

УДК 629.735.4

doi: 10.32620/aktt.2026.4sup2.02

В.В. НЕРУБАСЬКИЙ

АТ «Елемент», Одеса, Україна

ДВИГУНИ ДЛЯ СУЧАСНИХ РЕАКТИВНИХ НАВЧАЛЬНО-ТРЕНУВАЛЬНИХ І ЛЕГКИХ БОЙОВИХ ЛІТАКІВ

У вступній частині статті дано огляд типів навчально-тренувальних літаків (початкової, основної та підвищеної підготовки) та їх місця на різних стадіях навчання льотних кадрів. Основну увагу приділено літакам із реактивними двигунами. У наступному розділі наведено оригінальну класифікацію реактивних навчально-тренувальних літаків за чотирма поколіннями. Надано стислий опис кожного покоління з прикладами літаків. Особливо виділено четверте, найсучасніше, покоління навчально-тренувальних літаків, призначених для підготовки льотчиків винишувачів п'ятого покоління, таких як Lockheed Martin F-22 Raptor і F-35 Lightning II. Наведено історії створення та короткі описи літаків Як-130, М-346, Т-7А, L-15 і Т-50. Надано інформацію про двигуни, які встановлюються на навчально-тренувальних літаках четвертого покоління (General Elcric F404, Honeywell F124, Івченко-Прогрес AI-222/322): особливості їх конструкції та основні характеристики. Проведено порівняння ТРДД F124 і AI-222-25.

Констатовано, що на Заході не ведеться розробка нових двигунів для навчально-тренувальних літаків. Згадано перспективні російські (ТРДД АЛ-55, СМ-100) і українські (AI-222-28) розробки. Відмічено, що ринок реактивних навчально-тренувальних літаків активно розвивається, найближчим часом планується оновлення парку таких літаків у США (ВПС та ВМС), Канаді, Великій Британії, Німеччині, Франції та інших країнах. Наведено інформацію про оригінальні розробки легких навчальних реактивних літаків (ЕМ-10, СР-10, Javelin). На завершення констатовано, що сімейство українських ТРДД/ТРДДФ Івченко-Прогрес AI-222/322 є одним із найдосконаліших у своєму класі. Пропонується зусиллями української авіаційної громадськості розробити сучасний навчально-тренувальний літак легкого класу четвертого покоління із використанням ТРДДФ AI-322Ф. Такий літак може мати перспективи на міжнародному ринку. У ході російсько-української війни велике розповсюдження отримали ударні безпілотні ЛА різних типів. Ці апарати істотно дешевіші, ніж навчально-бойові та легкі бойові літаки, призначені для дій на передньому краї та в оперативній глибині. При їхньому бойовому застосуванні відсутня ймовірність втрати екіпажу. Тому робиться висновок про зниження попиту на легкі бойові літаки у світі.

Ключові слова: навчально-тренувальний літак, легкий бойовий літак, базова льотна підготовка, турбореактивний двигун, турбореактивний двоконтурний двигун, Як-130, М-346, L-15, Т-50, Т-7А, класифікація реактивних навчально-тренувальних літаків

Вступ

Навчально-тренувальні літаки (НТЛ) як клас літальних апаратів займають важливе місце в системі підготовки льотних кадрів. Така система в загальному випадку включає в себе початкову, базову та підвищену льотну підготовку [5].

Для початкової підготовки часто використовуються легкі поршневі літаки, що дозволяють на ранньому етапі визначити рівень професійної придатності кандидатів. Це – Cessna 172, Як-52, Beechcraft T-34 Mentor, Grob G 120A та інші.

Для початкової та базової підготовки в багатьох країнах часто використовуються середнього розміру літаки, оснащені турбогвинтовими двигунами. Цей клас НТЛ з'явився в 1970-х роках і зараз активно розвивається, зокрема в ролі навчально-бойових літаків (НБЛ). Типовими прикладами таких НТЛ є Raytheon

T-6 Texan II, EMBRAER EMB-314 Super Tucano, Pilatus PC-12 та інші.

Для основної та підвищеної підготовки використовуються дещо важчі НТЛ, оснащені реактивними (ТРД, ТРДД, ТРДДФ) двигунами. Саме ці літаки нині становлять основу парку для тренування льотного складу тактичної авіації. Найбільш масовими НТЛ цієї категорії є Aero L-39, BAe Hawk, Northrop T-38, Dassault/Dornier Alpha Jet, Aermacchi MB-339 та інші.

Характеристики останніх двох категорій НТЛ дозволяють піднімати в повітря достатнє бойове навантаження. У зв'язку з цим існують навчально-бойові або легкі бойові літаки (ЛБЛ) на їх базі, досить популярні в світі.

У цій статті розглядатимуться виключно НТЛ/НБЛ і ЛБЛ із реактивними двигунами, а також їх силові установки.



Класифікація реактивних НТЛ

До теперішнього часу не існує усталеної класифікації реактивних НТЛ по поколіннях, подібної до тієї, яка застосовується для літаків-винищувачів. У ряді джерел [6, 7] робиться така спроба, проте основна увага при цьому приділяється льотно-технічним і масово-габаритним характеристикам літаків. Проте слід враховувати історичний і технологічний аспекти (аеродинаміка, силові установки, матеріали та процеси їх обробки, розвиток обладнання та ін.), потреби ВПС і особливості підготовки пілотів у різних країнах. Тому пропонується видозмінена класифікація, що включає чотири покоління реактивних НТЛ.

