

УДК 629.735.45.036.3:339.1

doi: 10.32620/aktt.2024.4sup1.01

В. В. НЕРУБАСЬКИЙ*АТ «Елемент», Одеса, Україна*

РИНОК ТА ПЕРСПЕКТИВИ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ ДЛЯ НАДВАЖКИХ ТРАНСПОРТНИХ ГЕЛІКОПТЕРІВ

У вступній частині статті наводиться коротка інформація про основний напрямок діяльності АТ "Елемент" - розробка та виробництво електронних систем керування авіаційними двигунами, зокрема сімейства блоків РДЦ-450М для турбовальних газотурбінних двигунів AI-450M, MC-500B, TB3-117BMA-CBM-1B та інших, створених ДП "Івченко-Прогрес" та АТ "Мотор Січ". АТ "Елемент" разом зі своїми партнерами вже понад 25 років бере участь у створенні українського гелікоптеробудування. У наступному розділі наводиться класифікація гелікоптерів, а також виділяється сегмент надважких гелікоптерів з газотурбінними двигунами. Стисло описується сфера застосування таких гелікоптерів. Зазначається, що сегмент надважких гелікоптерів з газотурбінними двигунами – досить обмежений, бо створення таких машин – це витратний процес з урахуванням в основному їх військового застосування і невеликого попиту на цивільному ринку. Перераховуються основні світові розробники та виробники надважких гелікоптерів, а також технічні характеристики чотирьох моделей надважких гелікоптерів з газотурбінними двигунами. Зазначається, що більшість моделей гелікоптерів не є абсолютно новими розробками, а вдосконалюються протягом багатьох років. Наводяться характерні конструктивні особливості надважких гелікоптерів з газотурбінними двигунами, особливості компоновання агрегатів та обладнання. Перераховуються основні світові розробники та виробники двигунів для надважких гелікоптерів, а також технічні характеристики п'яти моделей газотурбінних двигунів. Наводяться основні конструктивно-компоновальні особливості газотурбінних двигунів різних виробників та типи гелікоптерів, на яких вони встановлюються. Окремо наводиться коротка інформація щодо українського двигуна Д-136 (AI-136). Надається коротка інформація про альтернативну гілку розвитку гвинтокрилів - конвертоплани. Описано програму розробки та виробництва серійного ЛА такого типу - Bell-Boeing V-22 Osprey, а також наведено огляд проекту апарату QTR більшого розміру. Наприкінці наголошується, що українське гелікоптеробудування та авіадвигунобудування перебувають через війну у складній ситуації, але зберігають конкурентоспроможність і займаються пошуками замовників з метою збереження науково-технічного потенціалу.

Ключові слова: ринок; надважкий транспортний гелікоптер; Мі-26; СН-47; СН-53; V-22; турбовальний газотурбінний двигун; електронна система керування; конвертоплан.

Вступ

Однією з основних сфер діяльності АТ "Елемент" є розробка, виробництво та забезпечення експлуатації електронних систем керування (ЕСК) авіаційними газотурбінними двигунами (ГТД). Першою стала ЕСК для турбовального двигуна AI-450M – РДЦ-450М. Надалі були розроблені ЕСК для турбогвинтових двигунів AI-450C, AI-450T, MC-14, турбовальних двигунів MC-500B, TB3-117BMA-CBM-1B різних модифікацій та ін.

Створення зазначених ЕСК є результатом досвіду розробки, випробувань та експлуатації більш ранніх систем. Спільно з АТ "Мотор Січ", АТ "Вертольоти Мотор Січ", ДП "Івченко-Прогрес" наше підприємство бере участь у розвитку українського авіадвигунобудування та гелікоптеробудування. За сприяння вищевказаних підприємств продовжується активна співпраця з іноземними замовниками.

Відповідно до своєї основної спеціалізації АТ "Елемент" аналізує науково-технічну інформацію з ЕСК та суміжних напрямків, намагається оцінити споживчі якості та конкурентоспроможність своїх виробів на світовому ринку. Ця стаття являє собою короткий огляд ринку та перспектив розвитку гелікоптерів з масою понад 16 т та їх силових установок.

Гелікоптери

За традицією гвинтокрилі машини за максимальною злітною масою і за типом двигуна об'єднуються в шість основних сегментів [1]: поршневі, легкі з ГТД, середні з максимальною злітною масою 4...7 т, середньо-важкі з максимальною злітною масою 7...10 т, важкі з максимальною злітною масою 10...16 т, а також надважкі з максимальною злітною масою понад 16 т.

