

В. М. КРАСНОКУТСЬКИЙ, В. В. КАВ'ЮК, С. А. ВАХНЮК, М. П. ДОЛІНСЬКИЙ

**АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ
УСТАНОВКИ БЛОКУ ПРИВОДУ КОНТУРУ ОБЛАДНАННЯ АЕРОДРОМНОГО
БАГАТОЦІЛЬОВОГО КОНДИЦІОНЕРА АМК-24/56-131**

В статті проведений аналіз особливостей роботи блоку силової установки (БСУ), як енергетичної установки аеродромного багатоцільового кондиціонера (АБК) АМК-24/56-131 в умовах аеродромно-технічного забезпечення польотів в процесі довготривалої безперервної експлуатації, розглянуто статистику характерних відмов і несправностей АБК, які знижують його надійність роботи та запропоновані альтернативні шляхи їх усунення. Проаналізовані напрямки покращення експлуатаційних параметрів БСУ з метою забезпечення безвідмовної роботи АБК в процесі експлуатації.

Ключові слова: блок силової установки, двигун внутрішнього згоряння, експлуатація, енергетична установка, міжремонтний ресурс, надійність, температурний режим.

V. KRASNOKUTSKYI, V. KAVYUK, S. VAKHNIUK, M. DOLINSKYI

**ANALYSIS OF WAYS TO INCREASE THE TECHNICAL INDICATORS OF THE
ENERGY INSTALLATION OF THE DRIVE UNIT CIRCUIT OF AIRPORT
MULTIPURPOSE AIR CONDITIONER AMK-24/56-131**

The article analyzes the operational features of the power unit block (PUB) as an energy component of the AMK-24/56-131 airport multi-purpose air conditioner (AMAC) under the conditions of airport-technical flight support during prolonged continuous operation. It examines the statistics of typical AMAC failures and malfunctions that reduce its operational reliability and proposes alternative solutions for their elimination. The study explores ways to improve the PUB's operational parameters to ensure the AMAC's failure-free performance. The objective of this work is to enhance and increase the reliability and operational efficiency of the airport multi-purpose air conditioner.

Research methods used: data collection, systematization, and analysis; mathematical analysis and numerical integration; theory and design of automotive and special equipment; reliability theory; fundamentals of production, operation, and repair of airport-technical flight support equipment; expert assessments; and comprehensive comparison of technical and technical-economic indicators. The analysis of ways to improve the operational performance and reliability of the AMK-24/56-131 AMAC's power unit indicates that 70% of AMAC failures are caused by the PUB engine. As a result, the AMAC's readiness factor is 0.40, its probability of failure-free operation is 0.79, and its mean time between failures (MTBF) is 108 operating hours. The most feasible solution is replacing the outdated Russian-made ZMZ gasoline engine with a modern, reliable, and fuel-efficient Mercedes-Benz OM364 diesel engine.

By increasing the probability of failure-free operation of the power unit with the new Mercedes-Benz OM364 engine to 0.95, the overall probability of failure-free operation of the AMAC would rise to 0.8, significantly improving the readiness factor, operational reliability, and MTBF. The advantages of this approach include relative simplicity of implementation and lower costs compared to designing a new PUB for the AMAC. The material from this article will be used for further research on AMACs and their potential modernization. The findings are applicable in airport-technical and logistical support for the Air Force of the Armed Forces of Ukraine, automotive repair enterprises of the Ministry of Defense of Ukraine, research and military educational institutions of the Armed Forces of Ukraine.

Keywords: power plant unit, internal combustion engine, operation, power plant, service life, reliability

Вступ. Постановка проблеми. Сучасні методи і засоби підвищення надійності складних технічних об'єктів, яким є аеродромний багатоцільовий кондиціонер, впливають на покращення експлуатаційних та тактико-технічних характеристик зразків озброєння та військової техніки [3], що підвищують бойову готовність військових частин.

Підвищення якості виконання заходів аеродромно-технічного забезпечення бойових дій авіаційними частинами пов'язано з необхідністю підтримання постійної бойової готовності повітряних суден та забезпечення нормальної життєдіяльності екіпажу повітряного судна, особливо це важливо під час бойового чергування в різних погодних та кліматичних умовах. У зв'язку з цим підвищується роль аеродромних кондиціонерів в процесі аеродромно-технічного забезпечення польотів (АТЗП). АБК повинні відповідати певним тактико-

технічним вимогам та забезпечувати якісну та надійну роботу по обслуговуванню повітряних суден, в умовах довготривалого навантаження [2],[9].

