В.М. Кривонос, О.А. Хахалкіна, В.В. Білий, В.А. Хахалкіна, Е.О. Гегечкорі

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМУ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КИСНЕВОГО ЖИВЛЕННЯ ЕКІПАЖІВ ВИСОКОМАНЕВРЕНИХ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

Запропоновано вдосконалення системи життєзабезпечення екіпажів повітряних суден, з урахуванням недоліків балонної системи кисневого живлення. Аналіз яких дозволив виявити недоліки існуючої системи кисневого живлення, що дає можливість подальшого обґрунтування напрямку удосконалення бортових балонних кисневих систем, за рахунок її заміни на бортовий кисневодобувний пристрій БҚДП. Створена модель сучасної безбалонної кисневої системи літака-винищувача. Використання такої моделі надасть можливість виключити залежність обмеженого запасу кисню на борту повітряного судна і, як наслідок, зменшити контроль його витрати під час польоту, також дозволить зменшити вагу та габарити кисневого устаткування. Для інженерно-технічного складу зникне необхідність наземного обслуговування (дозаправки) літаків киснем при високій інтенсивності польотів, а на запасних аеродромах утримувати кисневодобувне обладнання.

Ключові слова: кисневе обладнання, балонна система кисневого живлення, безбалонна система, система життєзабезпечення, бортовий кисневодобувний пристрій.

Вступ

Постановка проблеми. Кисневе обладнання є однією з найважливіших складових системи життєзабезпечення екіпажів повітряного судна, яка призначена для підтримання фізіологічних потреб організму льотчика при виконанні висотних польотів та створення компенсації тиску при перевантаженні. На всіх літаках, які стоять на озброєнні Повітряних Сил Збройних Сил України встановлені балонні системи кисневого живлення, які багато часу вже експлуатуються, це в свою чергу приводить до технічних несправностей (розгерметизація місць з'єднань, руйнування трубопроводів) з одного боку, а з іншого є необхідність постійного контролю запасу кисню на борту повітряного судна (ПС). Таким чином це призводить до зайвих трудовитрат на землі при експлуатації і залежність екіпажу при виконанні висотних польотів від сталого запасу кисню на борту ПС. Для вирішення цієї задачі пропонується інтеграція безбалонних кисневих систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізуючи кисневе обладнання повітряних суден провідних країн світу [1–4], можна побачити, що вони відмовляються від балонної системи кисневого живлення. Її замінюють на кисневі генератори On-board Oxygen Generation System (OBOGS). Така система кисневого живлення дозволяє знизити масу високоманеврених літаків та спростити обслуговування повітряних суден під час підготовок до польотів.

Оскільки системи кисневого живлення, що застосовуються на повітряних судах Повітряних Сил

Збройних Сил України, експлуатуються тривалий термін, понад 30 років, а це впливає на її працездатність та надійність, тому модернізація системи життєзабезпечення екіпажів, а саме кисневого обладнання є актуальною задачею.

Мета статті – обґрунтувати вдосконалення системи кисневого живлення екіпажів високоманеврених повітряних суден за рахунок інтеграції безбалонних кисневих систем.

Виклад основного матеріалу

Атмосферне повітря складається із суміші газів, їх загальний тиск дорівнює 760 мм. рт. ст. Частка кисню в атмосферному повітрі відіграє для людини найважливішу роль. Парціальний тиск кожного газу визначається його часткою в газовій суміші у відсотках. Чим більше відсотковий вміст газу в суміші, тим, відповідно, вищий його парціальний тиск.

Парціальним тиском кисню P_{O_2} називається той тиск, що припадає на його частку від загального тиску повітря. Величина парціального тиску визначається наступним рівнянням [5]:

$$P_{O_2} = 0,21(P - P_{H_2O}), \quad (1)$$

де 21% – відсотковий вміст кисню в атмосфері повітря; 760 мм рт. ст. – абсолютний тиск повітря над рівнем моря при температурі 15°C;

$P_{H_2O} = 47$ мм рт. ст. – тиск насичених водяних парів на вході в легені людини при температурі 37°C.

