

doi: 10.32620/oikit.2023.99.11

УДК 629.7.03

О. І. Кривобок, А. М. Гуменний, А. В. Лоленко,  
Є. О. Духняк, О. О. Васильєв, В. В. Алейніков

## **Аналіз шляхів модернізації літаків Ан-2 з урахуванням вимог EASA щодо CS 23 Level 4 та забезпечення перевезення 10–19 пасажирів**

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»*

Статтю присвячено актуальній проблемі модернізації літаків Ан-2 з урахуванням вимог EASA щодо CS23 Level 4 для забезпечення можливості перевезення 10–19 пасажирів. Проведено огляд варіантів модернізації літаків Ан-2 із заміною двигунів і зміною конструкції планера. Запропоновано варіант модернізації парку літаків Ан-2 із встановленням силової установки, що відповідає вимогам CS 23 Level 4, для забезпечення можливості перевезення кількості пасажирів, що відповідає вантажопідйомності літака, та безпеки пасажирських перевезень. Розглянуто варіанти модернізації літаків типу Ан-2 без доопрацювання або з мінімальним доопрацюванням планера літака, а також варіанти доопрацювання літака зі встановленням ВМД із зміною планера. Охарактеризовано переваги використання модернізації літака з мінімальним його доопрацюванням: зменшуються вартість обслуговування силової установки і витрати на паливо, полегшуються обслуговування двигуна в польових умовах, а також прогрівання і запуск силової установки та знижується аеродинамічний опір літака в польоті. Установлено, що на перевезення пасажирів у нових літаках накладаються обмеження місткості пасажирів. Наведено деякі здійснені проекти доопрацювань: варіанти модернізації літака Ан-2, варіанти з доопрацюванням планера літака в підкисний моноплан, варіанти двомоторного літака на базі планера Ан-2 з одним тяговим гвинтом і варіанти компонування двох двигунів під капотом. Подано різні схеми встановлення двох двигунів під капотом: горизонтально в ряд, горизонтально зі зміщенням вниз відносно осі гвинта, вертикально в площині симетрії літака. Зроблено висновки про доцільність встановлення двох турбовальних двигунів із приводом на один гвинт замість наявної силової установки з одним поршневим двигуном для модернізації літаків типу Ан-2, що експлуатуються, а також про те, що це дасть змогу забезпечити ефективність перевезень пасажирів відповідно до наявних вимог EASA CS 23 Level 4 та максимальне використання місткості літака.

**Ключові слова:** CS-23, Ан-2, модернізація, силова установка.

### **Огляд**

Літак Ан-2 відомий не тільки своєю здатністю пристосовуватися до умов зльоту та посадки, стану майданчиків базування, а й наявністю великого об'єму вантажного відсіку та можливістю перевезення різних вантажів і пасажирів [1, 12, 18, 19, 21]. З огляду на такі характеристики літак Ан-2, розроблений наприкінці 40-х років ХХ століття, як і раніше, досить популярний. Із випущених 16763 літаків в експлуатації перебувають 1581 одиниць. Існує кілька методів забезпечення модернізації літаків типу Ан-2 для максимального використання всіх його переваг наразі. Розроблено варіанти без доопрацювання або з мінімальним доопрацюванням планера літака, а також варіанти доопрацювання літака зі встановленням турбогвинтового двигуна (ТГД) із зміною планера, у якому від базового літака використовувалися лише елементи. Деякі проекти досить віддалено схожі на першоджерело. У разі першого варіанта модернізації

виконується переважно ремоторизація – заміна наявного поршневого двигуна АШ-62ИР на газотурбінний, доопрацювання паливної системи та заміна бортового обладнання на сучасне. Це дає змогу зменшити вартість обслуговування силової установки і витрати на паливо у зв'язку з високою вартістю високооктанового бензину Б-91/115, що застосовувався раніше, для поршневого двигуна і меншою загальною витратою палива в силовій установці з ТГД. Питома витрата палива для двигуна АШ-62ИР становить 260...290 г/(к.с. год) при земному малому газі та 300 г/(к.с. год) на злітному режимі. При цьому додатковою перевагою є те, що гас, який застосовується у ТГД, є менш пожежонебезпечним. Полегшується обслуговування двигуна в польових умовах, а також прогрівання і запуск силової установки. Знижується аеродинамічний опір літака в польоті. У процесі робіт із модернізації додатково проводиться капітальний ремонт і відновлення літака, що дає змогу продовжити його подальшу експлуатацію за станом. Вартість робіт, що виконуються, істотно менша, ніж виготовлення та придбання нового літака, і дає змогу використовувати для модернізації наявні борти. Нижче наведено деякі здійснені проекти доопрацювань.

### 1. Огляд варіантів модернізації літака Ан-2

**Ан-3 (Ан-3Т)** (рис. 1). На літаку Ан-3 (Ан-3Т), розробленому АНТК «Антонов», встановлено турбогвинтовий двигун ТВД-20-01 потужністю 1375 к. с. з реверсивним гвинтом АВ-17. Розроблення модифікації проведено на початку 70-х років ХХ століття. Як робочі варіанти розглядалася встановлення двигунів сімейства ТВ2-117 і двох турбовальних двигунів ТВД-850, що обертають через загальний редуктор один гвинт. Остаточним варіантом стало застосування одного турбогвинтового двигуна ТВД-10 (ТВД-20).

Робота проводилася під керівництвом О. К. Антонова, В. Е. Задорожного. Перший варіант літака Ан-3 у сільськогосподарському варіанті злетів 13 травня 1980 р. з двигуном ТВД-20 [2, 9]. Цей літак був модифікацією планера літака Ан-2 зі встановленим турбогвинтовим двигуном. До серійного виробництва варіант не доведено.



