

УДК 629.7.083

*ЛОБУНЬКО О.П., начальник науково-дослідного відділу, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник*

*КУЗЬМІН С.М., провідний науковий співробітник, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник*

*ШУМІЛІН Г.О., начальник науково-дослідної лабораторії*

*ГОНЧАРЕНКО М.Ф., головний інженер ДП МО України*

*"ОАРП" Одесавіаремсервіс"*

## **ШЛЯХИ ЗБІЛЬШЕННЯ ВСТАНОВЛЕНОГО РЕСУРСУ КОРОБКАМ ЛІТАКОВИХ АГРЕГАТІВ КСА-2(3) ЛІТАКА МІГ-29**

*У статті розглянуті шляхи збільшення встановленого ресурсу коробкам КСА-2(3) та алгоритм їх реалізації.*

*Ключові слова: встановлений ресурс коробкам КСА-2(3), віброшвидкість, стендові випробування.*

Світові тенденції вирішення задач щодо збільшення встановлених показників авіаційної техніки (АТ) підтверджують технічну можливість і економічну доцільність пошуку шляхів підвищення ефективності використання ресурсних можливостей окремих типів виробів.

Досвід експлуатації та ремонту коробок літакових агрегатів КСА-2(3) свідчить, що при досягнутих ресурсних показниках інтенсивного пошкодження деталей не відбувається. Більш повне використання фактичних запасів ресурсів КСА-2(3) можливе [1] при умові проведення відповідних аналітичних досліджень по виявленню деталей та вузлів, які обмежують ресурс коробок, досліджень технічного стану коробок, що випрацювали міжремонтний та встановлений розробником ресурси в експлуатації або на стенді, а також проведення еквівалентних тривалих стендових випробувань після виконання капітального ремонту КСА-2(3).

Аналітичні дослідження показують, що найбільш напруженими елементами коробок є: зубчасті колеса, підшипники кочення та шліцьові з'єднання [2].

Надійність і працездатність як окремих вузлів, так і всієї конструкції КСА-2(3) в цілому, у значній мірі залежать від досконалості використовуваних підшипників і обов'язкового врахування умов їх роботи.

Забезпечення працездатності роботи підшипників при заданих режимах досягається лише у тому випадку, якщо конструкція підшипників і підшипникового вузла, технологія їх виготовлення заздалегідь розраховані на експлуатацію в заданих умовах.

З метою збільшення ресурсу коробок КСА-2(3) необхідно застосовувати підшипники та шестерні підвищеної довговічності або виконувати їх заміну під час ремонту на підшипники та шестерні першої категорії. Це дає можливість збільшення

встановленого ресурсу КСА-2(3) без збільшення міжремонтного ресурсу.

Під довговічністю підшипників згідно з ГОСТ 520-55 розуміють термін в робочих годинах, протягом якого не менше 100 відсотків даної партії відпрацьовують при однакових умовах випробувань без проявлення ознак втоми матеріалу, тобто без викришування металу на робочих поверхнях деталей у вигляді раковин або його відшарування [3].

Довговічність при 100-відсотковому рівні надійності, яка виражена в годинах, визначається залежністю:

$$L_{10h} = \frac{1 \cdot 10^6}{60 n} \left( \frac{C}{P} \right)^q,$$

де  $n$  – частота обертання, об/хв.;  $C$  – динамічна вантажопідіймальність підшипника (із каталогу), кН;  $P$  – еквівалентне навантаження, кН;  $q$  – показник степеня (для шарикопідшипників  $q=3$ ).

Еквівалентне навантаження залежить від типу підшипника, характеру його силового навантаження і визначається:

$$P = V F_r K_B K_T,$$

де  $V$  – коефіцієнт обертання;  $F_r$  – радіальна реакція опори, кН;  $K_B$  – коефіцієнт безпеки;  $K_T$  – температурний коефіцієнт.

Довговічність підшипника залежить, у першу чергу, від матеріалу, з якого виготовлені кільця і тіла кочення підшипника, від термічної обробки цих елементів та від кількості і величини змінних напруг, які сприймаються вказаними деталями.