При підстановці даних, що наведені вище, отримаємо, що при нормальних умовах парціальний тиск буде дорівнювати приблизно 150 мм. рт. ст.

Відповідно, для висоти розрахунок P_{O_2} ведеться по наступній формулі:

$$P_{O_2} = 0,01\beta(P_H - P_{H_2O}), \quad (2)$$

де β – відсотковий вміст кисню в повітрі що вдихається на висоті H ;

P_H – атмосферний тиск.

Прирівнявши вирази (1) та (2), отримаємо:

$$\beta = 21 \frac{P - P_{H_2O}}{P_H - P_{H_2O}}. \quad (3)$$

На рис. 1 наведений потрібний відсотковий вміст кисню в повітрі, що вдихається, який розрахований за формулою (3).

Рис. 1. Графік потрібного вмісту кисню в повітрі, що вдихається

Джерело: розроблено авторами.

З рис. 1 видно, що для підтримання парціального тиску кисню на заданому рівні ($P_{O_2} = 150$ мм. рт. ст.) необхідно зі збільшенням висоти підвищувати відсотковий зміст кисню в повітрі, що вдихається.

В стандартних умовах людина робить 15–20 подихів за хвилину. При нормальному вдиху об'єм повітря, що вдихається, ($\theta_{вд}$) приблизно дорівнює 0,5 – 0,6 л. При посиленому вдиху, наступним після нормального, додатково вводиться в легені до 2,5 л повітря; окрім цього, в легенях завжди є резервне повітря. Загальна сума складових об'ємів визначає життєву ємність легень [6]:

- 0,5 – 0,6 л – нормальний вдих;
- 1,5 – 2,5 л – посилений вдих;
- 1,0 – 2,9 л – резервне повітря.

Життєва ємність легень приблизно дорівнює $\theta_{л} = 3-6$ л.

Об'єм повітря, що витрачається в хвилину, прийнято називати легеневою вентиляцією, Q_l [л/хв].

Хвилинна легенева вентиляція є добутком об'єму що вдихається, яке представляє собою амплітудне значення об'єму та частоти дихання ν .

$$Q_l = \nu \theta_{вд}, \quad (4)$$

де $\nu = \frac{60}{\tau} = \frac{60}{t_{вд} + t_{вид}}$; $t_{вд} + t_{вид}$ – час вдиху та видиху відповідно, с.

Таким чином, легенева вентиляція визначається наступним виразом:

$$Q_l = \frac{60\theta_{вд}}{t_{вд} + t_{вид}}. \quad (5)$$

Опираючись на вираз (5), обчислено, що легенева вентиляція при $\tau \cong 2$ с:

$$Q_l = \frac{60 \times 0,6}{2} = 18 \text{ л / хв}.$$

Таблиця 1

Орієнтовне значення легеневої вентиляції у залежності від фізичного навантаження людини

Фізичне навантаження	Легенева вентиляція, л/хв	Поглинання організмом кисню (G), л/год
Спокій	9–11	13–16
Робота при середньому навантаженні	13–24	24–27
Робота при тяжкому навантаженні	29–44	49–52
Виснажуюча робота	70–75	114–117

Джерело: розроблено авторами.

Величина легеневої вентиляції Q_l встановлюється такою, щоб підтримувати необхідний рівень парціального тиску кисню. Потрібна Q_l забезпечується певним поєднанням відповідних параметрів зовнішнього дихання (глибини та частоти).

Для визначення потрібних витрат чистого кисню в системі кисневого живлення розглянемо схему утворення необхідної величини легеневої вентиляції на виході регулятора подачі кисню (рис. 2).

Рис. 2. Схема виникнення розходу потрібної величини легеневої вентиляції на виході регулятора подачі кисню (РП)

Джерело: розроблено авторами.