Рис. 1. Зовнішній вигляд літака Ан-3

У 1997 р. в АНТК «Антонов» створено транспортний варіант літака Ан-3 – Ан-3Т. На цьому літаку змінено оперення, ліхтар і подовжено фюзеляж завдяки

встановленню додаткової секції за кабіною з розміщенням на ній вхідних дверей, праворуч додано аварійний вихід. Вантажопідйомність варіанта Ан-3Т 1800 кг. Виготовлялися шляхом доопрацювання наявних літаків із великим залишковим ресурсом. Перший літак зібраний в Омську на виробничому об'єднанні «Полёт» 1998 року. Загальна кількість вироблених літаків оцінюється у 30 одиниць протягом 2000–2009 рр.

**ТВС-2МС** (рис. 2). На літаку ТВС-2МС, розробленому СибНІА, встановлено двигун Garret TFE-331-12 потужністю 1100 к. с. з 5-лопатеvim гвинтом HC-B5MP-5CLX/LM 11692MX американської фірми Hartzell. Зокрема, збільшено вантажопідйомність із 1300 до 1500 кг. Перший політ відбувся 05 вересня 2011 р. У цьому варіанті застосовується доопрацювання з максимальним збереженням оригінальної конструкції базового літака Ан-2. Загальна кількість вироблених літаків, що перебувають в експлуатації, оцінюється в 17 одиниць (24 виготовлено на 2022 рік) [3, 4, 5].

Аналогічним доопрацюванням Ан-2 був літак **Y-5BG** (рис. 3) китайського виробництва. У цьому варіанті встановлено двигун Garret TFE-331-12UAN. Y-5BG за рівнем доопрацювання переважно відповідає варіанту ТВС-2МС та відрізняється від нього незначними деталями. Уперше показано на виставці China Airshow 2018 в місті Чжухай [6, 7].



Рис. 2. Зовнішній вигляд літака ТВС-2МС



Рис. 3. Зовнішній вигляд літака Y-5BG

**Ан-2-100** (рис. 4). На літаку Ан-2-100, розробленому АНТК «Антонов», встановлено двигун «Мотор Січ» МС-14 потужністю 1500 к. с. з реверсивним гвинтом АВ-17 і допрацьовано оперення на зразок Ан-3, а також здійснено збільшення вантажопідйомності з 1500 до 1800 кг [9, 10]. Перший політ відбувся 10 липня 2013 р.



Рис. 4. Зовнішній вигляд літака Ан-2-100

**«Легенда-570»** (рис. 5). Літак «Легенда-570», розроблений СибНІА, «СибАэроКрафт» і Mongolian Aircraft Industries (MAI), є модернізованим варіантом ТВС-2МС. На літальному апараті встановлено двигун Pratt & Whitney Canada РТ6А-67В потужністю 1200 к. с. та допрацьовано кабіну й оперення. Перший політ відбувся 31 липня 2020 р. [11, 13].



Рис. 5. Зовнішній вигляд літака «Легенда-570»

**Ремоторизація Ан-2.** У Венесуелі під час ремонту було встановлено двигун Garrett ТРЕ331-10R-513С у комплекті з гвинтом з виведених з експлуатації літаків С-212 і допрацьовано фюзеляж для встановлення нових ілюмінаторів вантажного відсіку. Новий двигун було встановлено на плиті, прикріпленій до моторами двигуна М-62Р за допомогою наявної на літаку С-212 моторами

(рис. 6, 7, 8). Таким чином, новим елементом силової установки є перехідна плита і нові капотні кришки.



Рис. 6. Силова установка з газотурбінним двигуном ремоторизованого літака Ан-2



Рис. 7. Літак Ан-2 із встановленим газотурбінним двигуном



Рис. 8. Літак Ан-2 із встановленим під час ремонту газотурбінним двигуном

## 2. Варіанти з доопрацюванням планера літака в підкісний моноплан

**ТР-301 і ТР-301ТВ** (рис. 9). На літаках ТР-301 і ТР-301ТВ, розроблених компанією «Технорегион», знято нижнє крило та зменшено злітну масу на 1000 кг. У варіанті ТР-301ТВ встановлено двигун М-601 із гвинтом від літака L-410 і змінено паливну систему [14].

На виставці МАКС 2021 було представлено варіант цього літака з назвою **ТР-301 Twin** («Твин») (рис. 9), що був оснащений двома турбовальними двигунами ГТД-350 потужністю 400 к. с., об'єднаних одним редуктором.



Рис. 9. Зовнішній вигляд ТР-301ТВ

**Т-101 «Грач»** (рис. 10). Літак Т-101 «Грач» розроблено «Рокс-Аэро», МАПО. Прототип виконано на базі агрегатів літака Ан-2 з використанням верхнього крила, елементів оперення, шасі та фюзеляжу. Було знову виготовлено носову частину, кіль, застосовано схему підкісного моноплана. На літальному апараті встановлено двигун ТВД-10Б потужністю 960 к. с. Перший політ відбувся 07 грудня 1994 р. У виробництво було запущено 24 одиниці. Відсутність сертифікації обмежила застосування [15].



