О.Г. Складаров¹, Ю.Л. Діденко¹, С.І. Почерняєва¹

¹*Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ*

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ЛІТАКА СУ-27 З ПІДВІСНИМ УНІВЕРСАЛЬНИМ КОНТЕЙНЕРОМ ПОВІТРЯНОЇ РОЗВІДКИ В АЕРОДИНАМІЧНІЙ ТРУБІ АТ-1

На підставі результатів виконаних експериментальних досліджень аеродинамічних характеристик літака Су-27 з підвісним універсальним контейнером повітряної розвідки проведено порівняльний аналіз впливу на аеродинамічні характеристики літака існуючих та нового варіанту озброєння.

Ключові слова: літальний апарат, підвісний універсальний контейнер повітряної розвідки, аеродинамічні характеристики, експериментальні дослідження.

Вступ

Постановка проблеми. Тенденції ведення сучасних збройних конфліктів у світі демонструють широке застосування безпілотних літальних апаратів-розвідників. Завдання швидкого реагування та забезпечення видовою інформацією з високою роздільною здатністю із меж зон дій засобів ПВО, стосовно сильно захищених, специфічних цілей, що знаходяться глибоко на території противника, виявились важкими для виконання за допомогою використання безпілотних літальних апаратів.

Разом з тим, провідні країни світу використовують традиційні засоби повітряної розвідки та приділяють значну увагу її подальшого розвитку. Одним із перспективних напрямів є розробка підвісних контейнерів повітряної розвідки (ПКПР) для тактичних літаків. Зазначений підхід дозволяє вести повітряну розвідку об'єктів противника не лише силами підрозділів розвідувальної, а й бомбардувальної, винищувальної та штурмової авіації. Тому, під час модернізації тактичних літаків, у наш час доволі часто передбачають розширення їх можливостей щодо виявлення наземних (морських) цілей шляхом оснащення ПКПР [1, с.1...3; 2...5].

Досвід проведення операції об'єднаних сил підтверджує актуальність оснащення тактичних літаків Збройних Сил України ПКПР із сучасним розвідувальним устаткуванням. Це питання може бути вирішене шляхом розробки (закупівлі) універсальних ПКПР та оснащення (адаптації) ними літаків Су-27, МиГ-29, Су-24М та Су-25, що дозволить вести повітряну розвідку силами підрозділів бомбардувальної, винищувальної і штурмової авіації в тактичній та оперативній глибині [1...6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Використання таких універсальних ПКПР потребує вивчення їх впливу на аеродинамічні характеристики літака-носія тактичної авіації. У цьому напрямку проводились, схожі за сценарієм, дослідження впливу нового озброєння на аеродинамічні та льотно-технічні характеристики тактичних літаків в наступних публікаціях [6, с. 75...80; 7, с. 77...82; 8, с. 88...94].

Мета статті впливає з постановки проблеми та аналізу останніх досліджень і публікацій та полягає в дослідженні сумарних аеродинамічних характеристик моделі літака Су-27 з універсальним ПКПР та оцінці його впливу на аеродинаміку літака.

Виклад основного матеріалу

З огляду на вище згадане, необхідно здійснити вибір базового варіанту штатного підвісного озброєння для літака Су-27 з метою подальшого порівняння із варіантом озброєння літака з універсальним ПКПР.

Літак Су-27 має десять точок підвіски різноманітного озброєння різного класу. Вибір штатних авіаційних засобів ураження (АЗУ) для співставлення з універсальним ПКПР було виконано з врахуванням їх загальної кількості і маси серед варіантів озброєння, а також сумарних значень коефіцієнту лобового опору. Проведений аналіз показує, що найбільше значення коефіцієнта лобового опору при нульовій підймальній силі має варіант озброєння літака Су-27, що включає чотири блоки Б-8М1 з некерованими авіаційними ракетами (НАР) С-8. З огляду на це, саме такий варіант озброєння обрано у якості вихідного для проведення згаданих вище порівнянь різних варіантів озброєння [6, с. 75...80; 9, с. 14...18].

Дослідження аеродинамічних характеристик літака Су-27 проводились на аеродинамічній трубі

АТ-1 Державного науково-дослідного інституту авіації в наступних конфігураціях: варіант 1 – без АЗУ; варіант 2 – 2×Р-73, варіант 3 – 4×блоки Б-8М1 з НАР С-8 та 2×Р-73, варіант 4 – 2×універсальних ПКПР та 2×Р-73. Мета такого підходу базувалась на визначенні достовірності результатів, що можуть бути отримані при проведенні експериментів в аеродинамічній трубці АТ-1 з новим видом підвісного озброєння шляхом відповідного покрокового та послідовного порівнянь. Результати експериментів оброблялись та здійснювалась згідно з методиками, що наведені у [10...14].

