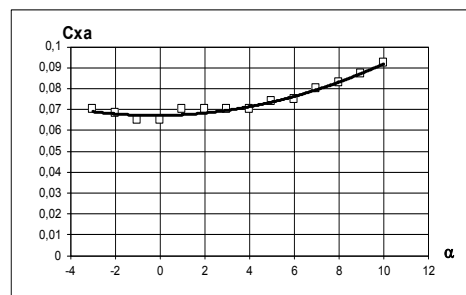


Рис. 3. Залежність коефіцієнта лобового опору від кута атаки

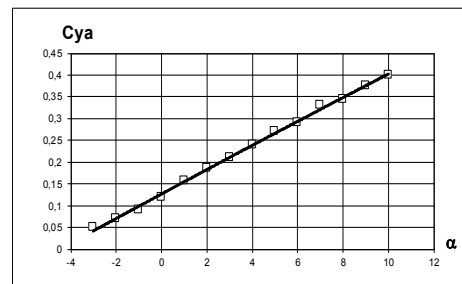


Рис. 4. Залежність коефіцієнта підйомної сили від кута атаки

Транспортний апарат рухається поблизу шляхової структури з малими кутами атаки. Використовуючи рознесення функції в ряд Тейлора, величину коефіцієнта підйомної сили пропонується розраховувати за наступним співвідношенням

$$c_y(\alpha, h) = c_{y0} + c_y^\alpha \alpha + c_y^h h(1 + k_h), \quad (1)$$

де c_{y0} – коефіцієнт підйомної сили без впливу шляхової структури для $\alpha=0^\circ$, α – кут атаки, h – відстань до шляхової поверхні, k_h – коефіцієнт впливу шляхової структури.

Коефіцієнт впливу шляхової структури визначається на основі виразу, отриманого шляхом теоретичних та експериментальних досліджень [1, 7, 8] для даної геометрії та режиму руху за формулою

$$k_h = \frac{1}{c_y^h h} \left(\frac{1}{2} c_y^{\alpha\alpha} \alpha^2 + 2c_y^{\alpha h} \alpha h + \frac{1}{2} c_y^{hh} h^2 \right). \quad (2)$$

Застосування запропонованих співвідношень дозволить визначити вплив шляхової структури на аеродинамічні характеристики.

Наукова новизна та практична цінність

Розглянуто варіант створення транспортного засобу з використанням екранопланного ефекту. Отримано залежності аеродинамічних характеристик від кінематичних параметрів.

За результатами експериментальних досліджень розроблено емпіричні співвідношення для визначення аеродинамічних коефіцієнтів.

Висновки

На основі виконаних експериментальних досліджень шляхової структури, аеродинамічних компонувань транспортних апаратів визначено їх аеродинамічні характеристики. За результатами проведених досліджень:

1. Одержано залежності аеродинамічних коефіцієнтів: лобового опору підйомної сили, поздовжнього моменту для двофюзеляжного компонування швидкісного транспортного апарата від кута атаки.