Рис. 10. Зовнішній вигляд Т-101 «Грач»

Для безпеки експлуатації та можливості польотів над водною поверхнею необхідно, щоб у силовій установці застосовувалися два двигуни. Приклад дводвигунного літака на зразок Ан-2 – проєкт гідролітака «Игарка» (рис. 11, 12), розроблений приватною компанією з Владивостока для експлуатації у віддалених і нерозвинених регіонах. Раніше було створено експериментальні літаки з таким компонуванням двигунів у носовій частині – Lockheed Duo-4 (6), Piper PA-22 Tri-Pacer Twin [16].



Рис. 11. Зовнішній вигляд проєкту гідролітака «Игарка»



Рис. 12. Два газотурбінних двигуни літака проєкту «Игарка»

### **3. Варіант двомоторного літака на базі планера Ан-2 з одним тяговим гвинтом**

Для модернізації парку наявних літаків відповідно до сучасних вимог EASA пропонується варіант встановлення нової силової установки на літак Ан-2 замість поршневого двигуна АШ-62ИР, що складається з двох двигунів класу МС-500 (М-601), що працюють на один гвинт із загальним редуктором. Установлення двох

двигунів дає змогу покращити безпеку застосування літака та забезпечити умови зльоту в разі відмови одного двигуна в процесі розбігу та польоту над водною поверхнею. Це має забезпечити відповідність характеристик літака розділам **CS 23.2115 Take-off performance, CS 23.2120 Climb requirements (b), (c)** для умов зльоту та набирання висоти в разі можливої відмови двигуна **CS 23.2120 Climb requirements, CS 23.2125 Climb information , CS 23.2135 Controllability** [17]. Установлення двох двигунів дає змогу сертифікувати літак CS 23 Level 4 і забезпечити перевезення 10-19 пасажирів, на відміну від однодвигунних варіантів літаків **CS 23 Level 3**, місткість яких обмежено до 9 пасажирів.

Два двигуни встановлюються поруч із виходів валів на загальний редуктор. Масляні системи є відокремленими. Установлення двох газотурбінних двигунів, що працюють на один гвинт, відпрацьована в силових установках дводвигунних гелікоптерів. Синхронізацію обертів можна забезпечити як установленням спеціальних муфт, так і за допомогою цифрової системи керування двигунами FADEC [24].

На літаках установлення подібної силової установки (як поршневий двигун (ПД), так і турбогвинтовий двигун (ТГД)) застосовувалася раніше на літаках «Болховітінов С» (спарка) (два двигуни М-103), Macchi MC-72 (два двигуни FIAT), Lockheed Vega Starliner (спарка Menasco Unitwin 2-544), He-119 (Даймлер-Бенц DB-606), He-177 Grief (Даймлер-Бенц DB-606), Fairey Gannet (Bristol-Siddeley Double Mamba 101), Bristol Brabazon (спарені Bristol Centaurs), Ту-95 (перший льотний прототип із двигунами 2ТФВ-2В).

На сучасному рівні розвитку техніки механічну трансмісію може бути замінено на електричну. Таким чином, силова установка може функціонувати як гібридна зі зменшенням шкідливих викидів в атмосферу. При цьому стартова потужність на валу електродвигуна (або додаткова потужність у разі відмови двигуна) може бути збільшена шляхом установлення акумуляторів електричної енергії. Газотурбінні двигуни меншої сумарної потужності забезпечують політ на крейсерському режимі.

#### 4. Варіанти компоновання двох двигунів під капотом

На рис. 13 наведено варіант компоновання двох турбовальних двигунів MC-500 горизонтально в ряд.

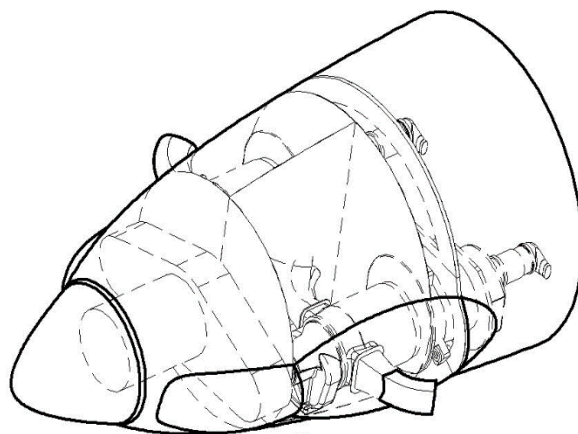


Рис. 13. Схема встановлення двигунів горизонтально в ряд



На рис. 14 подано варіант компонування двох турбовальних двигунів МС-500 горизонтально зі зміщенням вниз від осі гвинта.

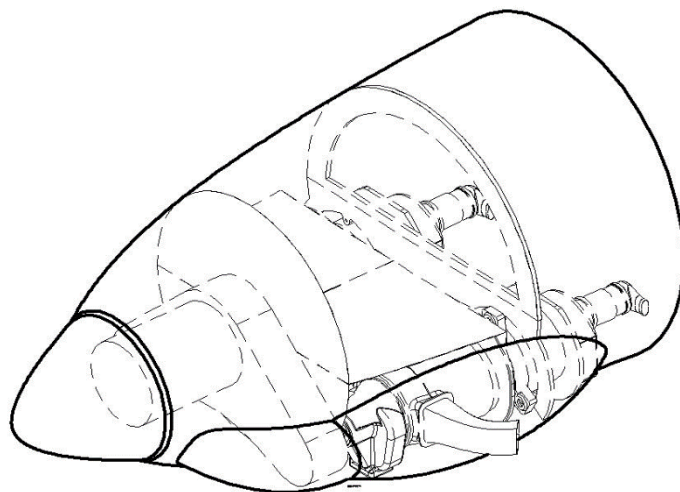


Рис. 14. Схема встановлення двигунів горизонтально зі зміщенням вниз від осі гвинта

На рис. 15 наведено варіант компонування зі встановленням двох турбовальних двигунів МС-500 вертикально в площині симетрії літака.