Відповідно до цієї схеми, величина легеневої вентиляції Q_l складається з витрати чистого кисню Q , що подається на вхід РП та підсосу повітря Q_n тобто:

$$Q_l = Q + Q_n. \quad (6)$$

У наземних умовах ($H=0$) потрібна подача кисню для забезпечення нормального газообміну в організмі людини визначається наступною залежністю:

$$Q_{O_2} = 0,21 Q_l. \quad (7)$$

При висоті польоту ($H>0$) подача кисню для дихання виражається наступною формулою:

$$Q_{O_2} = 0,01 \beta Q_l. \quad (8)$$

Враховуючи вираз (3) отримаємо:

$$Q_{O_2} = 0,21 \frac{P - P_{H_2O}}{P_H - P_{H_2O}} Q_l. \quad (9)$$

Потрібна кількість кисню для дихання при використанні системи кисневого живлення може бути визначена рівнянням, що наведено нижче:

$$Q_{O_2} = Q + 0,21 Q_n. \quad (10)$$

Скориставшись виразом (6) попередня залежність (10) отримує інший вигляд:

$$Q_{O_2} = Q + 0,21(Q_l - Q). \quad (11)$$

Якщо вираз (9) підставити у вираз (11), то отримаємо основну формулу для розрахунку потрібної витрати кисню:

$$Q = \frac{0,21}{0,79} Q_l \frac{P - P_{H_2O}}{P_H - P_{H_2O}}. \quad (12)$$

Оскільки величина легеневої вентиляції визначається фізичним навантаженням людини й вимірюється в широких діапазонах (табл. 1), то залежність (12) дає можливість орієнтовно розрахувати потрібну витрату чистого кисню по висоті для якоїсь середньої величини легеневої вентиляції. Результати розрахунків наведені на рис. 3 для $Q_l = 18$ л/хв.

Рис. 3. Графік залежності потрібної витрати чистого кисню для людини в залежності від висоти польоту
Джерело: розроблено авторами.

З рис. 3 видно, що чим вище знаходиться повітряне судно, тим більше потрібно чистого кисню споживати льотчику.

Склад, призначення та режим роботи комплексу кисневого обладнання для конкретного ПС в ос-

новному визначається його висотністю. На рис. 4 показана найбільш загальна структурна схема комплексу кисневого обладнання для польотів на висоті до 12 км.

Рис. 4. Структурна схема комплексу кисневого обладнання:

ЗК – запас кисню; КВ – кисневий вентиль; КР – кисневий редуктор; РБП – регулятор безперервної подачі; ОР – об'єднаний роз'єднувач комунікацій; ПП – парашутний кисневий прилад; АПП – автомат підсосу повітря; РП – регулятор перервної подачі; КМ – киснева маска; КК – компенсуючий клапан виходу.

Джерело: розроблено авторами.

Комплект кисневого обладнання екіпажу висотного ПС повинен забезпечувати такі режими [5]:

- політ у розгерметизованій кабіні на висотах більше 12 км;
- тривалий політ у загерметизованій кабіні на всіх висотах;
- покидання повітряного судна на всіх висотах польоту.

Для літаків із висотою польоту більше 12 км схема ускладнюється, оскільки до неї додаються нові елементи, які вступають у роботу при розгерметизації кабіни на стратосферних висотах. Вони створюють рекомпресію та надлишковий тиск і таким чином забезпечують покидання ПС льотчиком без зайвих травм.

Рис. 5. Додаткові елементи до комплексу кисневого обладнання для польотів на висотах більше 12 км:
П – пусковий механізм; РТ – регулятор співвідношення тисків; РНТ – регулятор надлишкового тиску; КН – компенсатор натягу; ПМ – мала подача; ВП – велика подача; ВК – висотно-компенсуючий костюм

Джерело: розроблено авторами.

При польоті у герметичній кабіні комплект працює без надлишкового тиску з підсосом повітря. Залежно від висотності ПС використовуються ті чи інші регулятори подачі тиску РП, кисневі маски КМ та герметичні шоломи ГШ.