Надійність аеродромних багатоцільових кондиціонерів в значній мірі залежить від експлуатаційних показників його складових систем та агрегатів.

Для забезпечення надійної роботи АБК необхідно підвищувати його імовірність безвідмовної експлуатації та збільшення ресурсу до ремонту та списання його енергетичної установки за рахунок застосування сучасних технологічних двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), систем їх керування, збільшення ефективного коефіцієнта корисної дії, зменшення їх питомої витрати палива. Для досягнення цієї мети необхідно використовувати двигуни, які б забезпечували значне підвищення надійності БСУ [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням вирішення проблеми надійності двигунів внутрішнього згорання серед вітчизняних і світових вчених займались В.Г. Дяченко [5], М.А. Подригало [6], Н.Р. Брілінг, В.Т. Цветков, О.С. Полянський [7] А.П. Марченко [8], В.А. Ваншейдт, І.Г. Шепеленко [10] та інші. Отримані ними результати дозволили розробити методику розрахунку і оцінки ефективності процесів газообміну, сумішоутворення та згорання в чотиритактних ДВЗ, поліпшення їх техніко-економічних показників і характеристик, а також основних параметрів конструкції і робочих процесів ДВЗ та визначили шляхи підвищення їх технологічності, якості та економічності. Однак перелічені результати не в повній мірі враховують специфічні умови експлуатації ДВЗ у якості енергетичних установок спеціального обладнання електрогазової техніки, в тому числі аеродромних засобах кондиціювання повітря. Спостерігається загострення ситуації виходу з ладу силових установок спеціального обладнання АМК-24/56-131 в умовах інтенсивного використання при підготовці літаків до бойових вильотів після повномасштабного вторгнення, що в свою чергу зменшує ефективність застосування авіації. На теперішній час не виявлено даних щодо методик прогнозування надійності аеродромних кондиціонерів.

Мета статті. Аналіз ймовірності безвідмовної роботи та розрахунок надійності АМК-24/56-131 для вибору шляхів покращення експлуатаційних характеристик БСУ.

Аналіз застосування аеродромного багатоцільового кондиціонера. Безвідмовна робота АБК значною мірою залежить від БСУ, зокрема ДВЗ. Покращення робочих параметрів в БСУ супроводжується інтенсифікацією процесів зносу циліндро-поршневої групи ДВЗ під дією статичних, динамічних і вібраційних навантажень, теплового впливу.

Аналіз застосування аеродромного багатоцільового кондиціонера АМК-24/56-131 в аеродромно-технічних підрозділах показав що типовими несправностей є: БСУ (ДВЗ ЗМЗ-511), компресор (поломка впускних клапанів компресора, порушення щільності нагнітальних клапанів компресора, знос поршневих кілець компресора, корозія впускних та нагнітальних клапанів компресора), випарник (велика подача фреону у випарник внаслідок відмови у роботі терморегулюючого вентиля (ТРВ), відмова в роботі дистанційного вентиля, погіршення контакту термобалону ТРВ з трубопроводами подачі фреону, зменшення подачі фреону у випарник внаслідок порушення роботи ТРВ через неправильне регулювання температури, втрати фреону з силового елемента, засмічення фреонових фільтрів А86 та А103А, нестача фреону в системі, надлишок фреону в системі, недостатня подача повітря на конденсатори через неповне відкриття жалюзів конденсаторного блоку, низькі обороти осьового вентилятора А80, забруднення поверхні конденсаторів, потрапляння повітря в систему). 70 % відмов АБК припадає на двигун БСУ.