Найбільш навантаженими зубчатими колесами коробки КСА-2(3) є:

шестерні приводу гідронасосів НП-103А;

шестерня центрального блоку;

конічна шестерня, що встановлена на вал муфти вільного ходу (МВХ).

При розрахунках шестерень на міцність проводяться розрахунки зубів на контактну витривалість та витривалість при згині. В обох випадках допустимі напруги залежать від довговічності елементів зубчастого колеса [4].

Так, допустима напруга згину, яка розраховується за формулою:

$$\sigma = \frac{\sigma_{F \lim B}}{S_F} k_{FC} k_{FL}$$

залежить від  $\sigma_{F \lim B}$  – границі витривалості зубів шестерень приводів насосів НП-103А від напруги згину,  $S_F$  – коефіцієнта безпеки,  $k_{FC}$  – коефіцієнта впливу двостороннього прикладення навантаження та  $k_{FL}$  – коефіцієнта довговічності, який враховує строк служби, режим навантаження, твердість поверхні зубів та вид механічної обробки

поверхні зубів. Коефіцієнт довговічності розраховується за формулою:

$$k_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_{FE}}} \geq 1, \text{ але } \leq 2,08 \text{ (при твердості поверхні зубів HB } \leq 350),$$

де  $N_{FO} = 4 \cdot 10^6$  - базове число циклів змінних напруг;  $N_{FE}$  - еквівалентне число циклів зміни напруг, що залежить від режиму навантаження, розраховується за формулою:

$$N_{FE} = 60 \cdot n \cdot c \cdot t,$$

де  $n$  - частота обертання колеса, для якого визначається  $\sigma_{FR}$ , об/хв.;  $c$  - число зачіплювань зуба за один оберт колеса;  $t$  - число годин роботи передачі за розрахунковий ресурс.

З метою продовження ресурсу коробки КСА-2(3) необхідно визначити, які шестерні обмежують її ресурс. Для цього необхідно знати місце встановлення та умови роботи цих шестерень.

Так, шестерні приводу гідронасосів НП-103А працюють у досить складних умовах циклічного навантаження.

Покажемо це на прикладі аналізу статичної характеристики гідронасосу зі змінною продуктивністю (рис.1). При порівняно постійному тиску гідрорідини її витрата через насос змінюється у досить широкому діапазоні і становить на режимі мінімальної продуктивності  $(0,05 \dots 0,10) Q_{max}$ .

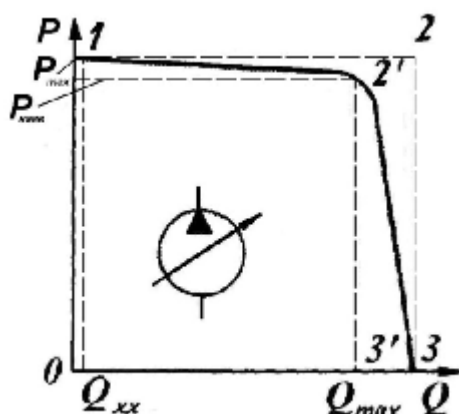


Рис. 1. Статична характеристика гідронасосу змінної продуктивності

Таким чином, у залежності від роботи того чи іншого виконавчого пристрою літака, витрата гідрорідини змінюється від мінімального до максимального значення багаторазово протягом усього польоту. Це, в свою чергу, впливає на повну наявну потужність гідронасосу, яка обчислюється за формулою:

$$N_{max} = Q_{max} \cdot p, \text{ кВт}$$

де  $Q_{max}$  - максимальна витрата гідрорідини,  $m^3/s$ ;  $p$  - тиск робочої рідини, МПа.

Потужність насосу передається на шестерні приводу насосу і вони сприймають циклічні навантаження, які впливають на їх довговічність та ресурс. У зв'язку з цим, для продовження ресурсу коробкам КСА-2(3) необхідно встановлювати шестерні, які розраховані на таку кількість циклів зміни напруг, яка буде витримувати змінні режими навантаження протягом збільшеного ресурсу.

У досить складних умовах працюють конічні зубчасті передачі, шестерні яких зв'язані з кутовими приводами двигунів і жорстко закріплені з ведучим валом МВХ.