Якщо вважати гранично припустимою довжиною підвісного універсального розвідувального контейнеру одну третину загальної довжини літака, то максимальні габаритні показники за довжиною складуть 5,17 м. Крім того, як слідує з аеродинамічних обмежень на лобовий опір, діаметр міделового січення не може перевищувати однієї п'ятої довжини контейнеру, тобто 1,03 м. Тому за модель ПКПР було взято контейнер циліндричної форми радіусом 0,35 м та довжиною 4,0 м.

Порівняння отриманих результатів досліджень здійснювалось із відомими напрацюваннями, що були отримані в [6, с. 75...80] та в [9, с. 38, 39].

На рис. 1...3 наведено результати досліджень (залежності коефіцієнту підйімальної сили від кута атаки $C_{ya} = f(\alpha)$, полярів $C_{ya} = f(C_{xa})$ та залежність аеродинамічної якості від коефіцієнту підйімальної сили $K = f(C_{ya})$ для літака Су-27 без АЗУ (рис.1, варіант 1) й з підвіскою на кінцівках крила (рис.1, варіант 2) 2-х ракет Р-73), які отримано в [6, с. 75...80].

Рис.1. Залежності $C_{ya}=f(\alpha)$ літака Су-27 без підвісок та з двома ракетами Р-73 на кінцівках крила
Джерело: розроблено авторами за даними [6, с. 75...80; 9, с. 38, 39].

Отримані в експерименті значення похідної коефіцієнту підйімальної сили за кутом атаки $C_{y\alpha}^\alpha$, коефіцієнту сили лобового опору C_{xo} і максимальної аеродинамічної якості K_{max} для літака Су-27 з різними варіантами оснащення АЗУ у порівнянні з відомими даними наведено в табл. 1 [6, с. 75...80; 9, с. 38, 39].

Рис.2. Залежності $C_{ya}=f(C_{xa})$ літака Су-27 без підвісок та з двома ракетами Р-73 на кінцівках крила
Джерело: розроблено авторами за даними [6, с. 75...80; 9, с. 38, 39].

Рис.3. Залежності $K=f(C_{ya})$ літака Су-27 без підвісок та з двома ракетами Р-73 на кінцівках крила
Джерело: розроблено авторами за даними [6, с. 75...80; 9, с. 38-39].

Таблиця 1
Значення основних аеродинамічних коефіцієнтів літака Су-27 з варіантами озброєння №№ 1, 2

Аеродинамічний коефіцієнт	Результат експерименту		Дані з [6; 9]	
	Без АЗУ	2хР-73	Без АЗУ	2хР-73
C_y^α	0,0707	0,0719	0,0700	0,0712
C_{xo}	0,0155	0,0158	0,0154	0,0159
K_{max}	11,47	11,51	11,5	—

Джерело: розроблено авторами за даними [6, с. 75...80; 9, с. 38, 39].

Результати досліджень, наведені у табл. 1 свідчать, що отримані значення аеродинамічних коефіцієнтів практично не відрізняються від значень коефіцієнтів, отримані у [9]. На підставі цього можна зробити висновок про достовірність результатів, які планується отримати при проведенні експериментів літака Су-27 з універсальними ПКПР.

На рис. 4...6 наведено результати порівняння варіантів 1 й 3. В табл. 2 для вищевказаних варіантів наведено значення основних аеродинамічних характеристик літака Су-27.

Рис.4. Залежності $C_{ya} = f(\alpha)$ літака Су-27 без підвісок та з чотирма блоками Б-8М1 і двома ракетами Р-73 на кінцівках крила
Джерело: розроблено авторами за даними [6, с. 75...80; 9, с. 38, 39].

Результати отриманих значень підтверджують збільшення лобового опору літака Су-27 та, відповідно, зменшення його аеродинамічної якості при застосуванні розглянутих штатних АЗУ у порівнянні з літаком без підвісок [6, с. 75-80; 9, с. 38-39].

Рис.5. Залежності $C_{ya} = f(\alpha)$ літака Су-27 без підвісок та з чотирма блоками Б-8М1 і двома ракетами Р-73 на кінцівках крила
Джерело: розроблено авторами за даними [6, с. 75...80; 9, с. 38, 39].

Рис.6. Залежності $K = f(C_{ya})$ літака Су-27 без підвісок та з чотирма блоками Б-8М1 і двома ракетами Р-73 на кінцівках крила

Джерело: розроблено авторами за даними [6, с. 75...80; 9, с. 38, 39].