Перше покоління реактивних НТЛ з'явилося наприкінці 1940-х років і складалося з двомісних літаків, розроблених на основі одномісних винищувачів. Такі машини забезпечили швидкий і масовий перехід бойової авіації від поршневих літаків часів 2-ї світової війни до реактивних. Близькість конструкції та обладнання дозволила використовувати ці літаки також для основної та для підвищеної підготовки льотчиків. Приклади таких УТС – МіГ-15УТІ, Lockheed T-33A, Gloster Meteor T.7 та інші. Відлунням того першого покоління УТС можна вважати всі наступні двомісні варіанти бойових літаків.

Друге покоління реактивних НТЛ з'явилося наприкінці 1950-х – на початку 1960-х років, але вже не поспіхом, а в результаті осмислення досвіду експлуатації першого покоління. Для навчання потрібні були більш прості та легкі літаки, не такі швидкісні, як бойові, з кращими злітно-посадковими характеристиками та дешеві в експлуатації. Приклади таких УТС – Aero L-29, Fuga CM.170 Magister, Cessna T-37B, BAC Jet Provost T.5 та інші. Усі УТС другого покоління оснащувалися невеликими спеціально спроектованими ТРД із відносно невеликою тягою від 3.9 до 15 кН. У низці країн такі УТС використовувалися навіть для початкової підготовки льотчиків. Щоправда, для підвищеної підготовки вони вже мало підходили, для цього найчастіше використовувалися двомісні модифікації бойових літаків (МіГ-21У, Су-7У, Lockheed F-104B/D, Convair F-106B, Dassault Mirage IIIВ/D та інші).

Поява наприкінці 1960-х років багатоцільових винищувачів, які мали складне БРЕО та різноманітне озброєння, покращену маневреність знову підняла планку вимог до НТЛ. Третє покоління реактивних УТС (з початку 1970-х років) стало загалом важчим, швидшим. Корисне навантаження 1-2,5 т, сучасне прицільно-навігаційне обладнання дозволили повноцінно відпрацьовувати бойове застосування. Приклади УТС третього покоління – Aero L-39C, BAe

Hawk T.1, Dassault/Dornier Alpha Jet, CASA C-101 Aviojet, Kawasaki T-4 та інші. Більшість НТЛ цього покоління використовувала економічні ТРДД з тягою 12-24 кН. Для багатьох небагатих країн Африки, Азії та Південної Америки ці НТЛ, перетворившись на НБЛ, стали основою маленьких ВПС, які виконували завдання ППО та підтримки наземних військ.

На цей час третє покоління реактивних НТЛ залишається основним і наймасовішим для підготовки льотчиків винищувальної авіації. Більшість типів пройшли модернізацію (в основному в частині РЕО), що дозволяє хоча б обмежено забезпечити основну підготовку пілотів винищувачів поколінь 4, 4+ та 5. Такими модифікованими варіантами стали BAe Hawk серії 100 LIFT, Aero L-159 ALCA, IAR 99C Soim та інші.

Реактивні бойові літаки з'явилися на палубах американських авіаносців на три-чотири роки пізніше, ніж у ВПС США. На базі "сухопутного" Lockheed T-33 було розроблено палубний варіант T-1 (T2V) SeaStar, що дозволяє віднести його до першого покоління НТЛ. Йому на заміну в 1958 р. було розроблено North American T-2 Buckeye. Незважаючи на злітну масу понад 5 т, його можна віднести до другого покоління НТЛ. Масово використовуваний в палубній авіації з кінця 1960-х Douglas TA-4J взагалі не НТЛ, а спрощений двомісний варіант палубного штурмовика A-4 Skyhawk. У 1990 році його замінив McDonnell Douglas T-45 Goshawk, створений спільно з британською фірмою BAe на основі НТЛ Hawk серії 60. Тобто палубний T-45 також відноситься до третього покоління НТЛ, як і його прототип.

Першим у світі надзвуковим ($M=1.3$) НТЛ став Northrop T-38 Talon, який надійшов на озброєння ВПС США в 1961 р. За більш ніж 60 років на цьому літаку було підготовлено близько 75 000 американських пілотів. На базі T-38 розроблено сімейство легких винищувачів F-5. За часом появи цей літак можна віднести до другого покоління НТЛ.

Існує ще один надзвуковий НТЛ – Mitsubishi T-2, розроблений у Японії на початку 1970-х років для основної підготовки майбутніх пілотів винищувачів F-104J та F-4J. Побудовано 90 літаків, знятих з озброєння в 2006 р. За часом появи цей літак можна віднести до третього покоління НТЛ. На базі T-2 розроблений перший за часів другої світової війни японський винищувач F-1.

Четверте покоління реактивних НТЛ

Це покоління з'явилося на початку 2000-х років як відповідь на вимоги до підготовки пілотів винищувачів 5-го покоління. При цьому враховувалося, що у винищувачів 5-го покоління відсутні двомісні модифікації, тобто НТЛ четвертого покоління мали

застосовуватися і для основної, і для підвищеної підготовки. Це, в свою чергу, призвело до необхідності застосування складнішого РЕО, підвищення тяговозброєності, маневреності та, як наслідок, використання нестійкого компонування з електродистанційною системою керування (ЕДСК) польотом. При цьому маса НТЛ четвертого покоління зросла майже вдвічі.