Умови зачеплення таких шестерень менш сприятливі, ніж циліндричних коліс, так як звичайно одне із конічних коліс розташовують консольно (пересічення осей перешкоджає розміщенню опор). При цьому збільшується нерівномірність навантаження по довжині зуба. У конічному зачепленні діють осьові сили, наявність яких ускладнює конструкцію опор. Усе це приводить до того, що навантажувальна здатність конічної передачі складає 0,85 (за досвідними даними) від допустимого навантаження еквівалентної циліндричної передачі.

У зв'язку з тим, що конічна шестерня встановлюється на ведучому валу МВХ, вона також сприймає всі навантаження вузла передачі крутного моменту. Робота ж цього вузла пов'язана з ударним заклинюванням і буксуванням (просковзуванням) ведучої ланки муфти відносно веденої у напрямі передачі крутного моменту при запуску двигунів на землі та роботі в польоті.

Як і при розрахунках циліндричних шестерень, при визначенні допустимих напруг згину та допустимих контактних напруг елементів конічних шестерень ураховується коефіцієнт довговічності, який залежить від еквівалентного числа циклів. У свою чергу, еквівалентне число циклів визначається числом годин роботи передачі за розрахунковий ресурс. Таким чином, для забезпечення збільшення ресурсу коробок КСА при ремонті на авіаремонтному підприємстві, необхідно встановлювати конічні шестерні, які розраховані на еквівалентне число циклів при роботі на збільшений ресурс.

Ще одним важливим конструктивним елементом, що обмежує ресурс коробки КСА-2(3) є вузол передачі обертального руху від коробки двигунових агрегатів (далі – КДА) до коробки передач при роботі двигунів і для передачі обертального руху від турбостартера-енерговузла ГТДЕ-117, який встановлено на коробці передач, до КДА при запуску двигунів.

Найбільш критичним місцем цього вузла є ресора в кінематичному ланцюгу зі слабкою ланкою. У випадку заклинювання ротора двигуна або його руйнування вказана ресора має можливість "зрізатись" і таким чином захистити коробку передач від руйнування. У всіх інших випадках ресора повинна забезпечити встановлений ресурс коробки КСА-2(3). При збільшенні встановленого ресурсу коробки КСА-2(3) вказану ресору необхідно розраховувати на додаткові циклічні навантаження, які зазнають на собі конічні шестерні МВХ.

Таким чином, деталями та вузлами, що обмежують ресурс коробок літакових агрегатів КСА-2(3) є:

- підшипники фрикційних муфт та опор шестерень приводів насосів НІ-103А;
- шестерні приводів насосів НІ-103А;
- конічна шестерня, яка встановлена на вал МВХ;
- шестерня центрального блоку;
- елементи фрикційної муфти;
- ресора в кінематичному ланцюгу із слабкою ланкою.

З метою визначення найбільш навантажених експлуатаційних режимів роботи КСА-2(3), на які необхідно розраховувати при розробці програми еквівалентних

тривалих стендових випробувань, проводиться аналіз за даними формулярів КСА-2(3) в експлуатуючих частинах по визначенню кількісних характеристик режимів роботи коробок за ресурс 500 годин.

Так, за статистичними даними, наробіток КСА-2(3) з приводом від двигуна на режимах "Максимал" і "Форсаж" на землі і в польоті складає у середньому 7,25 %. За ресурс 500 годин це відповідає 36 годинам 15 хвилинам. Крім того, за статистичною оцінкою 1 година роботи КСА-2(3) відповідає 4 запускам. За ресурс 500 годин це становить 2000 запусків.

Формування програм еквівалентних випробувань КСА-2(3) базується на методиці розрахунку коефіцієнта запасу довговічності елементів коробки, що працюють на різних режимах, і який визначається:

$$K_{\tau_{\text{екв}}} = \frac{\tau_{\text{гран}}}{\tau_{\text{екв}}},$$

де  $\tau_{\text{гран}}$  – час до руйнування елементів КСА-2(3) при напруженнях режиму приведення. В якості режиму приведення приймається режим з максимальною частотою обертання, що є найбільш пошкоджуючим;  $\tau_{\text{екв}}$  – час роботи коробки на режимі приведення, який за пошкодженням буде еквівалентний наробітку коробки на всіх режимах на протязі ресурсу.