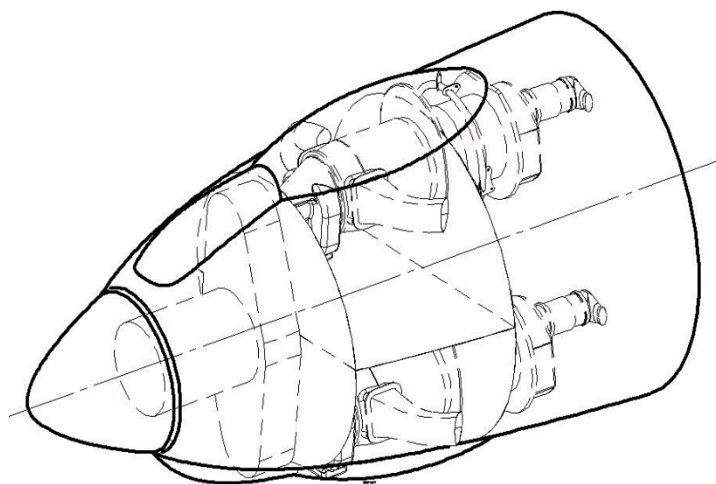


Рис. 15. Схема встановлення двигунів вертикально в площині симетрії літака

У табл. 1 наведено характеристики двигунів, що застосовуються на варіантах модернізації літака Ан-2.

Варіант двомоторного літака на базі планера Ан-2 з одним тяговим гвинтом зображено на схемі (рис. 16).

Основні льотно-технічні характеристики варіантів модернізації літака Ан-2 наведено в табл. 2.

Таблиця 1

Характеристики двигунів, що застосовуються на варіантах модернізації літака Ан-2

№ п/п	Назва	Маса, кг	Потужність, к.с. (кВт)	Питома витрата палива, кг/ (к.с.·год) (кг/(кВт·год))
1	АЩ-62ИР	567	1000	0,300
2	ТВД-10Б	225	960	0,255
3	ТВД-20-01	285	1375	0,225
4	МС-14	310 <sup>+10</sup>	1500 (1103)	0,240
5	МС-500	180	659 (435)	0,276
6	М-601	197	740 (544)	0,377
7	TFE-331-10	175	940 (700)	0,243
8	РТ6А-67В	240	1200 (890)	0,332

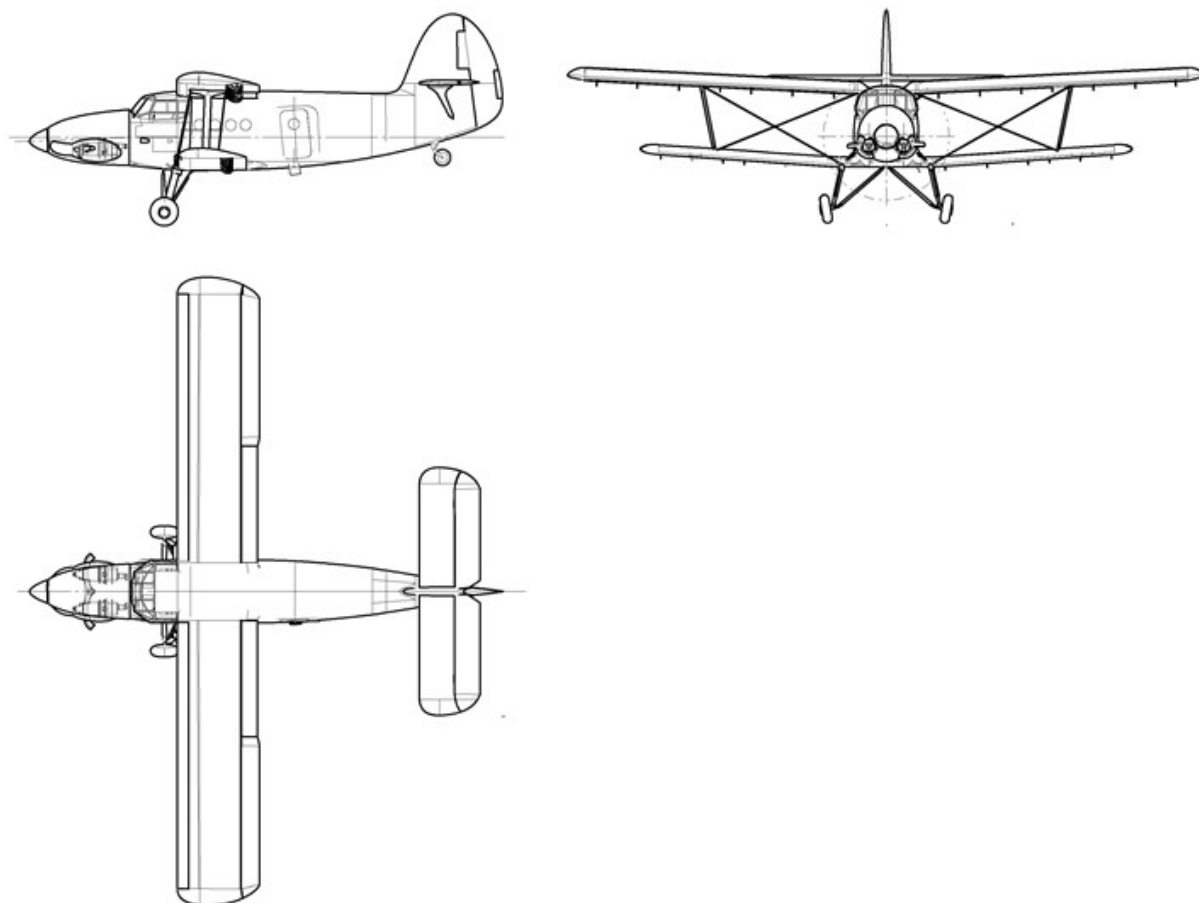


Рис. 16. Схема загального вигляду двомоторного літака на базі планера Ан-2 з одним тяговим гвинтом