Таблиця 1

Характеристики надважких транспортних гелікоптерів

Тип	Avicopter AC313	Sikorsky CH-53K	Boeing CH-47F	Міль Мі-26Т
Країна	Китай	США	США	СРСР
Початок постачання	2013	2018	2008	1985
Діаметр несучого гвинта, м	18,86	24,08	18,29 (1)	32,4
Діаметр кермового гвинта, м	-	6,1	-	7,61
Довжина, м	24,1	30,18	30,14	40,03
Висота, м	6,66	8,659	5,77	8,145
Кількість двигунів	3	3	2	2
Тип двигуна	PWC PT6B-67A	GE GE38-1B	Honeywell T55-GA-714A	Прогрес Д-136
Потужність, е.к.с.	1940	7500	4777	11400
Маса пустого, кг	7300	19000	12210	28200
Максимальна злітна маса, кг	13800	39900	24490	56000
Максимальна швидкість, км/год	275	-	315	295
Крейсерська швидкість, км/год	249	310	296	255
Практична дальність, км	1050	850	2252	800
Практична стеія, м	6000	5600	6096	4600
Статична стеія, м	3400	3200	-	1800
Екіпаж, чол	4	4	3	5
Корисне навантаження	До 27 пасажирів або 5600 кг вантажу	55 пехотинців або 15876 кг вантажу	33 пехотинця або 10886 кг вантажу	90 пехотинців або 20000 кг вантажу

(1) – має повздовжню схему та оснащений двома несучими гвинтами.

У цій статті розглядатимуться надважкі гелікоптери. Такі гелікоптери суттєво поступаються за кількістю та поширеністю легким, середнім та важким гелікоптерам з ГТД [1], а їх висока вартість обмежує можливості приватного володіння.

Область застосування аналізованих гелікоптерів включає перевезення вантажів, військ та військової техніки, пошук і порятунк, евакуація поранених, спеціальні операції, гуманітарна допомога та допомога при стихійних лихах тощо. Розміри вантажного відсіку та вантажопідйомність дозволяють перевозити легкі броньовані машини, гармати, міномети, важке стрілецьке озброєння.

Сегмент надважких гелікоптерів – досить обмежений у порівнянні з іншими сегментами, що зумовлено як високою вартістю гелікоптерів та їх обслуговування, так і вузькою сферою їх застосування.

Склад основних учасників ринку надважких гелікоптерів багато років залишається доволі обмеженим та практично незмінним – це американська фірма Sikorsky (підрозділ корпорації Lockheed Martin), знову ж таки американська фірма Boeing та російське об'єднання “Вертольоти Росії”.

Основні характеристики надважких гелікопте-

рів наведені в таблиці 1. Даний перелік, в силу обмеженого розміру статті, є далеко не повним, але в ньому наведені найбільш сучасні моделі, що серійно виробляються і експлуатуються на даний час.

Більшість надважких гелікоптерів що експлуатуються, не є новими розробками, вони удосконалюються відповідно до вимог часу протягом 40 і більше років. Це зрозуміло, оскільки створення і виведення на ринок такого класу машин є досить дорогим заходом. Удосконалення конструкції із застосування КМ, встановлення більш сучасних двигунів, несучої системи, цифрової авіоніки і таке інше підвищують характеристики гелікоптерів та одночасно дозволяють фірмам заощадити на розробці та виробництві.

Досі найбільшим і найбільш вантажопідйомним гелікоптером у світі є Мі-26. Він здійснив перший політ в 1977 р. і надійшов в експлуатацію в 1985 р. Мі-26 в різних модифікаціях розтиражований в більш ніж 300 примірниках, третина з яких експлуатується до теперішнього часу.

Мі-26 має унікальний восьмилопатевий несучий гвинт з титановою втулкою і металопластиковими лопатями. На вертольоті встановлено два

ТВаД Д-136 потужністю 10000 к.с. на злітному режимі розробки Запорізького машинобудівного конструкторського бюро «Прогрес» (нині ДП «Івченко-Прогрес»). Головний редуктор ВР-26 відносно легкий - 3639 кг, але може передавати 19725 к.с., що було досягнуто використанням триступеневої непланетарної багатопоточної конструкції. Для підвищення автономності та незалежності від аеродромних служб гелікоптер оснащений ДСУ ТА-8В.