До недоліків двигуна БСУ ЗМЗ-511, який розроблявся в 50-ті роки 20 століття (почали випускатися в 1959 році), належить складний запуск гарячого двигуна [12]. В кінці вісімдесятих років розроблені нові варіації двигунів цієї марки під серією № 500. Дані силові агрегати мають кілька модифікацій, які мають однакові конструкцію і параметри, відрізняються незначними особливостями. Енергетична установка конструктивно і технічно застаріла. Експлуатаційних характеристик ЗМЗ-511 – таких як потужність двигуна – імпульс не вистачає для виконання поставлених задач по забезпеченню енергією АБК. Запуск

холодного двигуна проходить з невеликими проблемами, але через деякий час після запуску він глохне, а на холостому ході нестабільно працює. У процесі експлуатації двигун не зменшує обороти без відключення передачі. Такі дії супроводжуються хлопками в глушнику та підвищеною витратою пального. Проблема створює впускний колектор, під нього втягується надлишкове повітря, та часто потребує заміни ущільнювальний елемент. Характерні несправності двигуна: двигун починає працювати нерівномірно, хлопки в глушнику, падіння тиску у двигуні, протікання оливи у задньому корінному сальнику, викривлення впускного колектора, підвищений угар оливи, низький тиск оливи в системі змащення, поява стуку клапанів при збільшенні обертів, зменшення тяги двигуна, протікання оливи у верхній частині двигуна, регулярне збільшення до максимуму температури охолоджувальної рідини.

Особливо цей недолік проявляється в БСУ, так як двигун знаходиться в закритому корпусі і не має зустрічного обдуву повітря, як на автомобілях ГАЗ-66 та інші. Двигун постійно перегрівається і його робоча температура досягає 95°. Колектора двигуна нагріваються до почервоніння. Знос циліндро-поршневої групи, поломка кілець, збільшення зазорів в підшипниках з'єднання колінчастого валу і шатунів, підгоряння фасок клапанів і робочих сидел в головці циліндрів, зношування зубчастих коліс механізму газорозподілу, підшипників і кулачків розподільчого валу, низька потужність що набирається, перевитрата палива, нестійка робота на холостому ходу, провали при наборі потужності, перегрів бензонасоса, порушення правильної роботи (порушення регулювання) карбюратора (збільшення, збагачення горючої суміші внаслідок засмічення жиклерів, заклинення клапана рециркуляції), підгоряння контактної групи розподільника запалення та інші.

Причини виникнення поломок в АБК пов'язані з неправильною експлуатацією та недоліками в конструкції.

Сучасні тенденції розвитку експлуатації складних технічних систем, якою є АБК, обумовлені створенням умов що забезпечують безперервне стеження та оцінювання фактичного стану їх основних складових частин, оперативне діагностування вузлів та агрегатів, а також прогнозування залишкового ресурсу. Гнучкі стратегії управління технічним станом дають змогу суттєво знизити витрати на експлуатацію ЗАТЗП при значному збільшенні ефективності їх застосування за призначенням [4].

АБК складаються з БСУ, п'яти систем та механізмів (агрегатів), відмова кожного приводить до відмови АБК. Значна частина несправностей приходить на енергетичну установку блоку БСУ, якою є двигун ЗМЗ-511 потужністю 89 кВт (120 к.с.) з крутним моментом 284,4 Нм при обертах колінчастого валу 2500 об/хв, масою 262 кг з ступенем стискування 6,7.

Для АТЗП на кожному аеродромі використовується в середньому два АБК з них постійно протягом року – один [1].

За зміну напрацювання АБК складає від 6 до 8 мотогодин (м/г), за тиждень від 36 до 48 мотогодин, за місяць від 144 м/г до 192 м/г, за рік від 1700 м/г до 2304 м/г.

На основі аналізу роботи АБК на N - аеродромі визначили що протягом одного року спостереження за роботою двох АБК, було зареєстровано 23 відмови. До початку спостереження перший АБК напрацював $t_1 = 4147$ м/г, до кінця спостереження протягом року напрацювання першого АБК становило $t_2 = 4838$ м/г. Другий АБК напрацював $t_1 = 8294$ м/г, до кінця спостереження протягом року напрацювання АМК становило $t_2 = 9907$ м/г [9].

Середнє напрацювання на відмову становить:

Напрацювання першого АБК за період спостереження.

$$t_{10} = t_2 - t_1 = 691 \text{ м/г.}$$

Напрацювання другого АБК за період спостереження.

$$t_{20} = t_{22} - t_{21} = 1613 \text{ м/г.}$$

За цей час було зафіксовано за першим АБК $n_1 = 9$ відмов, за другим – відповідно $n_2 = 14$ відмов. Напрацювання першого АБК становило 691 м/г, другого – 1613 м/г. Визначили напрацювання АБК на відмову.