Таблиця 2

## Основні льотно-технічні характеристики варіантів модернізації літака Ан-2

Параметри	Назва літака, країна, рік випуску						
	Ан-2 СРСР, 1947 р.	Т-101, Росія, 1994 р.	Ан-3Т Україна 1998 р.	ТВС-2МС, Росія, 2011 р.	Ан-2-100, Україна, 2013 р.	ТР-103, Росія, 2021 р.	Проект
	1	2	3	4	5	6	7
Льотні дані							
$V_{max}$ , км/год ( $M_{max}$ )	245*	300	255	255	260	270	
$H_{max}$ , км	5*	4	3,9	6		5,2	
$V_{кр}$ , км/год ( $M_{кр}$ )	180	250	230	200	220	255	
$V_y$ , м/с	4,2*		5				
$L$ , км (з $max\ m_T$ )	845*	3000	1230	1590		1100	
$L$ , км (з $max\ m_{гр\ ком}$ )					525		
$L_{розб}$ , м	150		140	50			
$L_{проб}$ , м	140		105	35			
Масові дані							
$m_{o\ max}$ , кг	5250	5250	5800	5500	5690	3900	5500
$m_{пор}$ , кг	3367	3300	3615	2890	3290		
$m_{гр\ ком}$ , кг	1500	1400	1800	1500	1500	2400	1500
$n_{пас}$ , чол.	12	15	12	9		9	12
Дані силової установки							
Кількість і тип двигунів	1хПД АШ- 62ИР	1хГТД ТВД-10Б	1хГТД ТВД-20- 01	1хГТД ТФЕ-331- 10	1хГТД МС-14	1хГТД М601	2хГТД МС-500
$P_o$ , к.с.	1×1000	1×960	1×1375	1×940	1×1500	1×740	2×659
$m_{дв}$ , кг	1×567	1×1168	1×285	1×175	1×310	1×197	2×180
$C_p$ , кг/(к.с.год)	0,3	0,255	0,225	0,243	0,24	0,377	0,276
Геометричні дані							
$S$ , м <sup>2</sup>	71,526	43,63	71,526	71,526	71,526	43,54 6	71,526
$l$ , м	18,176/ 14,236	18,2	18,176/ 14,236	18,176/ 14,236	18,176/ 14,236	18,17 6	18,176/ 14,236
$L_f$ , м	12,735	15,06	13,965	13,939		13,85	

## Висновки

Зараз літальні апарати для комерційних перевезень мають відповідати розробленим з урахуванням накопиченого досвіду регламентованим вимогам, що забезпечують ефективність і безпеку застосування.

У регламенті CS-23(b) наведено такі сертифікаційні рівні (certification levels):

1) Level 1 – для літаків з максимальним компонуванням крісел від 0 до 1 пасажирів;

2) Level 2 – для літаків з максимальним компонуванням крісел від 2 до 6 пасажирів;

3) Level 3 – для літаків з максимальним компонуванням крісел від 7 до 9 пасажирів; та

4) Level 4 – для літаків із максимальним компонуванням крісел від 10 до 19 пасажирів.

У розділі CS 23.2115 Take-off performance сформульовано вимоги для одномоторних літаків Level 1, 2, 3 та багатомоторних літаків Level 1, 2, 3, 4.

Таким чином, на перевезення пасажирів у нових одномоторних літаках, що проходять сертифікацію за CS 23, накладаються обмеження місткості пасажирів.

Наразі розроблено різні варіанти модернізації літаків Ан-2 із встановленням замість поршневого двигуна турбовального для зменшення експлуатаційних витрат та використання гасу замість високооктанового бензину.

Установлення двох турбовальних двигунів із приводом на один гвинт замість наявної силової установки з одним поршневим двигуном для модернізації літаків типу Ан-2, що експлуатуються, дасть змогу продовжити експлуатацію парку літаків із забезпеченням ефективності перевезень пасажирів відповідно до наявних вимог EASA CS 23 Level 4 і максимального використання місткості літака.

Установлення замість поршневого двигуна внутрішнього згоряння АШ-62ИР масою 567 кг двох газотурбінних двигунів меншої маси із загальним редуктором дає змогу виконати центрування літака в межах 17,2...33 % САХ для літака Ан-2 (із серії 160) та зберегти характеристики керованості.

Потужність двигунів вибирається з умов забезпечення вимог CS 23 CS 23.2120 Climb requirements.

## Список літератури

1. Ан-2 [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Ан-2>.

2. Ан-3 [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энциклопедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ан-3>.

3. [SibNIA TV5-2DTS](https://en.wikipedia.org/wiki/SibNIA_TV5-2DTS) [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/SibNIA TV5-2DTS](https://en.wikipedia.org/wiki/SibNIA_TV5-2DTS).

4. ТВС-2МС — вторая жизнь легендарного «кукурузника» [Электронный ресурс] // Авиация России. URL: <https://aviation21.ru/tvs-2ms-vtoraya-zhizn-legendarnogo-kukuruznika/>.