Таблиця 2

Основні аеродинамічні характеристики літака Су-27 з варіантами озброєння №№ 1, 3

Характеристика	Варіант 1	Варіант 3
$C_y^\alpha, \text{град}^{-1}$	0,0707	0,0716
C_{x_0}	0,0155	0,0239
$K_{\max}$	11,47	8,72

Джерело: розроблено авторами за даними [6, с. 75...80; 9, с. 38, 39].

На рис. 7...9 наведено графіки отриманих експериментальних залежностей аеродинамічних коефіцієнтів підйомної сили від кута атаки $C_{ya} = f(\alpha)$, аеродинамічної якості від коефіцієнту підйомної сили $K = f(C_{ya})$ та поляри літака $C_{ya} = f(C_{ya})$ для варіантів з підвіскою двох універсальних ПКПР. Також для порівняння на цих рисунках наведено аналогічні залежності для літака Су-27 без АЗУ (варіант 1).

Рис. 7. Залежності $C_{ya} = f(\alpha)$ для літака Су-27: без підвісок; літак+2 ПКПР
Джерело: розроблено авторами.

Рис. 8. Залежності $f(c_{xa})$ для літака Су-27: без підвісок та з двома ПКПР

Джерело: розроблено авторами.

Рис. 9. Залежності $K = f(c_{ya})$ для літака Су-27: без підвісок; літак+2 ПКПР

Джерело: розроблено авторами.

Підвіска двох ПКПР, призводить до зростання лобового опору літака при нульовій підймальній силі на 14,2 % (варіант 4) порівняно з відповідним опором літака Су-27 без підвісних АЗУ. при цьому максимальна аеродинамічна якість зменшується на 14,9 % (варіант 4).

Аналіз графічних залежностей показує, що оснащення літака Су-27 універсальними ПКПР у варіанті 4 не суттєво впливає на похідну коефіцієнта підймальної сили за кутом атаки c_y^α порівняно з літаком без підвісок. Значення основних аеродинамічних характеристик літака Су-27 у варіанті з універсальними ПКПР надано в табл. 3.

Таблиця 3

Основні аеродинамічні характеристики літака з варіантами озброєння №№ 1 та 4

Характеристика	Варіант 1	Варіант 4
$c_y^\alpha, \text{град}^{-1}$	0,0707	0,0728
c_{xo}	0,0155	0,0163
K_{max}	11,470	9,262

Джерело: розроблено авторами.

Висновки

Результати досліджень, що наведені на рис. 7...9 і дані в табл. 2, 3 свідчать, що оснащення літака Су-27 універсальними ПКПР практично не впливають на його несучі властивості, про що свідчить значення похідної c_y^α , яка майже не змінюється. Стосовно суттєвого росту лобового опору, то воно приводить до зменшення максимальної аеродинамічної якості.

Слід зазначити, що найбільший приріст лобового опору при нульовій підймальній силі та зменшення аеродинамічної якості відповідає озброєнню Су-27 за штатним варіантом 4хБ8-М1+2Р-73 (варіант 3). В той же час приріст лобового опору при нульовій підймальній силі та зменшення аеродинамічної якості для літака Су-27 з 2 ПКПР (варіант 4) є на 10-17 % меншим, ніж з варіантом 3.

Шляхи подальших досліджень. Результати експериментальних досліджень літака Су-27 з ПКПР буде використано для розрахунку впливу ПКПР на льотно-технічні характеристики літака, а саме на тактичний радіус дії, дальність та тривалість його польоту.

Аналогічні експериментальні дослідження планується провести в аеродинамічній трубі АТ-1 для літаків тактичної авіації Су-25 та МиГ-29 з подальшим використанням результатів цих досліджень для визначення впливу ПКПР на льотно-технічні характеристики літаків, а саме на тактичний радіус дії, дальність та тривалість їх польоту.

Список літератури

1. Повітряна розвідка. – [Електрон. Ресурс]. – Режим доступу: https://uk.m.wikipedia.org/wiki/Повітряна_розвідка.
2. Thales Joint Reconnaissance Pod and Digital JRP (United Kingdom), Airborne systems - Observation and surveillance - Reconnaissance systems / Jane's Information Group. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.janes.com>.
3. J.N. Lee, D.C. Linne von Berg, M.R. Kruer, M.D. Duncan. An Official Navy Website. Optical Sciences Division. Demonstration of a High-Rate Tactical Reconnaissance System with Real-Time Airborne Image Exploitation. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.nrl.navy.mil>.
4. Space dynamic laboratory. Utah State University Research Foundation. [Електронний ресурс] / Program TARPS-CD. – Режим доступу: <http://www.sdl.usu.edu/programs/programs-a-z/TARPS>.