Сумарне напрацювання двох АБК:

$$t_{\Sigma} = t_{10} + t_{20} = 2304 \text{ м/г.}$$

Сумарна кількість відмов:

$$n_{\Sigma} = n_1 + n_2 = 23.$$

Середнє напрацювання на відмову:

$$t_{\text{сер}} = \frac{t_{\Sigma}}{n_{\Sigma}} = 100 \text{ м/г.}$$

Дослідили роботу БСУ та п'яти систем, відмова кожного з них призводить до відмови АБК. Відомо, що система охолодження (1) відмовила 3 рази, система змащення (2) – 3 рази, система живлення (3) – 2 рази, фреонова система (4) – 1 раз, БСУ (ДВЗ) (5) – 12 разів, електрична система (генератор) (6) – 2 рази протягом 2304 м/год роботи. На БСУ припадає 70 % відмов (рис.1).

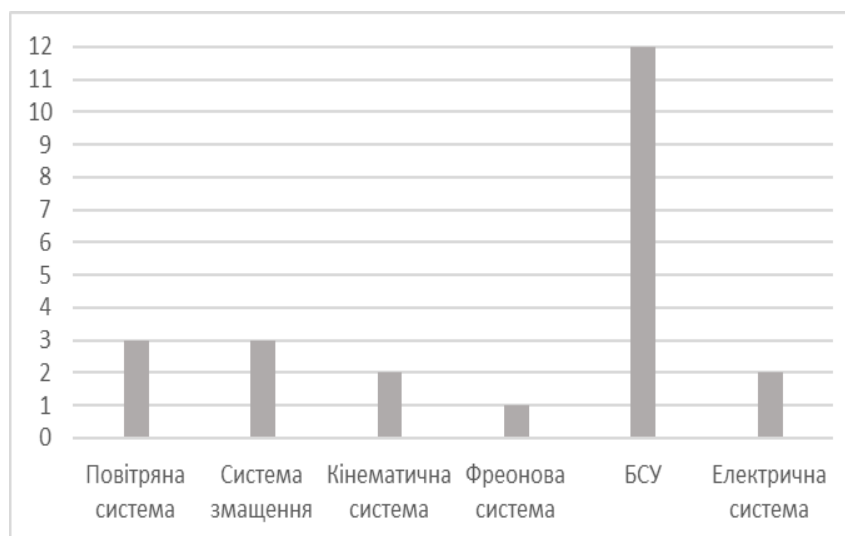


Рис. 1. Діаграма несправностей, які виникли за час спостереження

Визначили напрацювання на відмову АБК в цілому скористувавшись такими співвідношеннями:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^N \lambda_i \quad (1)$$

де λ_c - середня інтенсивність відмов

$$t_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda_{\text{сер}}} \quad (2)$$

де $t_{\text{сер}}$ - середнє напрацювання до відмови

Визначили інтенсивність відмов для кожної системи:

$$\lambda_1 = \frac{3}{2304} = 0,001 \text{ год}^{-1}$$

$$\lambda_2 = \frac{3}{2304} = 0,001 \text{ год}^{-1}$$

$$\lambda_3 = \frac{2}{2304} = 0,0008 \text{ год}^{-1}$$

$$\lambda_4 = \frac{1}{2304} = 0,0004 \text{ год}^{-1}$$

$$\lambda_5 = \frac{12}{2304} = 0,005 \text{ год}^{-1}$$

$$\lambda_6 = \frac{3}{2304} = 0,001 \text{ год}^{-1}$$

Інтенсивність відмов АБК складає $0,0092 \text{ год}^{-1}$. Обчислили середнє напрацювання до першої відмови:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda_{\text{сер}}} = \frac{1}{0,0092} = 108 \text{ год}$$

За період експлуатації, коли велось спостереження, час на відновлювання систем АБК $t_1 = 90 \text{ хв}$; $t_2 = 110 \text{ хв}$; $t_3 = 85 \text{ хв}$; $t_4 = 150 \text{ хв}$; $t_5 = 480 \text{ хв}$; $t_6 = 40 \text{ хв}$. Визначили що середній час відновлення АБК становить 159 год.

Визначили коефіцієнт готовності:

$$K_r = \frac{t_{\text{сер}}}{t_{\text{сер}} + t_B} = \frac{108}{108 + 159} = 0,40$$

Такий низький коефіцієнт ми отримали через тривалий час перебування в ремонті двигуна БСУ.

