

УДК 629.7.083

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

**КАРНАУШЕНКО В.М.**, старший науковий співробітник

**ЛЯШЕНКО В.О.**, старший науковий співробітник

## **АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОШКОДЖЕНЬ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГОЛОВНИХ ВЕРТОЛІТНИХ РЕДУКТОРІВ**

*У статті розкрито причини типових  
пошкоджень головних вертолітних  
редукторів*

*Ключові слова: головний вертолітний редуктор, відмови та  
несправності*

Досвід розробки, виробництва, капітального ремонту та подальшої експлуатації головних вертолітних редукторів свідчить про наявність великої кількості наукових, технологічних та виробничих проблем, які потребують їх ефективного розв'язку.

Особливо гостро на сьогоднішній день стоїть питання збільшення встановлених ресурсних показників головних вертолітних редукторів. Розгляд цього питання, в першу чергу, потребує проведення аналізу надійності редукторів.

Головний вертолітний редуктор представляє собою самостійний агрегат, який встановлюється на вертольотах для сумісної роботи з двома двигунами. Редуктор підсумовує потужності обох двигунів, передає її на вали несучого і хвостового гвинтів та забезпечує привід вертолітних агрегатів, які встановлені на ньому.

До найбільш механічно напружених елементів редукторів відносяться вали, зубчасті шестерні та колеса, підшипники, муфти.

Вали гвинтів навантажені крутильним і згинаючим моментами та (у випадку конічних або косозубчастих коліс) осьовою силою.

До причин пошкоджень валів редукторів слід віднести:

биття, коливання і вібрації валу, що можуть виникати із-за помилок при розрахунку при проектуванні, порушень технології виготовлення або умов експлуатації;

пошкодження валів в наслідок появи недопустимих пружних деформацій при їх розтягуванні, крученні або згинанні.

Руйнування валів, в більшості випадків, носять втомний характер і відбуваються в зоні концентрації напруги. Причинами, що викликають руйнування, можуть бути: невдалий вибір конструктивної форми деталі і неправильна оцінка впливу концентратора напруги, порушення технологічних норм під час збирання. Причиною виходу з ладу окремих швидкохідних валів можуть бути коливання.



Рис. 1. Контактні руйнування зубців, обумовлені концентрацією навантаження

виривалості або межі контактної циклічної міцності матеріалу, або при деградації властивостей матеріалу за час експлуатації.

В процесі роботи зубчастих передач можуть відбуватися наступні види відмов:

- контактні руйнування зубців по боковим поверхням (рисунок 1);
- зношення і задирки зубців по боковим поверхням;
- руйнування зубців.

Основними причинами контактних руйнувань зубців є: концентрація навантаження по довжині і профілю зубів, наявність залишкової розтягуючої напруги на робочих поверхнях зубців, несприятливі експлуатаційні викривлення профілів зубців і несприятливі дії на зубці змащуючої рідини.

Втомні руйнування зубчастих коліс (рисунок 2) з початком їх розвитку від обода виникають у випадках, коли міцність обода менша, ніж зубців, або при збудженні в тілі зубчастих коліс резонансних коливань формою з вузловими діаметрами.

До основних причин втрати працездатності підшипників кочення головних вертолітних редукторів можливо віднести [2]:

Зубчасті колеса головних вертолітних редукторів мають різну ступінь навантаження. Найбільш навантаженими є зубчасті колеса останніх ступенів редукторів, які працюють при окружних швидкостях  $V=3...20$  м/с з наробітком за ресурс  $10^7...10^8$  циклів навантаження. Найменш навантаженими є зубчасті колеса високошвидкісних передач редукторів, які працюють при окружних швидкостях  $V=40...90$  м/с з наробітком за ресурс  $10^9...10^{10}$  циклів навантаження.

Пошкодження зубчастих з'єднань є наслідком декількох причин [1]:

технологічних – пов'язаних з перевищенням відхилень розмірів деталі при її виготовленні і подальшому з'єднанні, неякісним контролем структури та якості матеріалу, особливо поверхневих шарів;

експлуатаційних – що мають місце при нештатних та аварійних навантаженнях, коли механічні напруження перевищують межу