5. [https://www.instagram.com/tvs2\\_series/](https://www.instagram.com/tvs2_series/)

6. Китай представил новую версию копии Ан-2 [Електронний ресурс] // Крила: усе про українську авіацію. URL: <https://www.wing.com.ua/content/view/20624/59/>.

7. Yes, they are still making An-2 Colt / Y-5 biplane in China [Electronic

resource]. URL: <http://china-defense.blogspot.com/2020/04/yes-they-are-sitll-making-2-colt-y-5.html>.

8. Український літак АН-2-100 встановив новий світовий рекорд [Електронний ресурс] // ТСН. URL: <https://tsn.ua/ukrayina/ukrayinskiy-litak-an-2-100-vstanoviv-noviy-svitoviy-rekord-911958.html>.

9. Антонов Ан-3 [Електронний ресурс] // AviaDejaVu. URL: <http://aviadejavu.ru/Site/Crafts/Craft21417.htm>.

10. <https://naukatehnika.com/modernizirovannyj-2-100-pao-motor-sich-stal-beloruskim.html>

11. Первый полет самолета Легенда-570 с РТ6 31 июля 2020 года [Електронний ресурс] // LIVEJOURNAL. URL: <https://igor113.livejournal.com/1393811.html>.

12. К 75-летию первого полета легендарного самолета Ан-2 [Електронний ресурс]. URL: <https://zhukovskymuseum.ru/an-2-pervyy-polet-75-let/>.

13. Ан-2 [Електронний ресурс] // Jetphotos. URL: <https://www.jetphotos.com/photo/10763736>.

14. Самолет TP-301TB 2 [Електронний ресурс]. URL: <https://pkk-tr.ru/samolet-tr-301tv>.

15. [ROS-Aeroprogress T-101 Grach](https://en.wikipedia.org/wiki/ROS-Aeroprogress_T-101_Grach) [Electronic resource] // Wikipedia: the free encyclopedia. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/ROS-Aeroprogress\\_T-101\\_Grach](https://en.wikipedia.org/wiki/ROS-Aeroprogress_T-101_Grach).

16. Ан-2 превратят в новый двухмоторный самолет [Електронний ресурс]. URL: <https://www.techinsider.ru/technologies/news-594013-an-2-prevratyat-v-novyj-dvuhmotornyj-samolyot/>.

17. CS-23 Normal, Utility, Aerobatic and Commuter Aeroplanes [Electronic resource] // EASA. URL: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/certification-specifications/cs-23-amendment-6-and-amc-gm-cs-23-issue-4>.

18. Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию самолета Ан-2 [Електронний ресурс]. URL: [https://archive.org/details/an-2\\_20210623](https://archive.org/details/an-2_20210623).

19. Чекрыжев Н. В. Конструкция и техническое обслуживание систем самолётов с поршневыми двигателями [Електронний ресурс] : электрон. учеб. пособие. Самара : Изд-во Самар. ун-та, 2016. 139 с. URL: [repo.ssau.ru/handle/Uchebnye-posobiya/Konstrukciya-i-technicheskoe-obsluzhivanie-sistem-samoletov-s-porshnevymi-dvigatelyami-Elektronnyi-resurs-na-primere-samoleta-An2-elektron-ucheb-posobie-68477?mode=simple](http://repo.ssau.ru/handle/Uchebnye-posobiya/Konstrukciya-i-technicheskoe-obsluzhivanie-sistem-samoletov-s-porshnevymi-dvigatelyami-Elektronnyi-resurs-na-primere-samoleta-An2-elektron-ucheb-posobie-68477?mode=simple).

20. МС-500В [Електронний ресурс] // Мотор Січ. URL: <https://motorsich.com/ukr/products/aircraft/turboshaft/ms500v/>.

21. Руководство по эксплуатации Ан-2 [Електронний ресурс]. URL: <http://www.an2plane.ru/ru/manual.htm>.

22. Руководство по летной эксплуатации самолета ТВС-2МС-24. ([https://aviaforum.ams3.digitaloceanspaces.com/data/attachment-files/2018/02/909183\\_8eaa7d39f50e42ae1994b214c980a914.pdf](https://aviaforum.ams3.digitaloceanspaces.com/data/attachment-files/2018/02/909183_8eaa7d39f50e42ae1994b214c980a914.pdf))

23. Ан-2. Легкий багатоцільовий літак [Електронний ресурс] // ANTONOV. URL: <https://www.antonov.com/en/history/an-2>.

24. Машиностроение. Энциклопедия. В 40 томах. Раздел 4. Расчет и конструирование машин. Том 4–21. Самолеты и вертолеты. В 3 книгах. Книга 1. Аэродинамика, динамика полета и прочность / К. В. Фролов, Г. С. Бюшгенс. Москва : Машиностроение, 2002. – 799 с.

25. Машиностроение. Энциклопедия. В 40 томах. Раздел 4. Расчет и

конструирование машин. Том 4–21. Самолеты и вертолеты. В 3 книгах. Книга 2. Проектирование, конструкции и системы самолетов и вертолетов / К. В. Фролов, А. М. Матвеев. Москва : Машиностроение, 2004. – 752 с.

26. Машиностроение. Энциклопедия. В 40 томах. Раздел 4. Расчет и конструирование машин. Том 4–21. Самолеты и вертолеты. В 3 книгах. Книга 3. Авиационные двигатели / К. В. Фролов, В. А. Скибин. Москва : Машиностроение, 2010. – 719 с.

27. Производственно-конструкторская компания «Технорегион» [Электронный ресурс]. URL: <http://pkk-tr.ru>.