Час роботи систем АБК до відмови підлягає експоненціальному закону розподілу з параметрами $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6$. Обчислили кількісні характеристики надійності кожної системи, якщо $t = 691 \text{ м/г}$. Обчислили імовірність безвідмовної роботи:

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-2,5 \cdot 10^{-5} t}; \quad (3)$$

$$P_1 = e^{0,001 \cdot 691} = 0,9512;$$

$$P_2 = e^{0,001 \cdot 691} = 0,9512;$$

$$P_3 = e^{0,0008 \cdot 691} = 0,9753;$$

$$P_4 = e^{0,0004 \cdot 691} = 0,985;$$

$$P_5 = e^{0,005 \cdot 691} = 0,69;$$

$$P_6 = e^{0,001 \cdot 691} = 0,9512.$$

Визначили імовірність справної роботи АБК.

АБК працює безперервно в середньому протягом 8 год на добу, всі елементи мають основні з'єднання. Найдоцільнішим є розрахування імовірності справної роботи системи при двох крайніх значеннях небезпеки відмов елементів.

На основі аналізу статистичних даних про відмови елементів, що входять до системи, відомо, що імовірність відмов знаходиться у таких межах: нагнітача ЯМЗ-204 $(0,8-1,2) \cdot 10^{-3}$, генератора ГСР-1800 $(0,1-0,7) \cdot 10^{-3}$, фреоно-повітряного випарника А-68 $(0,9-0,9) \cdot 10^{-3}$, електропідігрівача А-70 $(0,8-1,2) \cdot 10^{-3}$, вентилятора ДВ-1КМ $(0,7-0,9) \cdot 10^{-3}$, регулятора напруги РУГ-82 $(0,1-0,7) \cdot 10^{-3}$, роздавальні коробки – $(0,14-0,81) \cdot 10^{-3}$, ДВЗ (4-х циліндровий) – $(0,8-1,4) \cdot 10^{-3}$, оливний насос – $(0,7-1,3) \cdot 10^{-3}$.

Використовуючи одержану вище формулу (2), визначили максимальне та мінімальне значення ймовірності справної роботи:

$$P_{c \max(t)} = e^{-(0,8+0,7+0,14+0,9+0,8+0,1) \cdot 10^{-3}} = e^{-3,44 \cdot 10^{-3}}$$

$$P_{c \min(t)} = e^{-(1,2+1,3+0,81+0,9+1,4+0,7) \cdot 10^{-3}} = e^{-6,31 \cdot 10^{-3}}$$

Ймовірність справної роботи АБК протягом 8 годин безперервної роботи знаходитиметься у межах від 0,88 до 0,93, тобто не менше 88 %.

Розрахунок надійності АБК. Розрахункова схема надійності АБК (рис.2) має 1 – двигун внутрішнього згоряння; 2 – роздавальна коробка; 3 – нагнітач ЯМЗ-204; 4 – генератор ГСР-1800; 5 – фреоно-повітряний випарник А-68; 6 – електропідігрівач А-70; 7 – вентилятор ДВ-1КМ; 8 – регулятор напруги РУГ-82; 9 – оливний насос.

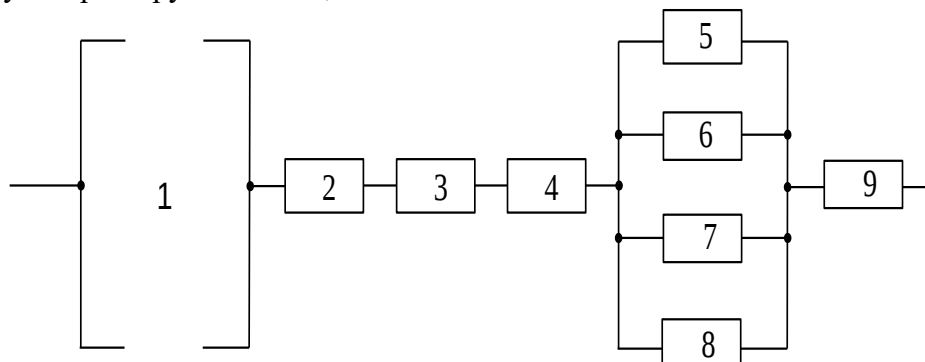


Рис. 2. Розрахункова схема надійності АБК Джерело: розроблено авторами.