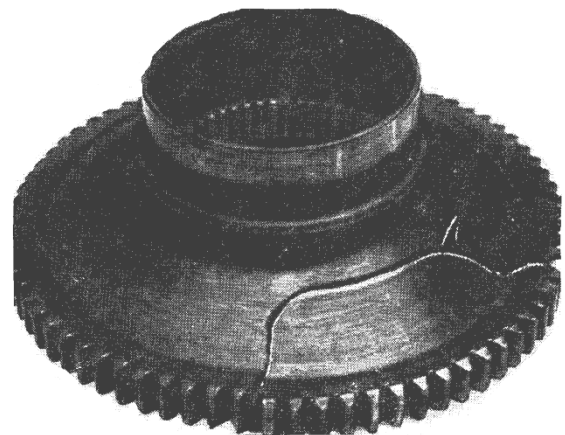


Рис. 2. Зруйнована шестерня редуктора

втомне викришування робочих поверхонь тіл кочення і доріжок кочення кілець у вигляді раковин або відшарування (осповідність) внаслідок циклічного контактного вантаження;  
 пластичні деформації (брінелювання) на доріжках кочення (вм'ятини) внаслідок дії ударних навантажень або великих статичних навантажень без обертання при коченні;



Рис. 3. Руйнування підшипників опор редуктора

задири робочих поверхонь кочення – при недостатньому змащенні або занадто малих зазорах через неправильний монтаж (рисунок 3);

абразивний знос – внаслідок поганого захисту підшипника від попадання пилю;

руйнування сепараторів – від дії відцентрових сил і впливу на сепаратор тіл кочення;

відмови підшипників за відмов систем змащування (підшипники із замкнутим об'ємом змащування та ін.) Цей вид руйнування є основною причиною втрати працездатності швидкохідних підшипників;

розколювання кілець і тіл кочення – через перекося при монтажі або при великих динамічних навантаженнях.

динамічних навантаженнях.

Відмови муфт вільного ходу мають, як правило, складний характер і можуть проявлятися у різних формах, відомих як "невключення", "ударне заклинювання", "розчіплювання" і "буксування" [3].

"Невключення" МВХ (рисунок 4, позиція 4) – відмова, що заключається в короткочасній або тривалій відсутності контакту роликів з робочими поверхнями ведучого вала і обойми на початку переміщення ведучого вала відносно обойми у напрямку передачі крутильного моменту.

Порушення контакту роликів з робочою поверхнею обойми в початковий момент періоду заклинювання можуть мати місце в результаті таких причин:

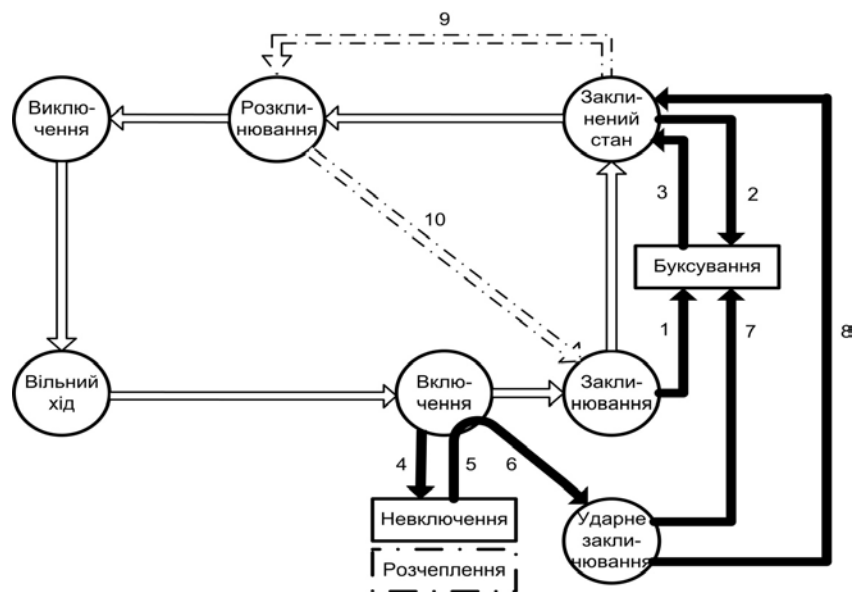


Рис. 4. Схема повного циклу роботи МВХ і можливих взаємозв'язків між різними формами відмов

дії на ролики динамічних навантажень в напрямку розклинювання;  
наявність міцної масляної плівки на контактних поверхнях деталей;  
розклинюючої дії гідродинамічних сил у шарі змащення при відносному руху робочих поверхонь деталей;  
несправності притискуючого пристрою (поломка пружин, заїдання сепаратора та ін.).

Особливістю "невключення" є те, що при цій відмові на контактних поверхнях деталей відсутні будь-які пошкодження.

"Ударне заклинювання" МВХ (рисунок 4, позиції 7,8) – є наслідком короткочасного "невключення", тобто являє собою одну з форм проявлення цієї відмови.