## References

1. An-2 [Elektronnyi resurs] // Vikipediia: vilna entsyklopediia. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/An-2>.

2. An-3 [Elektronnyi resurs] // Vykypediya: svobodnaia entsyklopedyia. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/An-3>.

3. SibNIA\_TV5-2DTS [Elektronnyi resurs] // Vikipediia: vilna entsyklopediia. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/SibNIA\\_TV5-2DTS](https://en.wikipedia.org/wiki/SibNIA_TV5-2DTS).

4. TV5-2MS — vtoraiia zhyzn lehendarnoho «kukuruznyka» [Elektronnyi resurs] // Avyatsyia Rossyy. URL: <https://aviation21.ru/tvs-2ms-vtoraya-zhizn-legendarnogo-kukuruznika/>.

5. [https://www.instagram.com/tvs2\\_series/](https://www.instagram.com/tvs2_series/)

6. Kytai predstavyl novuiu versiyu kopyi An-2 [Elektronnyi resurs] // Kryla: use pro ukrainsku aviatsiiu. URL: <https://www.wing.com.ua/content/view/20624/59/>.

7. Yes, they are still making An-2 Colt / Y-5 biplane in China [Elektronnyi resurs]. URL: <http://china-defense.blogspot.com/2020/04/yes-they-are-still-making-2-colt-y-5.html>.

8. Ukrainskyi litak AN-2-100 vstanovyv novyi svitovyi rekord [Elektronnyi resurs] // TSN. URL: <https://tsn.ua/ukrayina/ukrayinskiy-litak-an-2-100-vstanovyv-noviy-svitoviy-rekord-911958.html>.

9. Antonov An-3 [Elektronnyi resurs] // AviaDejaVu. URL: <http://aviadejavu.ru/Site/Crafts/Craft21417.htm>.

10. <https://naukatehnika.com/modernizirovannyj-2-100-pao-motor-sich-stal-beloruskim.html>

11. Perviy polet samoleta Lehenda-570 s PT6 31 yulia 2020 hoda [Elektronnyi resurs] // LIVEJOURNAL. URL: <https://igor113.livejournal.com/1393811.html>.

12. K 75-letiyu pervoho poleta lehendarnoho samoleta An-2 [Elektronnyi resurs]. URL: <https://zhukovskymuseum.ru/an-2-pervyy-polet-75-let/>.

13. An-2 [Elektronnyi resurs] // Jetphotos. URL: <https://www.jetphotos.com/photo/10763736>.

14. Samolet TR-301TV 2 [Elektronnyi resurs]. URL: <https://pkk-tr.ru/samolet-tr-301tv>.

15. ROS-Aeroprogress\_T-101\_Grach [Elektronnyi resurs] // Wikipedia: the free encyclopedia. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/ROS-Aeroprogress\\_T-101\\_Grach](https://en.wikipedia.org/wiki/ROS-Aeroprogress_T-101_Grach).

16. An-2 prevratyat v novyi dvukhmotornyj samolet [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.techinsider.ru/technologies/news-594013-an-2-prevratyat-v-novyy-dvuhmotornyj-samolyot/>.

17. CS-23 Normal, Utility, Aerobatic and Commuter Aeroplanes [Elektronnyi resurs] // EASA. URL: <https://www.easa.europa.eu/en/document>

library/certification-specifications/cs-23-amendment-6-and-amc-gm-cs-23-issue-4.

18. Ynstruksyia po ekspluatatsyy y tekhnicheskomu obsluzhyvaniyu samoleta An-2 [Elektronnyi resurs]. URL: [https://archive.org/details/an-2\\_20210623](https://archive.org/details/an-2_20210623).

19. Chekryzhev N. V. Konstruktsyia y tekhnicheskoe obsluzhivanye system samolëtov s porshnevymy dvigateliamy [Elektronnyi resurs] : elektron. ucheb. posobyе. Samara : Yzd-vo Samar. un-ta, 2016. 139 s. URL: [repo.ssau.ru/handle/Uchebnye-posobiya/Konstrukciya-i-tehnicheskoe-obsluzhivanie-sistem-samolëtov-s-porshnevymi-dvigatelyami-Elektronnyi-resurs-na-primere-samoleta-An2-elektron-ucheb-posobie-68477?mode=simple](http://repo.ssau.ru/handle/Uchebnye-posobiya/Konstrukciya-i-tehnicheskoe-obsluzhivanie-sistem-samolëtov-s-porshnevymi-dvigatelyami-Elektronnyi-resurs-na-primere-samoleta-An2-elektron-ucheb-posobie-68477?mode=simple).

20. MS-500V [Elektronnyi resurs] // Motor Sich. URL: <https://motorsich.com/ukr/products/aircraft/turboshaft/ms500v/>.

21. Rukovodstvo po ekspluatatsyy An-2 [Elektronnyi resurs]. URL: <http://www.an2plane.ru/ru/manual.htm>.

22. Rukovodstvo po letnoi ekspluatatsyy samoleta TVS-2MS-24. ([https://aviaforum.ams3.digitaloceanspaces.com/data/attachment-files/2018/02/909183\\_8eaa7d39f50e42ae1994b214c980a914.pdf](https://aviaforum.ams3.digitaloceanspaces.com/data/attachment-files/2018/02/909183_8eaa7d39f50e42ae1994b214c980a914.pdf))

23. An-2. Lehkyi bahatotsilovyi litak [Elektronnyi resurs] // ANTONOV. URL: <https://www.antonov.com/en/history/an-2>.

24. Mashynostroenye. Entsyklopedyia. V 40 tomakh. Razdel 4. Raschet y konstruyrovanye mashyn. Tom 4–21. Samolety y vertolety. V 3 knyakh. Knyha 1. Aerodynamyka, dynamykka poleta y prochnost / K. V. Frolov, H. S. Biushhens. Moskva : Mashynostroenye, 2002. – 799 s.