При “висоті” у кабіні 10–12 км спрацьовує ане-роїд пускового механізму П, і кисень з великою подачею поступає у камери висотно-компенсуючого костюму. Після спрацьовування реле часу РЧ у систему здійснюється мала подача кисню. За допомогою регулятора надлишкового тиску та регулятора співвідношення тиску формується заданий тиск у гермошоломі залежно від висоти польоту

При покиданні ПС автоматично або вручну роз’єднується об’єднаний роз’єднувач комунікацій, і кисень з парашутно-кисневого приладу подається у систему живлення.

У розглянутих схемах повітря поступає в систему з балонів, які заправляються під певним тиском. Вибір робочого тиску в балонах обумовлений їх масовими й об’ємними характеристиками (рис. 6).

Рис. 6. Залежність масових та об’ємних показників від робочого тиску в балонах
Джерело: розроблено авторами.

Для отримання оптимальних об’ємно-масових співвідношень для кисневих балонів необхідно мати тиск в них 520–540 кгс/см². Однак ці величини тиску в бортових балонах можуть викликати вибуховий ефект [7], що є небезпечним для конструкції літака. З урахуванням цих міркувань робочий тиск в балонах обирається 150 кгс/см².

Аналіз експлуатації кисневої системи живлення балонного типу екіпажу показав, що система має певні недоліки:

- системи кисневого живлення, що застосовуються на повітряних суднах, експлуатуються понад термін, який встановлений виробником, що може призвести до їх відмов;
- запас чистого кисню обмежений ємністю балонів, що впливає на час польоту;
- необхідність постійного контролю запасу кисню на борту повітряного судна під час виконання

висотних польотів та бойового застосування [8].

Балони можливо заправляти під вищим тиском із метою збільшення запасу кисню, але тоді зростає маса та небезпека вибуху.

На літаках Збройних Сил України типу Су-27 та МиГ-29 встановлена система кисневого обладнання ККО-5. Вона має 3 балони об’ємом 4 літри кожний. Отже, загальний об’єм чистого кисню дорівнює 12 літрів. В табл. 1 вказано поглинання організмом кисню, зробимо наступні розрахунки:

$$t_n = \frac{V_0}{G}, \quad (13)$$

де t_n – час поглинання екіпажем кисню, год;

G – поглинання організмом кисню при певному фізичному навантаженні л/год;

V_0 – загальний об’єм чистого кисню в чотирьох балонах, л.

Результати розрахунків наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Орієнтовне значення часу польоту в залежності від поглинання кисню екіпажем

Фізичне навантаження	Час поглинання екіпажем кисню, хв
Спокій	48
Робота при середньому навантаженні	29
Робота при тяжкому навантаженні	15
Виснажуюча робота	6

Джерело: розроблено авторами.

У табл. 2 розраховано орієнтовний час польоту при певному режимі навантаженні. У балонних система обмежений час споживання кисню, що є суттєвим недоліком.

При виконанні бойового завдання [9–10], витрата кисню значно збільшується, оскільки клапан із подачею чистого кисню повинен бути відкритим, що зменшить його час перебування в повітрі.

Тому пропонується можливість модернізації існуючої кисневої системи за рахунок бортової системи генерації кисню [1–4]. На рис. 7 представлена запропонована модель безбалонної системи у вигляді функціональної схеми.

Генератор кисню представлений у вигляді бортового кисневодобувного пристрою (БКДП). У генераторі кисню використовується технологія короткоциклічної безнагрівної адсорбції [11]. У ній застосовується цеоліти чи молекулярні решета [12], які поглинають з повітря першочергово азот. При цьому адсорбція відбувається при підвищеному тиску газу, а десорбція виконується оберненою продувкою при пониженому тиску.

Рис. 7. Функціональна схема безбалонної системи кисневого живлення
Джерело: розроблено авторами.

На контролер покладається функція регулювання кисню в отриманій газовій суміші відповідно розрахованому парціальному тиску (рис. 1) [13].