На сьогодні до четвертого покоління НТЛ можна віднести п'ять типів: російський Як-130, італійський Leonardo/Aermacchi M-346 Master, південнокорейський KAI T-50 Golden Eagle, китайський HAIC L-15, американський Boeing-SAAB T-7A Red Hawk [8]. Стисло розглянемо особливості кожного з них.

Дозвукові Як-130 і M-346 фактично є "близнюками": загальний проект був частково профінансований фірмою Aermacchi, а потім конструкторська документація була передана Італії в рахунок державного боргу Росії. Літаки відрізняються обладнанням і двигунами.

На Як-130 встановлено два ТРДД AI-222-25, спеціально розроблених АТ "Івченко-Прогрес" для цього літака. Обладнання переважно російського походження (ІЛС, кабінні індикатори, навігаційна система), система керування польотом – ЕДСК з можливістю репрограмування. Крім ВПС Росії, Як-130 експлуатуються в Білорусі, Алжирі та В'єтнамі.

M-346 має таку ж, як Як-130, аеродинамічну схему з розвиненими напльовими крилами, що забезпечують польоти на великих кутах атаки. Але на ньому ширше використано титан і КМ, що дозволило зменшити масу порожнього літака. У складі силової установки використовуються два ТРДД Honeywell F124. Літак оснащений сучасним комплектом БРЕО Alenia Difesa. M-346 експлуатується у ВПС Італії, Ізраїлі, Польщі, Греції, Єгипті та інших країн.

L-15 – китайський НТЛ і НБЛ, розроблений компанією HAIC (Hongdu) за сприяння російського ОКБ ім. Яковлєва. Помітна аеродинамічна подібність з Як-130, але L-15 має подовжені мотогондоли. Спочатку на літаку використовувалися два українські ТРДД AI-222K-25, а пізніше – ТРДДФ AI-222K-25Ф, що дозволило розвивати надзвукову швидкість. На літаку застосовано квадруплексну ЕДСК. Також реалізовано "скляну кабінку": є шість багатофункціональних кольорових дисплеїв (по три для кожного пілота). У 2013 р. L-15 під позначенням JL-10 прийнято на озброєння ВПС Китаю. Планується постачання не експорт.

Надзвуковий T-50 розроблений спільно південнокорейською фірмою KAI та американською Lockheed-Martin із використанням конструктивних рішень винищувача F-16. Конструктивно T-50

виконаний статично нестійким, за нормальною аеродинамічною схемою із середньорозташованим трапецієподібним крилом, однокільовим хвостовим оперенням та триопорним шасі. У конструкції планера передбачено широке застосування КМ. Двигун – ТРДДФ General Electric F404. БРЕО включає РЛС, сучасні засоби навігації та індикації в кабіні. T-50 експлуатується з 2005 р. і постачається на експорт (Польща, Ірак, Індонезія, Таїланд, Філіппіни).

Ще в 2003 р. командування авіаційної освіти та підготовки ВПС США (Air Education and Training Command - AETC) почало розробляти вимоги для заміни НТЛ Northrop T-38. Так з'явилася конкурсна програма T-X, у якій взяли участь усі вищеописані літаки, за винятком Як-130 і L-15. У результаті фірма Boeing разом із шведською SAAB розробили новий НТЛ T-7A. Повідомляється, що літак T-7A був створений з чистого листа з метою максимальної відповідності його характеристик характеристикам винищувачів 5-го покоління, таким як F-22 Raptor і F-35 Lightning II. Літак виконаний за нормальною аеродинамічною схемою з високорозташованим крилом, двома кілями та одним ТРДДФ F404. Використано компонувальні рішення винищувачів F/A-18 Hornet та JAS-39 Gripen, що забезпечують підвищену маневреність і стійкість на великих кутах атаки, а також цифрову ЕДСК. Кабіну оснащено кольоровими багатофункціональними дисплеями із сенсорним керуванням, ІЛС, ергономічними органами керування, включаючи бічну ручку керування. У січні 2026 р. фірма Boeing передала 99-й тренувальній ескадрильї перший серійний T-7A, а всього планується побудувати 351 літак.

Двигуни

Починаючи з другого покоління на реактивних НТЛ використовувалися двигуни, спеціально для них розроблені. Особливості застосування НТЛ (висока частота вильотів, простота техобслуговування, висока міцність конструкції та ремонтпридатність) зумовили використання простих за конструкцією двигунів з невисокими параметрами термодинамічного циклу. Приклади таких двигунів: Turbomeca Marbore, Motorlet M-701, Bristol Siddeley/Rolls-Royce Viper, General Electric J85 та інші. З початку 1970-х років на третьому поколінні НТЛ почали використовувати такі ж прості та економічні ТРДД AI-25, RTM/Rolls-Royce Adour, Turbomeca Larzac, Honeywell TFE731, багато з яких було розроблено на основі цивільних двигунів.

Дивний факт – на всьому різноманітті НТЛ четвертого покоління використовуються лише три типи двигунів.