Система керування – автоматична гідромеханічна з тривісною стабілізацією та демпфуванням. БРЕО Мі-26 аналогове з поступовим впровадженням цифрових систем у міру модернізації.

Послужний список Мі-26 включає унікальні транспортні операції при освоєнні Сибіру, Далекого Сходу і Крайньої півночі СРСР, участь у ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС, війнах в Афганістані, Анголі, Нагірному Карабаху, Чечні, Україні.

Наступним за розмірами після Мі-26 є американський гелікоптер Sikorsky CH-53, розроблений у 1962 р. на замовлення корпусу морської піхоти (КМП) США. Він пройшов тривалий шлях розвитку і зараз постачається модифікація CH-53K King Stallion [3].

Розробка CH-53K розпочалася у 2006 р. у зв'язку з необхідністю заміни попередньої модифікації – CH-53E Super Stallion та розширення транспортних можливостей флоту США. У рамках програми МО США у травні 2018 р. перший серійний гелікоптер поставлено КМП, а всього намічається виробництво 200 екземплярів загальною вартістю 25 млрд. дол.

До переваг гелікоптера CH-53K можна віднести вдосконалену "скляну" кабіну; цифрову електродистанційну систему керування польотом; лопаті несучого гвинта четвертого покоління з негативним відхиленням профілю лопаті в кінцевій частині; потужніші двигуни; можливість дозаправки у повітрі; підвищену надійність тощо.

Габаритні розміри CH-53K не сильно змінилися порівняно з попередньою модифікацією. Американські інженери змогли якісно оптимізувати конструкцію гелікоптера, забезпечити його багатоцільове застосування та зробити гелікоптер більш досконалим в експлуатаційному плані.

Силова установка, що складається з трьох сучасних ТВаД General Electric GE38-1B (військове позначення T408-GE-400) потужністю по 7500 к.с., забезпечує підвищення швидкості та вантажопідйомності гелікоптера.

Третій представник надважкого класу гелікоптерів – американський Boeing CH-47 Chinook, він же і наймасовіший у класі – на кінець 2012 р. випущено понад 1200 екземплярів. CH-47 ще й єдиний у своєму класі гелікоптер поздовжньої схеми. Багатоци-

льовий транспортний вертоліт CH-47 вже понад 50 років служить в армійській авіації США, а також експлуатується більш ніж 20 військовими та цивільними операторами у світі. Окрім США він серійно вироблявся в Італії та Японії.

Остання модифікація цього гелікоптера - CH-47F - надійшла в експлуатацію у 2008 р. та активно пропонується на експорт [4].

Компонування CH-47F дозволяє працювати в умовах, складних для інших гелікоптерів. Відсутність традиційного кермового гвинта на довгій балці дозволяє розвантажувати вантажі з кормової апарелі, торкнувшись поверхні тільки задніми стійками шасі в найскладніших, непередбачуваних і гірських районах.

В якості силової установки CH-47F використовуються два ТВаД Honeywell T55-GA-714A потужністю по 4800 к.с., встановлені з кожного боку пілона заднього несучого гвинта. Несучі гвинти трилопатеві, з шарнірним кріпленням лопатей, що обертаються в протилежних напрямках. З 2021 р. проходять випробування суцільнокомпозитні лопаті несучого гвинта. Трансмсія складається з центрального редуктора, редукторів несучих гвинтів, редукторів двигунів та сполучних валів. Є ДСУ Solar T-62T.

Гелікоптер обладнаний сучасною цифровою системою відображення інформації в кабіні, приладами нічного бачення, цифровою електродистанційною системою керування польотом, штангою системи дозаправки у повітрі.

Намагається вийти на ринок важких і надважких гелікоптерів Китай. У січні 2012 р. авіаційна адміністрація Китаю сертифікувала цивільний гелікоптер Avicopter AC313. Як вихідну базу, китайські розробники використовували військовий гелікоптер Harbin Z-8, оптимізувавши його конструкцію, і забезпечивши широку функціональність для подальшої експлуатації в цивільній авіації. У свою чергу Z-8 є китайською ліцензійною копією французького гелікоптера Sud Aviation SA321 Super Frelon, який вперше злетів ще в грудні 1962 р.

Силова установка AC313 - три ТВаД Pratt & Whitney Canada PT6B-67A злітною потужністю 1940 к.с. Така комбінація забезпечує високу безпеку польоту, особливо при відмові одного двигуна. За рівнем оснащення гелікоптер виконаний на рівні 1990-х років. Це найменший з надважких гелікоптерів.