Повітря, що надходить в генератор, очищається від крапельної вологи і аерозолів. Крапельна волога дренується з фільтра через штуцер скидання, з яким пов'язаний також зливний шланг генератора кисню [14].

Монітор надає пілоту дані про парціальний тиск кисню. Якщо генератор виробляє недостатню кількість кисню, то резервна киснева система автоматично активується. Дані, що зображені на моніторі, лінійно пропорційні парціальному тиску.

Резервна киснева система складається з одного балону з киснем об'ємом 0,7 л. Резервна киснева система з'єднана з селекторним клапаном через шланг, що понижує тиск і подає кисень в регулятор.

Регулятор забезпечує подачу в кисневу маску дихальної газової суміші пропорційно фазам дихання. Регулятор також забезпечує тиск у кисневій масці, яка компенсує зниження вмісту кисню у середовищі, що вдихається при розгерметизації кабіни літака, і в камерах висотного спорядження – надлишкового тиску газу на великій (стратосферній) висоті – більш 12 км [5].

Основні технічні характеристики генератора кисню наведені нижче [15]:

- вага генератора < 10 кг;
- площа, яку займає генератор $\approx 350 \times 350 \times 200$ мм;
- електропостачання 28 В постійного струму або 115 В змінного струму.

Генератор кисню – це високоефективний бортовий концентратор кисневої системи для одномісних і двомісних літаків. Високоефективний концентратор забезпечує широкий спектр

застосувань, включаючи низький тиск повітря на вході.

Вбудований кисневий контролер використовує датчик кисню, який безперервно в режимі реального часу повідомляє систему про точну кількість кисню у відпрацьованих газах.

Генератор кисню складається з наступних елементів:

- блок електронного керування адсорберами (БЕК);
- блок клапанів;
- два адсорбери (A1, A2);
- рама.

Схема генератора кисню наведена на рис. 8.

Рис. 8. Схема генератора кисню
Джерело: розроблено авторами.

Блок клапанів забезпечує:

- заповнення адсорберів повітрям від компресора двигуна;
- відбір повітря, збагаченого киснем, для споживачів;
- скидання домішок з повітря, що залишилися в адсорбері, в атмосферу.

Для забезпечення роботи в нормальному режимі в блоці клапанів є редуктор для скорочення тиску повітря, яке поступає від компресора двигуна.

Адсорбери, заповнені цеолітами, призначені для збагачення киснем повітря методом короткоциклічної адсорбції.

Блок електронного керування забезпечує видачу керуючого сигналу на виконуючі механізми блока клапанів у залежності від алгоритму роботи кисневої системи. Він забезпечує видачу електронних команд у вигляді періодичних імпульсів постійного струму на електромагніти блоку розподільних клапанів для управління процесом.

БЕК сприймає показання газоаналізатора парціального тиску кисню й свідчення сигналізатора тиску дихальної газової суміші та видає в бортову систему індикації сигнали:

- ”вихід на режим” – протягом певного часу, після включення електроживлення генератора кисню;

– “кисень - норма” – при нормованому парціальному тиску кисню на землі й у польоті;

– “кисень - відмова” – при виході значення парціального тиску кисню з нормованого діапазону протягом встановленого проміжку часу.

При наявності тиску на вході й керуючого сигналу від БЕК адсорбери по чергову працюють в режимі адсорбції й десорбції азоту повітря.

При роботі адсорбера в режимі адсорбції клапан заповнення адсорбера відкритий, а клапан скидання зачинений. При цьому повітря від редуктора поступає в адсорбер, де відбувається адсорбція повітря азоту, і збагачене киснем повітря поступає до екіпажу.

При роботі адсорбера в режимі десорбції клапан заповнення адсорбера зачинений, а клапан скидання відкритий. При цьому збагачене повітря азотом викидається в атмосферу.

Управління роботою адсорберу здійснює БЕК, який у відповідності з алгоритмом задає циклічність роботи цих компонентів, у результаті чого один із адсорберів протягом певного проміжку часу працює в режимі адсорбції, а інший – десорбції. Для прискорення процесу десорбції адсорбера в кінці кожного циклу здійснюється продування десорбуючого адсорбера повітрям, збагаченого киснем, з адсорбуючого адсорбера.