Таблиця 1

Характеристики деяких НТЛ та НБЛ першого-третього покоління

Тип	Lockheed T-33A	Aero L-29	Cessna T-37B	Aero L-39C	BAe Hawk T.1
Країна	США	Чехослов.	США	Чехослов.	Великобританія
Початок постачання	1948	1963	1957	1972	1976
Покоління	1	2	2	3	3
Довжина, м	11,51	10,81	8,92	12,13	11,84
Розмах крила, м	11,85	10,29	10,30	9,46	9,39
Висота, м	3,56	3,13	2,79	4,77	3,98
Площа крила, м ²	21,81	19,80	18,70	18,80	16,69
Кількість двигунів	1	1	2	1	1
Тип двигуна	Allison J33-A-35	Motorlet M-701C	Continental-Teledyne J69-T-25	Івченко AI-25ТЛ	Rolls-Royce Adour 151-01
Тяга, кН	24	8,7	2x4,56	16,87	23,13
Маса пустого, кг	3794	2384	1840	3455	3622
Максимальна злітна маса, кг	6832	3632	2982	4700	5700
Бойове навантаження, кг	1000	250	450	570	1500
Максимальна швидкість, км/год	979	625	684	750	990
Швидкопідйомність, м/с	25	13,2	17,1	21	47
Практична дальність, км	2052	920	1500	1750	2520
Практична стеія, м	15000	10900	11800	11000	13500
Екіпаж, чол	2	2	2	2	2
Кількість побудованих	6557	3665	1269	2900	1000

Таблиця 2

Характеристики НТЛ та НБЛ четвертого покоління

Тип	ОАК Як-130	Leonardo M-346	Hongdu L-15B	KA1 T-50	Boeing-SAAB T-7A
Країна	Росія	Італія	КНР	Півд. Корея	США
Початок постачання	2010	2011	2017	2005	2026
Довжина, м	11,49	11,49	12,40	13,14	14,30
Розмах крила, м	9,84	9,72	9,40	9,45	9,32
Висота, м	4,64	4,91	4,70	4,94	4,11
Площа крила, м ²	23,52	23,52	-	23,69	
Кількість двигунів	2	2	2	1	1
Тип двигуна	Прогрес AI-222-25	Honeywell F124-GA-200	Прогрес AI-222K-25F	GE F404-GE-102	GE F404-GE-103
Тяга, кН	2x24,53	2x28,0	2x41,2	78,7	77,0
Маса пустого, кг	4600	4610	4960	6350	-
Максимальна злітна маса, кг	10290	9500	9500	13500	9979
Бойове навантаження, кг	3000	3000	3000	5400	2000
Максимальна швидкість, км/год	1050	1060	1479	1485	1300
Швидкопідйомність, м/с	50	107	150	198	176
Практична дальність, км	1850	2000	2100	1850	1830
Практична стеія, м	12500	13700	16500	14630	15240
Екіпаж, чол	2	2	2	2	2
Кількість побудованих	>160	85	35	>200	3

На Т-50 і Т-7А встановлено модифікації відомого ТРДДФ General Electric F404-GE-400, розробленого в середині 1970-х для палубного винищувача-штурмовика McDonnell Douglas F/A-18.

Двигуни F404-GE-102 для Т-50 і F404-GE-103 для Т-7А відрізняються лише складом агрегатів.

F404 – двовальний ТРДДФ. Вентилятор – 3-ступінчастий, ВНА – з поворотними лопатками. Робочі лопатки суцільні, з широкою хордою, виготовлені з титанового сплаву. Компресор – 7-ступінчастий з поворотними НА перших трьох ступенів, що характеризується високою газодинамічною стійкістю. Камера згоряння – кільцева, компактна, малодимна, розроблена з урахуванням досвіду експлуатації камер згоряння цивільних ТРДД сімейства CF6. Турбіни компресора та вентилятора – одноступінчасті охолоджувані. Форсажна камера має змішувач потоків зовнішнього та внутрішнього контурів, ультрафіолетовий сигналізатор полум'я та логічний ланцюг керування для запобігання жорсткому запуску. Реактивне сопло – надзвукове, регульоване, багатостворчасте, охолоджується повітрям, яке відбирається від вентилятора для форсажної камери. Двигун складається з шести модулів, має пристрій діагностики. Ресурс деталей гарячої частини – 2000 годин, холодної – 4000 годин.

За конфігурацією двигун F404-GE-102 відповідає ТРДДФ F404-GE-402, але при його виготовленні застосовано матеріали та технології від сучаснішого двигуна F414-GE-400 (монокристалічні лопатки турбіни, керамічні теплозахисні покриття). Використовується двоканальна САК типу FADEC, як на двигуні F414-GE-400. F404-GE-102 серійний з 2002 р., виготовлено понад 400 екземплярів. Основні параметри двигуна наведено в таблиці 3.

На Як-130 і L-15 встановлено українські ТРДД і ТРДДФ сімейства AI-222/322.

ТРДД AI-222 розроблявся АТ "Івченко-Прогрес" спеціально для НТЛ Як-130. Базою йому послужив більший ТРДД AI-22, від якого було взято газогенератор. У листопаді 2002 р. розпочалися стендові випробування модифікованого газогенератора, а в червні наступного року відбувся перший запуск повнорозмірного двигуна. Дуже високі темпи створення AI-222-25 дозволили в квітні 2004 р. розпочати льотні випробування літака Як-130. У 2006 р. було проведено державні випробування та розпочалося серійне виробництво двигуна на двох підприємствах: АТ "Мотор Січ" і ММПП "Салют" (Росія). У квітні 2015 року ММВП "Салют" оголосив про освоєння повного циклу виробництва авіадвигунів AI-222-25.