Імовірність безвідмовної роботи окремих елементів дорівнює:

$$P_1 - P_4 = 0,69;$$

$$P_5 = 0,95; \quad P_6 = 0,975; \quad P_7 = 0,95;$$

$$P_8 = P_9 = P_{10} = P_{11} = 0,98; P_{12} = 0,95.$$

Для визначення імовірності безвідмовної роботи запропонованої схеми скористуємося формулами для визначення ймовірності безвідмовної роботи паралельно та послідовно з'єднаних частин.

$$P_{\text{посл}} = \prod_{i=1}^n P_{\text{пар}} = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - P_i) = 1 - (1 - P^2)^m \quad (4)$$

Імовірність безвідмовної роботи АМК:

$$P = 0,69 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,975 \cdot [1 - (1 - 0,98)^4] \cdot 0,95 = 0,6$$

Приймаємо, що кількісні характеристики надійності підпорядковані експоненціальному закону розподілу ($\lambda = \text{const}$). До визначеного терміну перший АБК напрацював 691 год.

Тоді на підставі формули $P(t) = e^{-\lambda t}$ маємо $0,69^{-691\lambda t}$. За таблицею для e^{-x} (де $x = 691\lambda$) знаходимо $x = 0,371 = 691\lambda$. Імовірність відмови:

$$\lambda = 0,371 / 691 = 0,371 \cdot 7^{-3} \text{ год}^{-1}.$$

Аналіз літературних джерел та ресурсів інтернет [13] дозволяє виділити наступний ряд дизельних ДВЗ, які найчастіше використовуються як альтернатива ЗМЗ-511: ЯМЗ-53442 турбо, ММЗ Д-245.12С, MAN L2000 D0824, Mercedes-Benz OM 904 LA, Mercedes-Benz OM364, Mercedes Benz OM366, Cummins ISF3.8, Cummins ISBe 3.9, HINO W04CT, HINO J07C, та використовуються для модернізації та експлуатації автомобільної техніки на шасі ЗІЛ, ГАЗ. Визначимо імовірність відмови ЕУ АБК з двигуном Mercedes-Benz OM364 на підставі формули $P(t) = e^{-\lambda t}$

Прологарифмуємо ліву та праву частини та отримуємо:

$$\lambda = -\ln(0,8) / 691 = 3,329 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$$

Таким чином імовірність відмови ЕУ с двигуном Mercedes-Benz OM364 становить:

$$\lambda = 3,329 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$$

Наведений метод орієнтовного розрахунку надійності АБК призначений для ескізного проектування. Його можна використовувати також для вибору інших сучасних двигунів для БСУ та їх порівняльної оцінки [1],[3].

При заміні двигуна ЗМЗ-511 БСУ на двигун Mercedes-Benz OM364 (з імовірністю безвідмовної роботи $P_1 - P_4 = 0,95$) імовірність безвідмовної роботи АБК буде складати:

$P = 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,975 \cdot [1 - (1 - 0,98)^4] \cdot 0,95 = 0,8$ Ефективний коефіцієнт корисної дії (ЕККД) η_e , який характеризує ступінь досконалості робочих процесів ДВЗ (через індикаторний ККД) і ступінь досконалості конструкції ДВЗ за рівнем механічних втрат (через механічний ККД) у двигуні ЗМЗ становить до 0,3 в той час як у типу розмірного ряду дизельних двигунів з наддувом Mercedes-Benz OM364 становить до 0,45.

$$\eta_g = \eta_i \cdot \eta_m \quad (5)$$

Індикаторні показники типорозмірних двигунів ЗМЗ і Mercedes-Benz наведені в таблиці № 1.

Таблиця 1 - Індикаторні показники типорозмірних двигунів ЗМЗ і Мерседес-Бенц [5, с.55]

Тип двигуна	Показники
	Питома ефективна робота, L_v , Дж (см ³)
Чотиритактні з іскровим запалюванням (ЗМЗ-511)	0,7–0,9
Чотиритактні дизелі з наддувом (Mercedes-Benz OM364)	1,0–2,3

За показниками на заміну двигуна ЗМЗ-511 БСУ найоптимальнішим варіантом підходить лінійка двигунів Mercedes-Benz OM364, адаптовані та випробувані на автомобілях ГАЗ-66, ГАЗ-53, які мають двигуни ЗМЗ- 511 [11].