При ввімкненні генератора кисню в роботу передбачений режим продування, призначений для видалення конденсату вологи з пристроїв, що підводять повітря.

По сигналу БЕК відкриваються клапани заповнення та скидання адсорберів, повітря разом з конденсатом вологи викидається в атмосферу, минаючи адсорбери.

Систему генерування кисню доцільніше використовувати у високоманеврених літаках.

Система з газоподібним киснем заправляється від автомобільної кисневої зарядної станції. Перед заправкою балонів киснем, роздаткові шланги зарядних пристроїв, які призначені для виключення забруднення бортової системи, повинні продуватися.

На заправку балонів киснем піде приблизно 5-7 хв, коли киснева система безбалонного типу допоможе цього уникнути, оскільки замість балонів вона постійно генерує кисень.

Для перевірки роботи генератора кисню, достатньо подати на нього електроживлення, після чого загориться сигнал, що вона справна. На індикаторі з'явиться сигнал “вихід на режим”, а через пару хвилин “кисень – норма”. Ці всі параметри може перевіряти як технік літака, так і льотчик.

З аналізу кисневих систем видно, що безбалонна система має свої переваги, оскільки час польоту не залежить від запасу кисню, маса та габарити менші порівняно із балонною.

Завдяки меншій масі безбалонної системи, вага літака теж зменшиться, отже здійснювати зліт він зможе швидше.

Рис. 9. Час обслуговування кисневої системи
Джерело: розроблено авторами.

Інтеграція безбалонних систем [16–17], дасть можливість не утримувати на основних та запасних аеродромах заправочні кисневі станції (ЗКС) та робити додаткові перевірки балонної системи при підготовках повітряного судна до польоту, оскільки зменшиться час підготовки кисневого обладнання до польотів.

Висновки

Під час проведення аналізу шляхів вдосконалення кисневого обладнання були отримані наступні основні наукові та практичні результати:

а) кисневі системи живлення балонного типу екіпажу мають певні недоліки:

– запас чистого кисню обмежений ємністю балонів, що впливає на час польоту;

– необхідність постійного контролю запасу кисню на борту повітряного судна під час виконання висотних польотів та бойового завдання;

б) дотримуючись вимог до комплекту кисневого обладнання побудовано функціональну модель кисневої системи живлення безбалонного типу;

в) проведено оцінку загальних характеристик комплектів кисневого обладнання балонного та безбалонного типу. Встановлено, що безбалонна система кисневого живлення має наступні переваги:

– її маса менше, завдяки відсутності балонів з киснем на борту повітряного судна;

– згідно проведеним розрахункам запас кисню

об'ємом 12 л закінчується через 6-48 хв у залежності від фізіологічного навантаження льотчика при подачі чистого кисню, коли безбалонна система виробляє кисень постійно;

– наземне обслуговування зменшиться майже в 2 рази, оскільки не потрібно витрачати час на заправку киснем балонів, а лише на перевірку працездатності кисневої системи безбалонного типу;

– знижується пожежна та вибухова небезпека, потенційним джерелом яких є системи з використанням чистого кисню;

Усі ці показники впливають на час обслуговування повітряного судна, що в свою чергу відображається на ефективності виконання бойового завдання льотчиком.