На базі ТРДД AI-222 для китайського НТЛ/НБЛ L-15 було розроблено ТРДДФ AI-222К-25Ф. Перший запуск AI-222К-25Ф на стенді відбувся 27 червня

2007 р., а вже 10 липня успішно проведено випробування двигуна на режимі повний форсаж, під час якого отримано значення тяги 4200 кгс.

До 2016 р. АТ "Івченко-Прогрес" завершило випробування двигуна AI-322Ф, а раніше – AI-322. Ці двигуни є варіантами AI-222К-25Ф і AI-222-25 з агрегатами українського виробництва. У 2021 р. АТ "Мотор Січ" підписало контракт на постачання ВПС Китаю 400 двигунів AI-322Ф.

Вентилятор – 2-ступінчастий, високонапірний. Диски та робочі лопатки виконано з титанового сплаву у вигляді єдиної конструкції (bisk). Компресор – 8-ступінчастий з регульованим ВНА та НА 1-го та 2-го ступенів. Камера згоряння – кільцева з низьким рівнем емісії, плівковим охолодженням жарової труби та 16 форсунками з повітряним розпилом. Турбіни компресора та вентилятора – одноступінчасті охолоджувані, з робочими лопатками, виконаними методом лиття зі спрямованою кристалізацією. Турбіна компресора уніфікована з турбіною газогенератора ТГВД Д-27. Коробка приводів є змінним вузлом і розробляється залежно від складу агрегатів ЛА. Реактивне сопло – загальне для зовнішнього та внутрішнього контурів. Система керування – цифрова електронна типу FADEC із можливостями тестування та діагностування. Конструкція двигуна AI-222-25 модульна, що дозволяє виконувати швидко заміну модулів експлуатації. Основні параметри двигуна наведено в таблиці 3.

ТРДДФ має форсажну камеру з трьома рядами кілець форсунок. Цікаво, що форсажна камера та регульоване реактивне сопло ежекторного типу створені вперше в Україні.

Після розділу проєкту Як-130 на російську та італійську гілки, для фірми Leonardo/Aermacchi постало питання про вибір двигуна для літака, що отримав позначення М-346. У результаті в 2000 р. практично безальтернативно був обраний ТРДД Honeywell F124-GA-200. Варіант цього двигуна (F124-GA-100) вже використовувався на чеському ЛБЛ L-159 ALCA.

Історія розробки ТРДД F124 бере свій початок у 1978 р., коли американська фірма Garrett та шведська Volvo Flygmotor AB розпочали дослідження ТРДДФ TFE1042 з тягою 30,2 кН, призначеного для нового тайванського винищувача AIDC F-CK-1. Як основа використовувалися вузли широкопоширеного комерційного ТРДД TFE731. До програми двигуна в 1979 р. приєдналася тайванська фірма AIDC. Тоді ж проєкт розділився на безфорсажний (TFE1042-6) і форсажний (TFE1042-7) варіанти. Надалі більшість учасників (Piaggio і Volvo) залишили програму та в 1982 р. було організовано спільне американо-тайванське підприємство ITEC (International Turbine Engine Corporation), до якого увійшли Garrett і AIDC.

Таблиця 3

Двигуни для НТЛ і НБЛ четвертого покоління

Фірма	Івченко-Прогрес, Україна	GE, США	Honeywell, США	Rolls-Royce, Великобританія
Модель	AI-222-25Ф	F404-GE-102	F-124-GA-200	Adour 951 (*)
Дата початку серійного виробництва	2008	2002	1997	2004
Максимальний форсажний режим (H=0, M=0)				
Тяга, кН	41,1	78,7	-	-
Питома витрата палива, кг/Н·ч	0,1938	0,1775	-	-
Температура газів у форсажній камері, К	-	-	-	-
Максимальний безфорсажний режим (H=0, M=0)				
Тяга, кН	24,52	53,07	28,0	28,9
Питома витрата палива, кг/Н·ч	0,0653	0,0826	0,0796	0,0795
Витрата повітря, кг/с	50,2	68	42,7	47,6
Ступінь двоконтурності	1,18	0,34	0,49	0,8
Загальний рівень підвищення тиску	15,4	26,0	19,4	12,2
Температура газів перед турбіною, К	1490	1650	1670	1550
Розміри і маса				
Максимальна довжина, м	3,138	3,912	2,60	1,950
Діаметр входу, м	0,624	0,787	0,590	0,566
Максимальний діаметр, м	1,093	0,889	0,914	1,036
Суха маса, кг	560	1036	535	610
Міжремонтний ресурс, год	1500	2000	2000	2000

(*) - характеристики наведено виключно для довідки

У результаті до 1988 р. було розроблено базовий ТРДДФ F125-GA-100, а пізніше ТРДД F124.

Двовальний двигун F124 має незвичайну конструктивну схему. Вентилятор – 3-ступінчастий, робочі лопатки виготовлено з титану. Компресор – комбінований, складається з 4-х осьових і одного відцентрового ступеня, також виготовлених з титану. Камера згоряння – діагональна. Турбіни компресора та вентилятора – одноступінчасті охолоджувані. Є змішувач потоків зовнішнього та внутрішнього контурів і регульоване реактивне сопло. Конструктивно двигун складається з шести модулів. Застосовується система керування типу FADEC з функцією контролю та діагностики. Основні параметри двигуна наведено в таблиці 3.