Сумарне (еквівалентне) пошкодження за ресурс складає:

$$P_{\text{екв}} = \sum_{i=1}^N \Delta P_i.$$

Гіпотеза, що застосовується, про лінійне підсумовування пошкоджень, припускає для розрахунку еквівалентної пошкоженості алгебраїчне сумування розрахункових значень пошкоджень деталей на окремих режимах.

При такому підході пошкодження на кожному  $i$ -му режимі за ресурс складає:

$$\Delta P_i = \frac{\tau_i}{\tau_{i \text{ руйн}}},$$

де  $\tau_i$  – тривалість роботи двигуна на  $i$ -му режимі за ресурс;  $\tau_{i \text{ руйн}}$  – час до руйнування елемента при роботі на  $i$ -му режимі (розрахункова).

Для кожного режиму, за умови забезпечення запасів міцності, рівних запасу міцності на режимі приведення, еквівалентний час роботи на режимі приведення:

$$\tau_{\text{екв}} = \tau_{\text{пр}} + \sum_{i=2}^n \left( \frac{1}{K\sigma_i} \right)^m,$$

де  $K\sigma_i$  – запас міцності на  $i$ -му режимі з тривалістю  $\tau_i$  при відповідній цьому режиму частоті обертання ( $i = 1, 2 \dots$  число режимів);  $m$  – показник степені в рівнянні статичної міцності матеріалу.

При проведенні на стендах тривалих еквівалентних випробувань відтворюються умови, які забезпечують такі ж пошкодження основних деталей, які вони могли отримати при тривалій експлуатації протягом ресурсу.

Враховуючи, що розробником визначено напрацювання КСА-2(3) на режимах М+Ф сумарно 80 годин за ресурс 500 годин, при виконанні тривалих еквівалентних стендових випробувань, що проводяться з метою збільшення встановленого ресурсу,

напрацювання на режимах М+Ф збільшено до 160 годин, що дозволило зменшити сумарне напрацювання у два рази.