Список літератури

1. Report on Aircraft Oxygen Generation № SAB-TR-11-04 : monograph / General Gregory M. and other. Washington : DC, 2012. 260 p.
2. NGL's Generic OBOGS becomes a Millennium. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*. 1999. № 71(2). <https://doi.org/10.1108/aeat.1999.12771bad.002>.
3. Innovative solution to Nimrod oxygen system requirement. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*. 1998. № 70(4). <https://doi.org/10.1108/aeat.1998.12770dab.043>.
4. Joseph J. Beaman. Computer Modeling and Optimization of OBOGS with Contaminants. Austin : Texas university at Austin dept of mechanical engineering, 1988. 306 p.
5. Зарубін А. М. Висотне обладнання літальних апаратів: навч. посібник. Харків : ХНУПС, 2015. 112 с.
6. Фізіологія вісцеральних систем : монографія / Соколенко В. М. та ін. Полтава : ПП "Астрія", 2019. 160 с.
7. Білошицький М. В., Пруський А. В. Щодо вживання термінів "вибух кисневого балона", "вибух газового балона". *Системи обробки інформації*. 2013. № 8(115). С. 273–277.
8. Степанов Г. С., Камінський В. В., Павленко М. А. Погляди щодо проблемних питань застосування Повітряних Сил в протиповітряній обороні. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2018. № 1(30). С. 18–23. <https://doi.org/10.30748/nitps.2018.30.03>.
9. Шамко В. Є., Жарик О. М., Коваль В. В. Розвиток та застосування Повітряних Сил, інших видів Збройних Сил України, удосконалення їх системи управління. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2018. № 2(31). С. 9–15. <https://doi.org/10.30748/nitps.2018.31.01>.
10. Шамко В. Є., Жарик О. М., Коваль В. В. Основні особливості застосування Повітряних Сил в сучасних умовах ведення збройної боротьби. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2017. № 2(27). С. 15–18. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.27.02>.
11. Зыков Б. М., Красненкова Т. М., Лазба Б. А. Кислород на цилиндрическом поликристалле вольфрама. *Журнал технической физики*. 2019. № 8. С. 1294. <https://doi.org/10.21883/JTF.2019.08.47906.377-18>.
12. On-Board Oxygen Generation Using High Performance Molecular Sieve / Bhat A. and oth. *Defence Life Science Journal*. 2012. No. 2(4). P. 380–382. <https://doi.org/10.14429/dlsj.2.12274>.
13. F-16 OBOGS. *Cobham* : web site. URL: <https://www.cobhammissionsystems.com/oxygen-systems/military-aerospace-oxygen-systems/on-board-oxygen-generation-systems-obogs/f-16-obogs/docview/> (accessed 02.02.2021).
14. Analysis on water content of product gas in onboard oxygen generation system (OBOGS) / Dongsheng J. and oth. *International Conference on Aircraft Utility Systems (AUS)* : conference paper. IEEE, 2016. P. 340–345. <https://doi.org/10.1109/AUS.2016.7748071>.
15. OBOGS for fighter aircraft. *Air Liquide Advanced Technologies* : web site. URL: <https://advancedtech.airliquide.com/obogs-fighter-aircraft> (accessed 06.02.2021).
16. The F-16 on board oxygen generating system: Performance evaluation and man rating : monograph / Horch Th. and oth. Texas : USAF school of aerospace medicine Aerospace Medical Division (AFSC) Brooks Air Force Base, 1983. 64 p.
17. Onboard oxygen generating system. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*. 2000. № 72(3). <https://doi.org/10.1108/aeat.2000.12772cad.002>.

Надійшла до редколегії 31.05.2021

Схвалена до друку 13.07.2021

Відомості про авторів:

Кривонос Володимир Миколайович

кандидат технічних наук
науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6511-6640>

Information about the authors:

Volodymyr Kryvonos

Candidate of Technical Sciences
Lead Research
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6511-6640>

Хахалкіна Олександра Андріївна

курсант

Харківського національного університету

Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,

Харків, Україна

<https://orcid.org/0000-0001-6889-3974>

Oleksandra Khakhalkina

Cadet

of Ivan Kozhedub Kharkiv

National Air Force University,

Kharkiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-6889-3974>

Білий В'ячеслав Валерійович

курсант

Харківського національного університету

Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,

Харків, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-1656-4148>

Vyacheslav Bilyi

Cadet

of Ivan Kozhedub Kharkiv

National Air Force University,

Kharkiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-1656-4148>

Хахалкіна Валерія Андріївна

курсант

Харківського національного університету

Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,

Харків, Україна

<https://orcid.org/0000-0003-3143-7435>

Valeriya Khakhalkina

Cadet

of Ivan Kozhedub Kharkiv

National Air Force University,

Kharkiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-3143-7435>

Гегечкорі Едуард Олегович

курсант

Харківського національного університету

Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,

Харків, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-2381-3034>

Eduard Hehechkori

Cadet

of Ivan Kozhedub Kharkiv

National Air Force University,

Kharkiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-2381-3034>

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКИПАЖЕЙ ВЫСОКОМАНЕВРЕННЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