Цікаво буде порівняти близькі за розмірністю двигуни - F124 і AI-222-25 [4, 9]. F124 має дещо більшу тягу (приблизно на 11%), але й більшу масу (на 20%). У зв'язку з тим, що AI-222-25 має більший ступінь двоконтурності (1,18 проти 0,49), то він суттєво економічніший. За розмірами двигуни відрізняються трохи, бо використовуються практично на ідентичних літаках. AI-222-25 більш "холодний", у ньому використано лопатки "blisk", а також простіші

та дешевші матеріали. У перспективній модифікації AI-222-28 відрив за питомими характеристиками буде ще більшим. З цього можна дійти висновку, що двигуни сімейства AI-222/322 має великі перспективи.

Перспективи розвитку

Наразі розробка нових двигунів для НТЛ і НБЛ на Заході не ведеться. Теоретично на реактивних НТЛ могли б використовуватися ТРДДФ EJ200 і M88, але вони істотно дорожчі за той же F404. У Росії запущено в серійне виробництво ТРДД АЛІ-55І з тягою 17,3 кН для індійського НТЛ НІТ-36. АЛІ-55І розроблявся "ОДК-Сатурн" з початку 2000-х років як конкурент французькому ТРДД Turbomeca Larzac і спочатку призначався для російського НТЛ МіГ-АТ. Його доведення затягнулося в зв'язку з невизначеністю програми так званого "проміжного" НТЛ ВПС і ВМС Індії для заміни застарілого НІТ-16 Кіран. За близької тяги український ТРДД AI-25ТЛ, створений на початку 1970-х років, на 50 кг важчий, але має на 12% меншу питому витрату палива та майже втричі більший ресурс, ніж АЛІ-55І.

Є інформація про створення в російському НВЦ газотурбобудування "Салют" технічного проекту ТРДД СМ-100 з тягою до 35,3 кН для подальших модифікацій Як-130М у варіантах НБЛ і ЛБЛ для заміни АІ-222. Однак у 2024 р. на виставці Airshow China було представлено лише його макет.

З реактивними НТЛ ситуація набагато цікавіша. Намагається вийти на ринок складних і важких літаків класу М-346 або Т-50 лише Туреччина зі своїм ТАІ Hurjet. Цей літак дуже близький за конфігурацією до Т-50 і використовує той же двигун F404. Перспективи його неясні, хоча повідомлялося, що Іспанія в 2025 р. замовила 30 таких машин із локалізацією місцевого БРЕО та тренажерів.

Деякі фірми намагаються реанімувати свої НТЛ третього покоління. Це пов'язано з тим, що висока вартість НТЛ четвертого покоління (20-50 млн. дол.) обмежує коло потенційних покупців. Приклади таких літаків – чеський Aero L-39NG Skyfox з новою авіонікою, "скляною" кабіною та комерційним двигуном Williams FJ44-4М, італійський Leonardo/Aermacchi М-345 НЕТ (High-Efficiency Trainer) – колишній S.211/М-311 із сучасним БРЕО і таким же двигуном. Поки що ці літаки використовуються лише в себе на батьківщині.

А загалом ринок реактивних НТЛ досить активно розвивається. Найближчими роками знадобиться заміна застарілих літаків цього типу в Канаді, Великобританії, Франції, Німеччині, низці країн Південно-Східної Азії та Африки. Дуже цікавою буде конкуренція за постачання флоту та корпусу морської піхоти США нового УТС на заміну Т-45 Goshawk.

За останні 15 років з'явилася низка легких реактивних НТЛ, які не вкладаються в запропоновану вище класифікацію. Частина літаків було побудовано та випробувано: польський EM-10 Bielik, російський СР-10, американський АТГ/ІАІ Javelin АЈТ та інші. Великий інтерес представляє концепція модульного бойового літака Aeralis, одним із варіантів якого є НТЛ. Відсутність фінансової підтримки великих авіавиробників, млявий інтерес ВПС, невизначеність галузі застосування таких літаків поки що не призвели до якихось результатів.

Висновки.

Вплив російсько-української війни

Підсумовуючи все вищезазначене, можна зробити такі висновки:

1. Сімейство ТРДД/ТРДДФ АІ-222/322 українського АТ "Івченко-Прогрес" зберігає якщо не лідерство, то високу конкурентоспроможність на ринку двигунів для УТС і ЛБС [3].

2. Враховуючи високу вартість НТЛ четвертого покоління слід було б силами цивільних і військових авіаційних ВНЗ України спільно з приватними фірмами та громадськими КБ, можливо заручившись підтримкою АНТК "Антонов" і зарубіжних авіабудівних фірм, розробити "проміжний" НТЛ і НБЛ четвертого покоління в розмірах літаків типу L-39 чи Hawk (нормальна злітна маса до 5600 кг) [11]. Літак повинен мати сучасну аеродинаміку та класичну схему, цифрове БРЕО та ЕДСК, можливість досягати надзвукової швидкості ($M=1,3-1,4$) та виконувати маневрування на великих кутах атаки з великими навантаженнями. Для нього чудово підійде ТРДДФ АІ-322Ф, а ще краще – форсажний варіант ТРДД АІ-222-28 [1, 2].

3. АТ "Елемент" за час свого більш ніж 25-річного існування отримало величезний досвід розробки та виробництва авіаційної електроніки різного призначення (електронні системи керування та вимірювання, напівнатурні стенди, програмно-технічні комплекси, реєстратори параметрів і багато іншого). Наше підприємство готове до співпраці в розробці електронних компонентів майбутнього українського НТЛ.