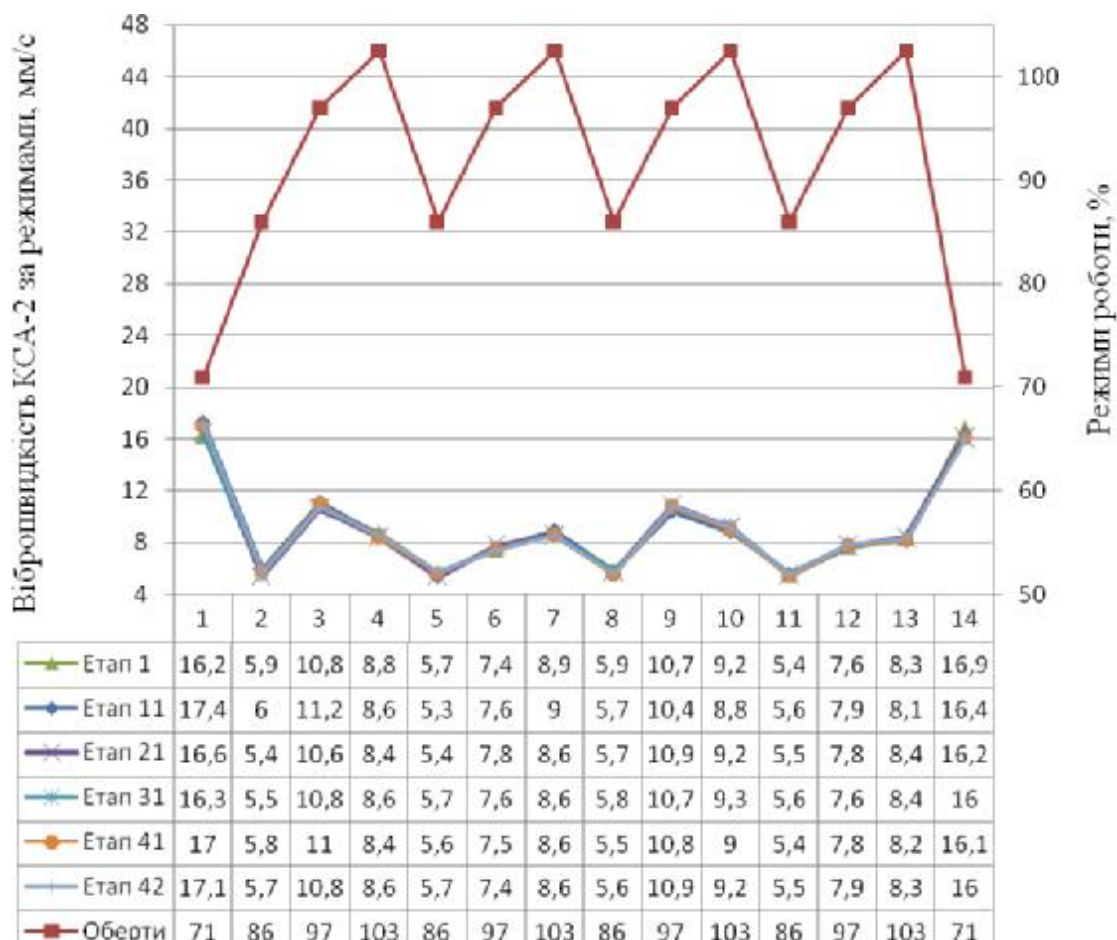


Рис. 2. Зміна рівня віброшвидкості за режимами роботи КСА-2

На режимах, що відповідають літаковим "Максимал" (96%), "Форсаж" (102,5)% по ИСТ-2, КСА-2(3) напрацювали 164 години. При цьому час роботи на вказаних режимах за один етап складав 4 години.

Тривале еквівалентне випробування проводилось в 42 етапи, по 6 годин за один етап. При цьому, загальний час напрацювання КСА-2(3) склав 252 години.

Під час довготривалих еквівалентних випробувань коробки параметри її роботи реєструвались за допомогою програми моніторингу параметрів [5]. За результатами стендових випробувань встановлено, що параметри коробки відповідали технічним вимогам.

У якості прикладу на рис. 2 наведено рівень зміни віброшвидкості за режимами роботи коробки. Так, максимальний рівень вібрації складав 17,4 мм/с, що не перевищував допустимий – 45 мм/с.

За результатами проведення аналітичних досліджень по виявленню деталей та вузлів, які обмежують ресурс коробок, досліджень технічного стану коробок, що випрацювали міжремонтний та встановлений розробником ресурси, і проведення еквівалентних тривалих стендових випробувань після виконання капітального

ремонті КСА-2(3) розроблюються розпорядчі документи (звіт, рішення, вказівка) на збільшення встановленого ресурсу коробкам.

## **ЛІТЕРАТУРА**

1. Решение № 62-03-01 "Об установлении модификации коробки самолетных агрегатов КСА-2 и КСА-3 самолета МиГ-29 ресурса до первого капитального ремонта 1000 часов и назначенного ресурса 1500 часов (КСА-2, КСА-2(3) серия 3)". М., 2001.- 4 с.
2. Звіт про результати досліджень технічного стану коробок літакових агрегатів КСА-3 з метою визначення можливості індивідуального збільшення встановленого ресурсу на 500 годин при виконанні капітального ремонту на ДП МО України "ОАРП"Одесавіаремсервіс". Київ, ДНДІА. 2009.- 49с.
3. Зайцев А.М., Коросташевский Р.В. Авиационные подшипники качения. М., Оборонгиз, 1963. - 340 с.
4. Справочник по расчету и конструированию деталей авиационных приводов. /Под редакцией Б.Н.Крживицкого. Киев., КВВАИУ. 1988. - 253 с.
5. Стенд испытательный для испытания КСА-2(3) и ГТДЭ-117. 1М125.00.000. Паспорт 1М125.00.000ПС. ГП "ОАРП" Одесавіаремсервіс". 2003. - 28с.

*Надійшла до редакції 14.11.2011*