Технічні характеристики двигуна Mercedes-Benz OM364: тип двигуна дизельний, рядний, 4-циліндровий. прямого впорскування палива, охолодження- рідинне, Об'єм двигуна – 3972 см³, максимальна потужність – 104,4 кВт, максимальний крутний момент: при 345 об/хв – 1500 Н/м, при 408 об/хв – 1600 Н/м, при 500 об/хв – 1800 Н/м.

При правильній експлуатації даного двигуна та використанні рекомендованих моторних олив, вчасної заміни фільтруючих пристроїв силовий агрегат працюватиме без ремонту більше 800 тис. км (32 тис. м/г).

Висновки.

Приведений аналіз шляхів підвищення експлуатаційних показників та надійності силового блоку аеродромного багатоцільового кондиціонера АМК-24/56-131 свідчить, що 70 % відмов АБК припадає на двигун БСУ. Через це коефіцієнт готовності АБК становить 0,40, імовірність безвідмовної роботи АБК становить 0,79, середнє напрацювання на відмову АБК дорівнює 108 м/г роботи.

Найбільш доцільним є заміна бензинового морально та технічно застарілого двигуна ЗМЗ російського виробництва на сучасний надійний економічний дизельний двигун типу Mercedes-Benz OM364. При підвищенні імовірності безвідмовної роботи блоку силової установки з новим двигуном Mercedes-Benz OM364 до 0,95, імовірність безвідмовної роботи АБК в цілому до 0,8, що значно підвищить показники коефіцієнту готовності, можливість безвідмовної роботи та напрацювання на відмову.

Перевагами цього способу є відносна простота та реалізація та менші затрати, чим проектування нового зразку БСУ АБК.

Матеріал даної статті буде використаний для подальших досліджень АБК і можливості їх модернізації

Список літератури:

1. Дослідження можливості технічного вдосконалення конструкції та поліпшення тактико-технічних характеристик аеродромного багатоцільового кондиціонера шляхом заміни енергетичної установки: звіт про НДР (шифр "Кондиціонер") / Краснокутський В.М. та ін.; № 0123U104062; Інв. № 19911. Харків: ХНУПС, 2023. 187 с.
2. Техніка аеропортів. Частина 3. Аеродромні багатоцільові кондиціонери" / В. В. Кав'юк та ін. Харків : ХНУПС, 2025. 254 с.
3. В.Б. Самородов, В.М. Краснокутський, В.Р. Мандрика Надійність в автомобіле- і тракторобудуванні: підручник. Харків : НТУ «ХП», 2015. 352 с.
4. Кашканов А.А., Кужель В.П., Грисюк О.Г.. Інформаційні комп'ютерні системи автомобільного транспорту: навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2010. 230 с.
5. Дяченко В.Г. Двигуни внутрішнього згорання. Харків : НТУ "ХП". 463 с.

6. Assessment of increased energy efficiency of vehicles with a rational reduction of engine capacity / Podrigalo M. and other. Kharkiv: Kharkiv National Automobile and Highway University.
7. Канарчук В.С., Полянський С.К., Дмитрієв М.М. Надійність машин: Підручник. Київ: Либідь, 2003. 424 с.
8. Двигуни внутрішнього згорання. Теорія: Підручник / за ред. А.П.Марченка. Харків: НТУ «ХПІ», 2008. 488 с.
9. О.М. Леоненко, В.В. Кав'юк, О.А. Бусилко. Експлуатація автомобілів та засобів аеродромно-технічного забезпечення польотів: навчальний посібник / за ред. О.Г. Закапка. Харків: ХНУПС, 2015. 304 с.
10. Шепеленко І.Г. Основи проектування спеціалізованого рухомого складу. Київ: УМК ВО, 1989. 180 с.
11. Мальцев П.М., Смельянова Н.А. Основи наукових досліджень. Київ, 1982. 190 с.
12. Технологія регламентних робіт на спеціальному обладнанні аеродромного багатоцільового кондиціонера АМК-24/56-131. 1983. 96 с.
13. Кашканов А.А., Кав'юк В. В., Краснокутський В. М., Матющенко С.Я. Обґрунтування тактико-технічних характеристик додаткової енергетичної установки при модернізації аеродромного багатоцільового кондиціонера АМК-24/56-131. Вісник НТУ «ХПІ». Серія Автомобіле- та тракторобудування, 2023. Випуск № 2. С.3–17.