4. Реалії російсько-української війни вивели на перший план у галузі авіаційної підтримки наземних військ безпілотні ударні ЛА. Такі апарати різних класів і дальності польоту забезпечують небачений раніше тиск на противника як у тактичній, так і в оперативній глибині. Існуючі бойові вертольоти та штурмовики в умовах застосування різних засобів ППО практично не виживають над полем бою. І тим більше не зможуть успішно застосовуватися НБЛ і ЛБЛ, адже вони в силу своїх розмірів не можуть використовувати важке озброєння (крилаті ракети та УАБ), яке запускається поза зоною ППО, подібно до тактичних винищувачів. Тому протягом найближчих 10 років попит на НБЛ і ЛБЛ впаде, перемістившись у область "чистих" НТЛ з можливістю відпрацювання бового застосування в полігонних умовах.

Конфлікт інтересів

Автор заявляє, що немає конфлікту інтересів щодо цього дослідження, фінансового, особистого, авторського чи іншого, який міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в цій статті.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Наявність даних

Дані будуть надані за обґрунтованим запитом.

Використання штучного інтелекту

Автор підтверджує, що він не використовував технології штучного інтелекту при створенні даної роботи.

Подяка

Автор висловлює подяку співробітникам АТ “Івченко-Прогрес” за надані консультації.

Автор прочитав і погодився з опублікованою версією рукопису.

Література

1. Логинов, В.В. Сравнительная оценка эксплуатационных характеристик двигателей силовой установки для перспективного учебно-боевого самолета / В.В. Логинов // Системи озброєння і військова техніка. – 2015. – №3(43). – С. 48-51.

2. Логинов, В.В. Сравнительный анализ аэродинамических характеристик учебно-боевого самолета / В.В. Логинов // Системи обробки інформації. – 2016. – Вип. 2(139). – С. 44-46.

3. Определение поколения авиационного двигателя семейства АИ-222 для легких боевых самолетов / В. В. Логинов, И. Ф. Кравченко, И. И. Карпачев, А. В. Еланский // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2012. – №2(8). – С. 33-39.

4. Пути улучшения летно-технических характеристик учебно-боевого самолета на основе замены двигателя силовой установки / В.В. Логинов, И.Ф. Кравченко, А.В. Еланский, С.И. Смык // Авиационно-космическая техника и технология. 2012. – №3(90). – С. 68-75.

5. Нор, П. И. Тенденции и перспективы развития реактивных учебно-тренировочных самолетов / П. И. Нор // Озброєння та військова техніка. – 2017. – №3(15). С. 53-63.

6. Нор, П. И. Современные тенденции развития реактивных учебно-тренировочных самолетов / П. И. Нор // Озброєння та військова техніка. – 2018. – №1(17). – С. 53-60.

7. Нор, П. И. Анализ развития учебно-тренировочных самолетов с турбореактивными двигателями самолетов / П.И. Нор // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2010. – №1(3). – С. 89-95.

8. Nicolin, I. Analysis of modern military jet trainer aircraft / I. Nicolin, B. A. Nicolin // INCAS Bulletin. – 2018. – Vol. 10, iss. 4. – P. 193-202.

9. Епифанов, С.В. Концепции проектирования и доводки двигателей для учебно-боевых самолётов: монография / С.В. Епифанов, И.Ф. Кравченко, В.В. Логинов // НАКУ им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”. – Харьков, 2017. – 396 с.

10. Леонтьев, Б. О. Удосконалення методики порівняльного оцінювання різних типів реактивних навчально-тренувальних (навчально-бойових) літаків / О. Б. Леонтьєв, Д. В. Бердочник, А. Д. Бердочник //

Системи озброєння і військова техніка. – 2021. – №2(66). – С. 73-86.

11. Loginov, V., Grebennikov, O., Eremenko, A., Soboliev, O. Preliminary design for a jet training aircraft / V. Loginov, O. Grebennikov, A. Eremenko, O. Soboliev // Transaction on Aerospace Research. – 2021. – No.2(263). – P. 30-45.

References

1. Loginov, V. V. Sravnitel'naya otsenka ekspluatatsionnykh kharakteristik dvigatelei silovoi ustanovki dlya perspektivnogo uchebno-boevogo samoleta [Comparative evaluation of the turbine engine performances for a modern combat training aircraft]. *Sistemi ozbroennya i viis'kova tekhnika*. – *Weapon systems and military equipment*, 2015, no. 3(43), pp. 48-51. (In Russian).

2. Loginov, V. V. Sravnitel'nyi analiz aerodinamicheskikh kharakteristik uchebno-boevogo samoleta [Comparative analysis of the aerodynamic characteristics of a combat training aircraft]. *Sistemi obrobki informatsii*. – *Information processing systems*, 2016, vol. 2(139), pp. 44-46. (In Russian).

3. Loginov, V. V., Kravchenko, I. F., Karpachev, I. I., Elanskii, A. V. Opredelenie pokoleniya aviatsionnogo dvigatelya semeistva AI-222 dlya legkikh boevykh samoletov [Determination of the AI-222 family aircraft engines generation for light combat aircraft]. *Nauka i tekhnika Povitryanikh Sil Zbroinikh Sil Ukraini*. – *Science and Technology of the Air Force of the Ukraine Armed Forces*, 2012, no. 2(8), pp. 33-39. (In Russian).