25. Mashynostroenye. Entsyklopedyia. V 40 tomakh. Razdel 4. Raschet y konstruyrovanye mashyn. Tom 4–21. Samolety y vertolety. V 3 knyakh. Knyha 2. Proektyrovanye, konstruktsyy y systemy samolëtov y vertoletov / K. V. Frolov, A. M. Matveenکو. Moskva : Mashynostroenye, 2004. – 752 s.

26. Mashynostroenye. Entsyklopedyia. V 40 tomakh. Razdel 4. Raschet y konstruyrovanye mashyn. Tom 4–21. Samolety y vertolety. V 3 knyakh. Knyha 3. Avyatsyonnye dvigately / K. V. Frolov, V. A. Skybyn. Moskva : Mashynostroenye, 2010. – 719 s.

27. Proyzvodstvenno-konstruktorskaia kompanyia «Tekhnorehyon» [Elektronnyi resurs]. URL: <http://pkk-tr.ru>.

Надійшла до редакції 21.12.2023, розглянута на редколегії 21.12.2023

## **Analysis of ways to modernize the An-2 aircraft taking into account the EASA requirements for CS 23 Level 4 and provide transportation of 10–19 passengers**

The article is devoted to the actual problem of modernization of the An-2 aircraft taking into account the EASA requirements for CS23 Level 4 to ensure the possibility of transporting 10–19 passengers. An overview of options for the modernization of the An-2 aircraft with replacement of engines and changing the design of the airframe has been carried out. An option to modernize the fleet of An-2 aircraft with the installation of a power plant that meets the requirements of the CS 23 Level 4 is proposed to ensure the possibility of transporting the number of passengers corresponding to the carrying capacity of the aircraft and the safety of passenger transportation. Options for

the modernization of the An-2 type aircraft without or with minimal modification of the airframe, as well as options for the modification of the aircraft with the installation of a turboprop engines with a change of the airframe, have been considered. The advantages of using the modernization of the aircraft with its minimal modification have been characterized: they decrease the cost of maintenance of the power plant and fuel costs, engine maintenance in the field, as well as warm-up and start-up of the power plant are facilitated, and the aircraft drag in flight is reduced. It was established that the passengers capacity limits the transportation of passengers in new planes. Some completed improvement projects are listed: options for the modernization of the An-2 aircraft, options for modifying the airframe of the aircraft into a braced monoplane, options for a two-engine aircraft based on the An-2 airframe with one propeller, and options for the configuration of two engines under the cowling. Various schemes for installing two engines under the cowling: horizontally in a row, horizontally with downward displacement relative to the axis of the propeller, vertically in the plane of symmetry of the aircraft. Conclusions have been made about expediency of installing two turboprop engine with a single propeller drive instead of the existing power plant with a single piston engine to upgrade the An-2 type aircraft in service, and that it will allow to ensure the efficiency of passenger transportation in accordance with the existing requirements of the EASA CS 23 Level 4 and the maximum utilization of the aircraft

**Key words:** CS-23, An-2, modernization, power plant.

#### **Відомості про автора:**

**Кривобок Олександр Іванович** – ст. викладач каф. 103, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна; o.kryvobok@khai.edu;

**Гуменний Андрій Михайлович** – канд. техн. наук, доцент, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна; a.gumennyi@khai.edu;

**Лоленко Андрій Васильович** – ст. викладач каф. 103, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна; a.lolenko@khai.edu;

**Духняк Євгеній Олександрович** – аспірант каф. 103, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна; y.o.dukhniak@khai.edu;

**Васильєв Олександр Олександрович** – аспірант каф. 103, Національний аерокосмічний університет і ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна; o.vasyliiev@khai.edu;

**Алейніков Віталій Валерійович** – аспірант каф. 103, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна; aleinikov.v19@gmail.com.

#### **About the Autors**

**Krivobok Oleksandr** – senior tutor at the department of 103, National Aerospace University Kharkiv Aviation Institute, Kharkiv, Ukraine, e-mail: o.kryvobok@khai.edu;

**Humennyi Andriy** – Candidate of Technical Science, Assistant Professor, National Aerospace University Kharkiv Aviation Institute, Kharkiv, Ukraine, e-mail:



@khai.edu;

**Lolenko Andriy** – senior tutor at the department of 103, National Aerospace University Kharkiv Aviation Institute, Kharkiv, Ukraine, e-mail: [a.lolenko@khai.edu](mailto:a.lolenko@khai.edu);

**Dukhniak Yevgeniy** – PhD student at the department of 103, National Aerospace University Kharkiv Aviation Institute, Kharkiv, Ukraine, e-mail: [y.o.dukhniak@khai.edu](mailto:y.o.dukhniak@khai.edu);

**Vasyliev Oleksandr** – PhD student at the department of 103, National Aerospace University Kharkiv Aviation Institute, Kharkiv, Ukraine, e-mail: [o.vasyliev@khai.edu](mailto:o.vasyliev@khai.edu);

**Aleinikov Vitaliy** – PhD student at the department of 103, National Aerospace University Kharkiv Aviation Institute, Kharkiv, Ukraine, e-mail: [aleinikov.v19@gmail.com](mailto:aleinikov.v19@gmail.com)