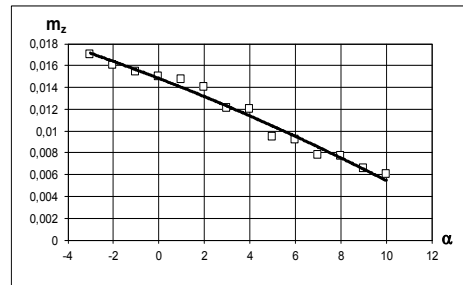


Рис. 5. Залежність коефіцієнта моменту тангажа від кута атаки

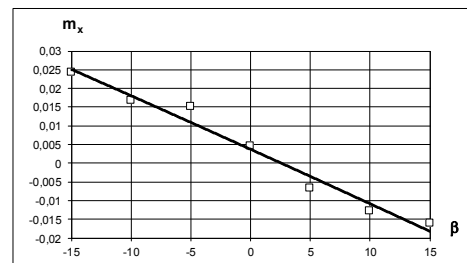


Рис. 6. Вплив кута ковзання на коефіцієнт моменту крену двофюзеляжної моделі

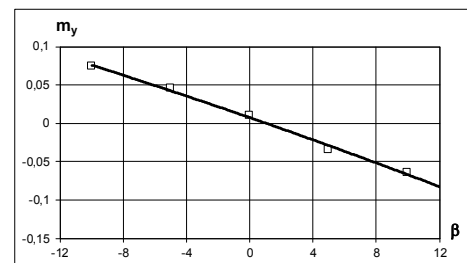


Рис. 7. Вплив кута ковзання на коефіцієнт моменту ристання двофюзеляжної моделі

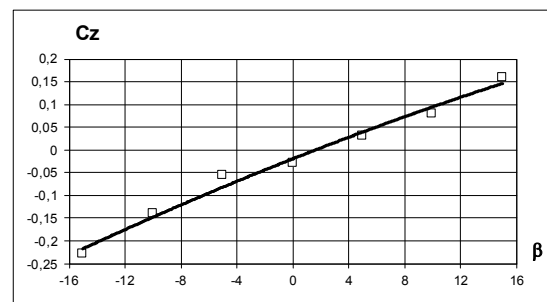


Рис. 8. Вплив кута ковзання на коефіцієнт бокової сили двофюзеляжної моделі

2. Шляхом теоретичних та експериментальних досліджень розроблено емпіричні співвідношення для визначення аеродинамічних коефіцієнтів.

3. Результати експериментальних досліджень використовувалися для формування аеродинамічного компонування дослідного зразка транспортного апарата на надпровідних магнітах в Інституті транспортних систем та технологій НАН України.

Бібліографічний список

1. Дзензерский, В. А. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией / В. А. Дзензерский, В. И. Омеляненко, С. В. Васильев, С. А. Сергеев. – Киев: Наукова думка, 2001.–480с
2. Сохацький, А. В. Теоретичні основи створення аеродинамічних компонувань перспективних швидкісних транспортних апаратів: дис. доктора техн. наук: 05.07.01 / Сохацький Анатолій Валентинович. – Дніпропетровськ, –2010. – 380 с.
3. Маскалик, А. И. Экранопланы – транспортные суда будущего [Текст] / А. И. Маскалик, Р. А. Нагапетян, А. И. Лукьянов. – СПб.: Судостроение, 2013. – 352 с.
4. Приходько, А. А. Математическое и экспериментальное моделирование аэродинамики элементов транспортных систем вблизи экрана / А. А. Приходько, А. В. Сохацкий. – Днепропетровск: Наука и образование, 1998. – 160 с.
5. Gabrielli G., von Karman T.H. What Price Speed? // Mechanical Engineering. 1950. Vol.72, N10.P.775-781.
6. Neu, W. L. Gabrielli-von Karman: Updating the Plot. Has transportation effectiveness improved since 1950? // Marine Technology. 2013. April. P.17-19.
7. Серебрянский, Я. М. Влияние близости земли на аэродинамические характеристики самолета Труды ЦАГИ,1936. Вып. 267.
8. Сохацький, А. В. Наближений метод розрахунку аеродинамічних характеристик наземних транспортних засобів / А. В. Сохацький, О. А. Сохацький, Є. В. Маленко // Вісник Херсонського національного технічного університету . – Херсон, 2018. –Т.2 – С. 300–305.
10. Правила ремонту електричних машин електровозів і електропоїздів. ЦТ-0204. К. : Видавничий дім «САМ», 2012. – 286 с.

Ключові слова: Магнітолевітуючий транспорт, екранопланний ефект, аеродинамічні характеристики, експериментальні дослідження.

Ключевые слова: Магнитолевитирующий транспорт, экранопланый эффект, аэродинамические характеристики, экспериментальные исследования.

Keywords: Maglev transport, aircraft in ground effect , aerodynamic characteristics, experimental researches.

Рецензенти:

д. т. н., проф. М. І. Капіца,
д. ф-м. н., проф. Ф. П. Пасічник.

Надійшла до редколегії 15.11.2018.
Прийнята до друку 27.11.2018.