4. Lohynov, V. V., Kravchenko, I. F., Elanskyi, A. V., Smyk, S. Y. Puti uluchsheniya letno-tekhnicheskikh kharakteristik uchebno-boevogo samoleta na osnove za-meny dvigatelya silovoi ustanovki [Ways to improve the performance of a combat training aircraft by replacing the engine]. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya* – *Aerospace engineering and technology*, 2012, no. 3(90), pp. 68-75. (In Russian).

5. Nor, P. I. Tendentsii i perspektivy razvitiya reaktivnykh uchebno-trenirovochnykh samoletov [Trends and future for the jet trainer aircraft development]. *Ozbroennya ta viis'kova tekhnika*. – *Weapons and military equipment*, 2017, no. 3(15), pp. 53-63. (In Russian).

6. Nor, P. I. Sovremennye tendentsii razvitiya reaktivnykh uchebno-trenirovochnykh samoletov [Modern trends in the development of jet trainer aircraft]. *Ozbroennya ta viis'kova tekhnika*. – *Weapons and military equipment*, 2018, no. 1 (17), pp. 53-60. (In Russian).

7. Nor, P. I. Analiz razvitiya uchebno-trenirovochnykh samoletov s turboreaktivnymi dvigatelyami samoletov [Analysis of the development of training aircraft with turbojet engines]. *Nauka i tekhnika Povitryanikh Sil Zbroinikh Sil Ukraini*. – *Science and Technology of the Air Force of the Ukraine Armed Forces*, 2010, no. 1(3), pp. 89-95. (In Russian).

8. Nicolin, I., Nicolin B. A. Analysis of modern military jet trainer aircraft. *INCAS Bulletin*, 2018, vol. 10, iss. 4, pp. 193-202.

9. Epifanov, S. V., Kravchenko, I. F., Loginov, V. V. Kontseptsii proektirovaniya i dovodki dvigatelei dlya uchebno-boevykh samoletov [Design and development concepts for combat training aircraft engines]. *NAKU im. N.E. Zhukovskogo "KhAI"*. National aerospace university, Kharkov, 2017. 396 p.

10. Leontiev, B. O., Berdochnyk, D. V., Berdochnyk, A. D. Udoshkonalennia metodyky porivnialnoho otsiniuvannia riznykh typiv reaktyvnykh navchalno-trenuvalnykh (navchalno-boiovykh) litakiv

[Improving the methodology for comparative evaluation of different types of jet training (combat training) aircraft]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika. – Weapon systems and military equipment*, 2021, no. 2(66), pp. 73-86.

11. Loginov, V., Grebennikov, O., Eremenko, A., Soboliev, O. Preliminary design for a jet training aircraft. *Transaction on Aerospace Research*, 2021, no.2(263), pp. 30-45.

Надійшла до редакції 26.06.2026, отримано в доопрацьованому вигляді 3.08.2026.

Дата ухвалення 19.08.2026, дата публікації 04.09.2026

ENGINES FOR MODERN JET TRAINERS AND LIGHT COMBAT AIRCRAFT

Vadym Nerubaskyi

The introductory section of the article provides an overview of the types of jet trainers (primary, basic, and advanced) and their role in the various stages of pilot training. The focus is on jet-powered aircraft. The next section presents an original classification of jet trainers into four generations. A brief description of each generation is provided, along with examples of aircraft. Particular attention is paid to the fourth, most modern generation of jet trainers, designed to train fifth-generation fighter pilots, such as the Lockheed Martin F-22 Raptor and F-35 Lightning II. The development histories and brief descriptions of the Yak-130, M-346, T-7A, L-15, and T-50 are provided. Information is provided on the engines installed on fourth-generation jet trainers (General Electric F404, Honeywell F124, Ivchenko-Progress AI-222/322), including their design features and main characteristics. A comparison of the F124 and AI-222-25 turbofan engines is provided. It is stated that new engines for trainer aircraft are currently not being developed in the West. Promising Russian developments (the AL-55 and SM-100 turbofan engines) are mentioned. It is summarized that the jet trainer market is actively developing, with fleet renewals planned for the near future in the United States (Air Force and Navy), Canada, Great Britain, Germany, France, and other countries. Information is provided on original developments of light jet trainer aircraft (EM-10, CP-10, and Javelin). Finally, it is stated that the Ukrainian Ivchenko-Progress AI-222/322 turbofan/augmented turbofan family is among the most advanced engines in their class. It is proposed that the Ukrainian aviation community develop a modern, fourth-generation light-trainer aircraft powered by the AI-322F turbofan engine. This new, cheaper single-engine aircraft may have potential in the international market. During the Russian-Ukrainian war, various types of attack unmanned aerial vehicles (UAVs) became widespread. These aircraft are significantly less expensive than combat trainers and light combat aircraft designed for operations on the front lines and in the operational depths. There is no risk of crew loss during their combat use. Therefore, it is concluded that global demand for such aircraft is declining.

Key words: training aircraft, light combat aircraft, basic flight training, turbojet engine, turbofan engine, Yak-130, M-346, L-15, T-50, T-7A, classification of jet trainers.

Нерубаський Вадим Володимирович – старший науковий співробітник бюро розробки програмного забезпечення, АТ «Елемент», Одеса, Україна.

Vadym Nerubaskyi – Senior Scientist, Software Development Bureau, JSC «Element», Odesa, Ukraine, e-mail: odessa@element.od.ua, ORCID: 0000-0002-7145-5753