Двигуни

На надважких гелікоптерах знайшли застосування турбовальні ГТД (ТВаД) з потужністю в діапазоні 4000...12000 к.с. Склад розробників і виробників таких двигунів також досить усталений: General Electric (США), Honeywell (США), Rolls-

Royce (Великобританія). У цю еліту входить і наш вітчизняний розробник - ДП «Івченко-Прогрес». Основні характеристики ГТД для важких гелікоптерів наведені в таблиці 2. Даний перелік двигунів, як і гелікоптерів, в силу обмеженого розміру статті, є далеко не повним, але включає в себе моделі, що серійно виробляються в даний час.

Найбільш сучасним є ТВaД General Electric GE38-1B, який встановлюється на гелікоптері Sikorsky CH-53K [6].

GE38 базується на технологічному демонстраторі GE27, розробленого в 1980-х роках, і турбогвинтовій моделі GLC38/T407 для морського патрульного літака Lockheed P-7, скасованих на початку 1990-х років. Газогенератор було також адаптовано для ТРДД GE/Honeywell CFE738, що застосовується на бізнес-джеті Dassault Falcon 2000. General Electric стверджує, що GE38 забезпечує на 57% більше потужності, на 18% кращу питому витрату палива та має на 60% менше деталей, ніж аналогічний за розміром ТВaД GE T64, який живить попередній CH-53E.

У програмі стендових випробувань GE38 було задіяно шість двигунів, а їх загальний наробіток до грудня 2013 р. перевищив 5000 год. Для проведення льотних випробувань було побудовано ще 16 двигунів. Перший серійний GE38 був поставлений флоту США у вересні 2019 р.

За схемою GE38 близький до T700 [1], має комбінований компресор, що складається з п'яти осьових і одного відцентрового ступеня, малоємистійну кільцеву камеру згоряння, двоступінчасту турбіну компресора і тріступінчасту силову турбіну. У гарячій секції використовується запатентована технологія охолодження, розроблена в ході реалізації експериментальної програми FATE (Future Affordable Turbine Engine). Застосовується двоканальна система керування типу FADEC із вбудованою системою контролю технічного стану.

За прогнозом фірми Teal Group до 2030 р. планується поставити більш ніж 530 двигунів GE38 загальною вартістю 1,43 млрд. дол. Середня ціна одного серійного двигуна становить 2,8 млн. дол.

До речі, на етапі авaproекту CH-53X розглядалися двигуни Pratt & Whitney Canada PW150A і Rolls-Royce AE1107 близької потужності.

Найбільш заслуженим двигуном в огляді є Honeywell T55. Його перші варіанти було розроблено фірмою Lycoming наприкінці 1950-х років. T55 (LTC4, AL55) у варіантах турбувального та турбогвинтового двигуна покриває діапазон потужності від 1600 до 4400 к.с. Цей двигун послужив основою ТРДД ALF502 та його вдосконаленого варіанта LF507 у класі тяги 29-31 кН, які знайшли застосу-

вання на адміністративних та регіональних пасажирських літаках [5].

На цей час вироблено понад 6000 двигунів сімейства T55, а їх сумарний наробіток досяг 12 млн.год.

Останньою серійною модифікацією T55 є ТВaД T55-GA-714A, який використовується як силова установка важкого гелікоптера Boeing CH-47F. T55-GA-714A – серійний із грудня 1997 р.

T55-GA-714A має комбінований компресор, що складається з сімох осьових і одного відцентрового ступеня, протиточну кільцеву камеру згоряння, двоступінчасту охолоджувану турбіну компресора і двоступінчасту силову турбіну. Застосовується двоканальна система керування типу FADEC із резервною гідромеханічною частиною. На вході двигуна встановлено сітчастий фільтр.

Готується виробництво нової модифікації двигуна - T55-GA-714C, що розвиває на 20% більшу потужність і споживає на 8% менше палива. Для перспективного армійського гелікоптера Sikorsky-Boeing Defiant X [7] на базі T55 розроблено новий двигун HTS7500 у класі потужності 7500 к.с.

Український ТВaД Д-136 – найпотужніший у світі турбовальний двигун. Він був розроблений спеціально для надважкого гелікоптера Мі-26. Головним конструктором було призначено Муравченко Ф.М. За основу конструкції був узятий ТРДД Д-36, точніше його двовальний газогенератор. Стендові випробування почалися у 1977 р. З 1982 по 2001 р. виготовлено 945 двигунів.