При "ударному заклинюванні" умови заклинювання механізму значно погіршуються і можливе його пробуксовування. Виникненню буксування МВХ при "ударному заклинюванні" сприяють також значні деформації елементів механізму, які приводять до різкого збільшення кута заклинювання. При цьому можливо також руйнування матеріалу контактних поверхонь із-за виникнення нормальних і дотичних напружень, що перевищують межу міцності матеріалу.

На схемі (рисунок 4) показано два можливих варіанта виникнення буксування внаслідок ударного характеру заклинювання:

позиція 7 позначає можливість виникнення буксування в процесі заклинювання механізму;

позиція 8 позначає можливість виникнення буксування після закінчення процесу ударного заклинювання і появи короткочасного заклиненого стану.

При ударному заклинюванні МВХ на контактних поверхнях деталей можливо виникнення пошкоджень, пов'язаних з дією нерозрахункових контактних навантажень. Ознаками ударного заклинювання МВХ є залишкові деформації в місцях контактування роликів з обоймою і ведучим валом:

лунки на ділянках зірочки і робочої поверхні обойми;

"грані" на циліндричних поверхнях роликів.

Особливістю процесу ударного заклинювання МВХ є його коливальний (циклічний) характер, обумовлений пружними властивостями кінематичного ланцюга і збудження крутильних коливань в трансмісії.

"Буксування" МВХ – відмова, яка характеризується прослизанням ведучого вала відносно обойми у напрямку передачі крутильного моменту при наявності контакту роликів з обоймою і ведучим валом.

Виникнення буксування можливо як у процесі заклинювання, так і після настання заклиненого стану. На схемі (рисунок 4) період заклинюваного стану і друга фаза періоду заклинювання зв'язані стрілками з назвою відмови (позиції 1 і 2).

Процес буксування МВХ супроводжується інтенсивним розігрівом і руйнуванням поверхонь тертя деталей муфти. При буксуванні МВХ можливі такі види пошкоджень на робочих поверхнях деталей:

пластичне відтиснення і зсув матеріалу;

наволочення, намазування матеріалу;

схоплення;  
окислення і розміщення шару металу.

При цьому найбільш характерним пошкодженням при буксуванні МВХ є виникнення лунок на робочих площадках ведучого вала і "лисок" на циліндричних поверхнях роликів.

Розчіплювання МВХ – відмова, що виникає в процесі передачі крутильного моменту і характеризується раптовим розклинюванням і виключенням МВХ, наступним її невключенням або запізненням включення.

Його виникнення обумовлено нерівномірностями крутильного моменту в трансмісії і переходом величини перемінного крутильного моменту через нульове значення, так званім "підскоком" МВХ. На рисунку 4 розклинювання МВХ у результаті виникнення умов для "підскоку" визначено позицією 9, яка з'єднує період заклиненого стану з періодом розклинювання.

Таким чином, до основних факторів, які призводять до відмов та несправностей деталей головних вертолітних редукторів відносяться:

помилки в розрахунках і проектуванні, що сприяє виникненню деформацій невірноваженості (дисбалансу) і вібрації, концентрації напружень внаслідок недостатніх радіусів сполучень, різкої зміни перерізів, наявності гострих кутів;

неправильний вибір матеріалу і режимів термічної і дефекти механічної обробки;

передісторія матеріалу, що сприяла формуванню дефектів металургійного та технологічного характеру (забрудненість металу шкідливими домішками і неметалевими включеннями та ін.);

недотримання розмірів і допусків при виготовленні деталі: дефекти при фінішній обробці поверхні (волокнистість, припіки, різнотовщинність);

помилки при монтажі, збірці і зварних роботах, які сприяють формуванню внутрішніх напружень, що за знаком збігаються з робочими;

дефекти в структурі матеріалу, що виникають при термічній обробці, отриманні покриттів і хіміко-термічній обробці;

умови роботи деталей і вузлів, що сприяють перевантаженнями аномальним напруженням, неналежний контроль та технічне обслуговування в процесі експлуатації виробів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Повышение несущей способности и диагностика состояния авиационных зубчатых передачи редукторов. Труды ЦИАМ №1059. М.: ЦИАМ, – 1983, 174 с.
2. Чечуевский В.П., Скворцов Д.Ф. Современные подходы к оценке технического состояния неразборных подшипников качения при ремонте изделий авиационной техники. Научный вестник ГосНИИ ГА. Вып. 1, – с. 89 – 93.
3. Роликовые муфты свободного хода главных редукторов вертолетов. Особенности конструкции и эксплуатации, определение причины неисправностей. Методическое пособие. Выпуск №3925. М.: УГВВС, – 1977, 112 с.