References (transliterated):

1. Doslidzhennia mozhlyvosti tekhnichnoho vdoskonalennia konstruksii ta polipshennia taktyko-tekhnichnykh kharakterystyk aerodromnoho bahatotsilovoho kondytsionera shliakhom zaminy enerhetychnoi ustanovky: zvit pro NDR (shyfr "Kondytsioner") / Krasnokutskiy V.M. ta in.; № 0123U104062; Inv. № 19911. Kharkiv: KhNUPS, 2023. 187 s.
2. Tekhnika aeroportiv. Chastyna 3. Aerodromni bahatotsilovi kondytsionery" / V. V. Kaviuk ta in. Kharkiv : KhNUPS, 2025. 254 s.
3. V.B. Samorodov, V.M. Krasnokutskiy, V.R. Mandryka Nadiinist v avtomobile- i traktorobuduvanni: pidruchnyk. Kharkiv : NTU «KhPI», 2015. 352 s.
4. Kashkanov A.A., Kuzhel V.P., Hrysiuk O.H.. Informatsiini kompiuterni systemy avtomobilnoho transportu: navchalnyi posibnyk. Vinnytsia : VNTU, 2010. 230 s.
5. Diachenko V.H. Dvyhuny vnutrishnoho zghorannia. Kharkiv : NTU "KhPI". 463 s.
6. Assessment of increased energy efficiency of vehicles with a rational reduction of engine capacity / Podrigalo M. and other. Kharkiv: Kharkiv National Automobile and Highway University.
7. Kanarchuk V.Ie., Polianskyi S.K., Dmytriiev M.M. Nadiinist mashyn: Pidruchnyk. Kyiv: Lybid, 2003. 424 s.
8. Dvyhuny vnutrishnoho zghoriannia. Teoriia: Pidruchnyk / za red. A.P.Marchenka. Kharkiv: NTU "KhPI", 2008. 488 s.
9. O.M. Leonenko, V.V. Kaviuk, O.A. Busylko. Ekspluatatsiia avtomobiliv ta zasobiv aerodromno-tekhnichnoho zabezpechennia polotiv: navchalnyi posibnyk / za red. O.H. Zakapka. Kharkiv : KhNUPS, 2015. 304 s.
10. Shepelenko I.H. Osnovy proektuvannia spetsializovanoho rukhomoho skladu. Kyiv : UMK VO, 1989. 180 s.
11. Maltsev P.M., Yemeljanova N.A. Osnovy naukovykh doslidzhen. Kyiv, 1982. 190 s.
12. Tekhnologhiia rehlementnykh robot na spetsialnomu obladnanni aerodromnoho bahatotsilovoho kondytsionera АМК-24/56-131. 1983. 96 s.
13. Kashkanov A.A., Kaviuk V. V., Krasnokutskiy V. M., Matiushchenko S.Ia. Obgruntuvannia taktyko-tekhnichnykh kharakterystyk dodatkovoi enerhetychnoi ustanovky pry modernizatsii aerodromnoho bahatotsilovoho kondytsionera АМК-24/56-131. Visnyk NTU «KhPI». Serii Avtomobile- ta traktorobuduvannia, 2023. Vypusk № 2. S.3–17.

Надійшла (received) 17.05.2025 р.

Відомості про авторів / About the Authors

Краснокутський Володимир Миколайович (Volodymyr Krasnokutskiy) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри автомобіле- і тракторобудування; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9484-4113>; e-mail: hvukvn62@gmail.com.

Кав'юк Вадим Володимирович (Vadim Kavyuk) – Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, начальник кафедри аеродромно-технічного забезпечення авіації, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0367-8314>; e-mail: super-kvv1971@ukr.net

Вахнюк Сергій Анатолійович (Serhii Vakhniuk) – Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, старший викладач кафедри аеродромно-технічного забезпечення авіації, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3584-7730>; e-mail: vakhniuk.ser@gmail.com

Долінський Михайло Петрович (Mykhailo Dolinskyi) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри автомобіле- і тракторобудування, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5260-7245>; e-mail: makenzzzz@gmail.com