Д-136 має двовальний газогенератор, що складається з шестиступінчатого компресора низького тиску, семиступінчатого компресора низького тиску, кільцевої камери згоряння, одноступінчатих турбін високого і низького тиску. Силову турбіну – двоступеневу. Д-136 оснащений супервізором електронно-гідромеханічною системою керування.

Висока потужність, низька витрата палива, мала робоча маса двигуна отримані завдяки оптимізації параметрів робочого циклу та використанню високоміцних матеріалів та прогресивних технологій. Простота обслуговування та висока ремонтна здатність забезпечуються модульністю конструкції двигуна.

Перспективи

Висока вартість розробки та обмежений попит призвели до того, що в Європі та США не розробляють нові надважкі гелікоптери традиційних схем (див. наступний розділ). Росія також обходить без нових розробок, модернізуючи свій Мі-26. Така ж сама ситуація із розробкою нових потужних двигунів [7].

Таблиця 2

ГТД для надважких гелікоптерів

Фірма	Івченко-Прогрес, Україна	GE, США	Honeywell, США	Rolls-Royce, Великобританія	ОДК “Авиадвигатель”, Росія
Модель	Д-136	GE38-1B	T55-GA-714A	T406-AD-400	ПД-12В
Дата сертифікації	1982	2019	1997	2004	2026
Режим надзвичайної потужності при відмові одного двигуна (OEL)					
Потужність, е.к.с.	11400	7500	5028	6380	14500
при тн, °C	+15	+30	-	+32	+15
Злітний режим					
Потужність, е.к.с.	10000	6000	4867	6150	12000
при тн, °C	+15	+30	+22	+40	+40
Питома витрата палива, кг/к.с год	0,194	0,181	0,213	0,191	0,160
Ступінь підвищення тиску	18,4	18,6	9,32	16,7	-
Температура газів перед турбіною, К	1478	-	815 (1)	1482	-
Максимальний тривалий режим					
Потужність, е.к.с.	6100	-	4110	3584 (2)	-
Питома витрата палива, кг/к.с год	0,230	-	-	-	-
Масово-габаритні та ресурсні показники					
Длина, м	3,715	1,460	1,196	1,980	2,955
Висота, м	1,124	-	-	-	-
Ширина, м	1,382	0,69	0,616	0,890	-
Суха маса, кг	1077	501	377	441	-
Міжремонтний (призначений) ресурс, год	- (6000)	- (4000)	- (8000)	- (-)	- (-)

Повідомлялося про опрацювання проекту 30-тонного 80-90-місного гелікоптера Ка-102 з максимальною швидкістю 500 км/год. Загалом конструкція цього повітряного судна зовні нагадує компонування американського гелікоптера Boeing CH-47 Chinook (поздовжня схема), проте має два двигуни, що утворюють горизонтальну тягу. Більш детальна інформація наразі відсутня.

Єдиним перспективним проектом надважкого гелікоптера традиційної схеми є китайський ANL (Advanced Heavy Lifter). Фірма AVIC почала дослідження в 2009 р., причому в якості силової установки передбачалося використовувати два китайські ж ТВАД WZ-20 потужністю 8000 к.с. У 2015 р. до проекту була залучена Росія.

Контракт на розробку важкого гелікоптера AC332 ANL був підписаний холдингом «Вертольоти Росії» і китайської Avicopter в 2021 р. Російська сторона повинна розробити для нього частину агрегатів: трансмісію, кермовий гвинт, ПОС та інше. Зазначалося, що термін реалізації цього проекту - близько 13 років.

Як силова установка AC332 передбачається використовувати два нових російських ТВАД ПД-12В потужністю 12000 к.с. Він розробляється на базі газогенератора цивільного ТРДД ПД-14.

ПД-12В на даний момент є найсучаснішим проектом турбувального двигуна з високими параметрами термодинамічного циклу [2], але на погляд фахівців прийнята розмірність газогенератора ПД-14 є зовеликою. Тому кращим виглядає зменшений газогенератор іншого ТРДД - ПД-8, який завершує розробку. Передбачається розпочати випробування ПД-12В у 2026 р.