V.Н. Кривонос, А.А. Хахалкина, В.В. Белый, В.А. Хахалкина, Э.О. Гегечкори

Предложено совершенствование системы жизнеобеспечения экипажей воздушных судов с учетом недостатков баллонной системы кислородного питания. При анализе существующих систем кислородного питания были выявлены недостатки, что дает возможность дальнейшего обоснования направления совершенствования бортовых баллонных кислородных систем, за счет ее замены на бортовое кислорододобывающее устройство БКДУ. Разработана модель современной безбаллонной кислородной системы самолета истребителя. Использование такой модели позволит исключить зависимость ограниченного запаса кислорода на борту воздушного судна и, как следствие, снизить контроль его расхода во время полета, также позволит уменьшить вес и габариты кислородного оборудования. Для инженерно-технического состава исчезнет необходимость наземного обслуживания (дозаправки) самолетов кислородом при высокой интенсивности полетов, а на запасных аэродромах содержать кислорододобывающие оборудование.

Ключевые слова: система кислородного питания, баллонная система кислородного питания, безбаллонная система кислородного питания, бортовое кислорододобывающее устройство, генератор кислорода.

JUSTIFICATION OF THE POSSIBILITY OF IMPROVING THE LIFE SUPPORT SYSTEM OF HIGHLY MANEUVERABLE AIRCRAFT CREWS

V. Kryvonos, O. Khakhalkina, V. Bilyi, V. Khakhalkina, E. Gegechkori

The possibility of further modernization of life support systems for aircraft crews is substantiated by replacing the existing balloon oxygen supply system with an onboard oxygen production device, which is a balloonless oxygen system. This will eliminate the dependence of the limited supply of oxygen on board the aircraft, and, as a result, not control its consumption during the flight, and the weight and dimensions of oxygen equipment will also decrease. For the engineering and technical staff, there will be no need for ground servicing (refueling) of aircraft with oxygen at high flight intensity, and oxygen production facilities will be maintained at alternate airfields. In the current context, one of the tasks in creating new devices and systems is to reduce the cost of their future operation and maintenance. The combat aircraft Su 30, Su 35, MiG 9, Yak 130 F-15E, F-16 Block 50+, F-18E/F, T-6, F-22, F-35 use onboard oxygen production device, which has a bombless oxygen system. In comparison with the bomb system of oxygen supply onboard oxygen production device has advantages: absence of oxygen cylinders which need to be filled constantly; reduction of fire and explosion danger, as oxygen is in cylinders under high pressure; reduction of labor productivity for maintenance of a set of system accessories. In all military aircraft in Ukraine, oxygen is supplied to the crew from cylinders, ie its volume is limited, which means time to fly. The bombless oxygen supply system produces pure oxygen from the air, which is fed into the pilot's mask. Flight time will not depend on the supply of oxygen in the bomb, the aircraft can safely fly with several refueling operation. The pilot will not need to be distracted by the level of oxygen in the bombs. Also, a bombless oxygen supply system will help reduce the weight of the accessory, as it weighs about 30 kg, when only one cylinder weighs 7 kg. The new oxygen system will help reduce the number of airfield staff and allow highly maneuverable aircraft to cover long distances. The problems of refueling bombs at field airdrome, where there is no oxygen production, will also disappear.

Keywords: oxygen supply system, bomb oxygen supply system, bombless oxygen supply system, onboard oxygen production device.