5. John Pike. FAS. Intelligence resource program. Advanced Tactical Airborne Reconnaissance System (ATARS). June 28, 2000. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.fas.org/irp/program/collect/atars.htm>.
6. Склярів О.Г., Єрмолаєв І.Р., Діденко Ю.Л., Почерняєва С.І. Експериментальні дослідження в аеродинамічній трубі АТ-1 моделі літака Су-27 з ракетами класу “повітря-поверхня” – 36. наук. праць. – К.: ДНДІА, 2020. – Вип. 16 (23). – С.75-80.
7. Лемко О.Л., Майборода Д.В. Аналіз впливу місця розташування паливних баків, що скидаються, на аеродинамічні характеристики літака-винищувача” – 36. наук. праць. – К.: ДНДІА, 2002. – Вип. 5. – С. 77-82.
8. Сушак М.Б., Ватан М.І. Дослідження взаємодії несучих поверхонь з струменем реактивного двигуна в аеродинамічній трубі дозвукових швидкостей // ДНДІА. -2002.- 36. наук. праць, вип. 5. – С. 88-94.
9. Самолет Су-27. Руководство по технической эксплуатации №10. Книга 1 Основные характеристики, 1982. – 207 с.
10. Пенкхерст Р., Холдер Д. Техника эксперимента в аэродинамических трубах: Пер. с англ. – М.: Иностранная литература, 1955. – 657 с.
11. Руководство для конструкторов по проектированию самолетов // методика пересчета коэффициента сопротивления планера самолета, определенного в условиях испытаний в аэродинамических трубах, на натурные условия. – М.: Изд-во ЦАГИ, 1978. – 74 с.
12. Горшенин Д.С., Мартынов А.К. Методы и задачи практической аэродинамики. – М.: Машиностроение, 1977. – 240 с.
13. Горлин С.М. Экспериментальная аэродинамика. Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1970. – 283 с.
14. Кассандрова А.К., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. – М.: Наука, 1970. – 104 с.

Надійшла до редколегії 20.09.2021

Схвалена до друку 18.10.2021

Відомості про авторів:

Склярів Олександр Григорович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
провідний науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3836-1886>

Діденко Юрій Леонідович

старший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0008-3892>

Почерняєва Світлана Ігорівна

науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2376-3604>

Information about the authors:

Sklyarov Oleksandr

Candidate of Technical Sciences
Senior Researcher
Leading Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3836-1886>

Yuriy Didenko

Senior Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0008-3892>

Svitlana Pochernyaeva

Researcher Associate
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2376-3604>

**EXPERIMENTAL STUDIES OF THE SU-27 AIRCRAFT MODEL WITH A SUSPENDED UNIVERSAL AIR
CONDITIONING CONTAINER IN AERODYNAMIC PIPE AT-1**

O. Sklyarov, Y. Didenko, S Pochernyaeva

The article is dedicated to solving the problem that it is a difficult task for unmanned aerial vehicles to respond quickly and provide high-resolution species information from outside the areas of action of air defense, in relation to highly protected, specific targets deep in enemy territory. Therefore, the aim of the article is to study the total aerodynamic characteristics of the Su-27 aircraft model with a universal suspended air reconnaissance container and to assess its impact on the aerodynamics of the aircraft. To solve this problem, experimental studies of the aerodynamic characteristics of the Su-27 aircraft with a suspended universal air reconnaissance container in the wind tunnel AT-1 of the State Aviation Research Institute were conducted.

The analysis of the obtained experimental results of the influence of the suspended universal air reconnaissance container on the aerodynamic characteristics of the Su-27 aircraft is made and the comparison with the existing regular armament is made. The research results show that equipping the Su-27 aircraft with a universal overhead reconnaissance container has almost no effect on its load-bearing properties, as evidenced by the value of aerodynamic coefficients, which are almost unchanged. With regard to a significant increase in drag, it leads to a decrease in maximum aerodynamic quality. It should be noted that the largest increase in frontal resistance at zero lifting force and a decrease in aerodynamic quality corresponds to the armament of the Su-27 according to the standard version 4xB8-M1 + 2R-73. At the same time, the increase in frontal resistance at zero lifting force and the decrease in aerodynamic quality for the Su-27 aircraft with two universal suspended air reconnaissance containers is 10-17 % less than with the previous version. In order to use the versatility of the suspended container of air reconnaissance, it is planned to conduct similar experimental studies in the wind tunnel AT-1 models of tactical aircraft Su-25 and MiG-29, followed by the results of these studies to determine the impact of the container on the flight characteristics of aircraft. tactical range, range and duration of their flight.

Keywords: aircraft, suspended universal air reconnaissance container, aerodynamic characteristics, experimental researches.