Альтернативи

У цьому розділі йтиметься про альтернативну гілку розвитку гвинтокрилів – конвертоплани – ЛА, що поєднують окремі можливості літака та гелікоптера. Такий апарат оснащений поворотними двигунами (як, правило, гвинтовими), які на зльоті і при посадці працюють як несучі гвинти, а в горизонтальному польоті - тягнуть або штовхають; при цьому

підйомна сила забезпечується крилом літакового типу. Зазвичай двигуни повертаються разом з гвинтами, але можуть повертатися лише гвинти [XX]. Історія конвертопланів налічує вже близько 100 років, а як приклади можна навести McDonnell XV-1, Bell XV-3, Bell X-22A, Nord 500 та ін.

Єдиним у світі конвертопланом, доведеним до серійного виробництва і що експлуатується в даний час, є Bell-Boeing V-22 Osprey. На його розробку МО США витратило понад 20 млрд. дол та 25 років. Програма кілька разів перебувала під загрозою закриття. Вартість одного V-22 досягла 116 млн. дол, а всього до 2020 р. випущено понад 400 екземплярів для ВПС, ВМС та КМП США, а також для Сил самооборони Японії.

Незважаючи на критику програми, високу складність і аварійність, V-22 має швидкість вдвічі більшу, ніж у інших гелікоптерів, і він здатний нести втричі більше корисне навантаження і має вп'ятеро більшу дальність польоту в порівнянні з транспортним гелікоптером CH-46 (див. вище). США продовжують закупівлі V-22, а багато країн, наприклад, Ізраїль, Індія, Великобританія, Індонезія, виявляють зацікавленість у ньому.

V-22 має комбіновану електродистанційну систему керування (зміна циклічного і загального кроку повітряних гвинтів, зміна кута нахилу мотогондол, аеродинамічні поверхні - елевони на крилі, керма висоти та напрямку). З метою зменшення маси конструкції, близько 70 % апарата зроблено з композитних матеріалів.

V-22 оснащений двома сучасними двигунами Rolls-Royce T406 зі злітною потужністю 6150 к.с., розміщеними на кінцях крила в гондолах, котрі можуть повертатися на 98°. Гвинти з трьома трапецієподібними лопатями діаметром 11,36 м зв'язані між собою синхронізуючим валом, який проходить всередині крила. Цей вал також забезпечує можливість посадки ЛА на одному двигуні. Лопаті гвинта складаються, а крило розвертається для зменшення площі, що ЛА займає на польотній палубі корабля.

Ще більш амбітно виглядає проект тих же Bell-Boeing під назвою QTR (Quad TiltRotor). Цей конвертоплан розроблявся з 1999 р., але вперше був представлений широкому загалу в 2016 р. на виставці Sea Air Space у Вашингтоні. QTR є збільшеним V-22 з чотирма двигунами. Нова машина буде мати параметри, порівняні з найпоширенішим у світі військово-транспортним літаком Lockheed-Martin C-130 (вантажопідйомність близько 20 т і така ж дальність польоту), але з можливістю вертикального зльоту та посадки.

Висновки

Українське авіадвигунобудування переживає складний час, а вітчизняне гелікоптеробудування знаходиться в зародковому стані. Багато перспективних розробок були згорнуті у зв'язку з подіями на Донбасі і війною в Україні.

На етапі технічної пропозиції щодо вдосконаленого ТВАД Д-136-2 (АІ-336-2) з потужністю 12200 к.с. для китайського надважкого гелікоптера АНЛ розглядалася можливість розробки АТ "Елемент" цифрової системи керування типу FADEC. Наразі залишається можливість участі України у програмі розробки АНЛ.

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

Рукопис не має супутніх даних.

Використання штучного інтелекту

Автор підтверджує, що він не використовував методи штучного інтелекту при створенні представленої роботи.

Подяка

Автор висловлює подяку В.Ф. Миргороду.

Автор прочитав та погодився з опублікованою версією рукопису.

Література

1. Нерубаський, В. В. Ринок і перспективи газотурбінних двигунів для важких транспортних гелікоптерів [Текст] / В. В. Нерубаський // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. - 2023. - №4 (189). - С. 5-11. DOI: 10.32620/aktt.2023.4sup1.01.

2. Нерубаський, В. В. ПД-14 – так ли он хорош? [Текст] / В. В. Нерубаський // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. - 2022. - №4sup1 (181). - С. 17-24. DOI: 10.32620/aktt.2022.4sup1.03.

3. CH-53K Helicopter. The Modern Solution for True Heavy Lift [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/sikorsky-ch-53k-helicopter.html>. - 02.05.2024.

4. Boeing H-47 Chinook [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.boeing.com/defense/ch-47-chinook#overview>. - 10.05.2024.

5. T55 Turboshift Engine [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://aerospace.honeywell.com/us/en/products-and-services/product/hardware-and-systems/engines/t55-turboshift-engine>. - 20.05.2024.

6. Trimble, S. The power to go future [Text] // *Flight International*. 29 October - 4 November 2013. - P. 38-39.

7. European Security & Defence. Heavy-Lift Helicopter Programmes [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://euro-sd.com/2023/08/articles/32885/heavy-lift-helicopter-programmes/>. - 02.05.2024.

References

1. Nerubaskyi, V.V. Rynok ta perspektyvy hazoturbinnnykh dvyhuniv dlya vazhkykh transportnykh helikopteriv na russkom na ukraynskom na kytayskom [The market and the future of the turbine powered heavy helicopters]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2023,

no. 4sup1 (189), pp. 5-11. DOI: 10.32620/aktt.2023.4sup1.01.

2. Nerubasskiy, V. V. PD-14 – tak li on khorosh? [PD-14 - is it so good?]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2022, no. 4sup1 (181), pp. 17-24. DOI: 10.32620/aktt.2022.4sup1.03.

3. CH-53K Helicopter. The Modern Solution for True Heavy Lift. Available at: <https://www.boeing.com/defense/ch-47-chinook#overview>. (accessed 10.05.2024).

4. Boeing H-47 Chinook. Available at: <https://www.boeing.com/defense/ch-47-chinook#overview>. (accessed 10.05.2024).

5. T55 Turboshift Engine. Available at: <https://aerospace.honeywell.com/us/en/products-and-services/product/hardware-and-systems/engines/t55-turboshift-engine>. (accessed 20.05.2024).

6. Trimble, S. The power to go future. *Flight International*. 29 October - 4 November 2013, pp. 38-39.

7. European Security & Defence. Heavy-Lift Helicopter Programmes. Available at: <https://euro-sd.com/2023/08/articles/32885/heavy-lift-helicopter-programmes/>. (accessed 02.05.2024).

Надійшла до редакції 20.05.2024, розглянута на редколегії 15.08.2024

THE MARKET AND THE FUTURE OF GAS TURBINE ENGINES FOR SUPER HEAVY TRANSPORT HELICOPTERS

Vadym Nerubaskyi

The introductory part of the article provides brief information about the main activity of Element JSC – the development and production of electronic control systems for aircraft engines, in particular, the RDC-450M ECU family for turboshaft gas turbine engines AI-450M, MS-500V, TV3-117VMA-SBM-1V, and others, created by SE Ivchenko-Progres and Motor Sich JSC. Element JSC, with its partners, has been involved in Ukrainian helicopter industry for more than 25 years. In the next section, the classification of helicopters is given, and the segment of super-heavy helicopters with gas turbine engines is highlighted. The field of application of such helicopters is briefly described. It is noted that the segment of super-heavy helicopters is quite limited because the creation of such machines is a costly process, taking into account mainly their military application and the small demand in the civilian market. The world's largest developers and manufacturers of super-heavy helicopters are listed, as well as the technical characteristics of four models with gas turbine engines. It should be noted that most helicopter models are not completely new developments but have been improved over many years. The characteristic design features of super-heavy helicopters with gas-turbine engines and the arrangement of units and equipment are given. Lists the world's major designers and manufacturers of super-heavy helicopter engines and describes the technical characteristics of five models of gas turbine engines. The main structural and structural features of gas turbine engines of various manufacturers and helicopter types on which they are installed are described. A brief description of the Ukrainian D-136 (AI-136) engine is provided below. Brief information is provided about an alternative branch of the development of rotorcraft: tilt rotor transport. The program for the development and production of serial aircraft of this type – Bell-Boeing V-22 Osprey – is described, and an overview of the QTS future project with a larger size is provided. In the end, it is emphasized that the Ukrainian helicopter and aircraft engine industry is in a difficult situation due to the war; however, they maintain competitiveness and are engaged in research customers to preserve their scientific and technical potential.

Keywords: market; super-heavy helicopter; Mi-26; CH-47; CH-53; V-22; turboshaft gas turbine engine; electronic control system; tiltrotor concept.

Нерубаський Вадим Володимирович – старш. наук. співроб. 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.