

УДК 629.7.083

ПАЩЕНКО С.В., заступник начальника інституту з наукової роботи, кандидат технічних наук, доцент

МАНУЛІН Ю.О., заступник начальника науково-дослідного відділу

БЕЛІНСЬКА Р.Б., науковий співробітник

АНАЛІЗ НАЙБІЛЬШ НЕБЕЗПЕЧНИХ ДЕФЕКТІВ НЕСУЧОГО ТА РУЛЬОВОГО ГВИНТІВ ВЕРТОЛЬОТІВ ТИПУ МИ-8, МИ-24 В КОНТЕКСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПРАВНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ ВЕРТОЛІТНОГО ПАРКУ ДЕРЖАВНОЇ АВІАЦІЇ

Визначено елементи конструкції лопатей несучого та рульового гвинтів вертольотів типу Ми-8, Ми-24, які безпосередньо впливають на безпеку польотів

Ключові слова: ресурс, строк служби, технічний стан, дефекти, пошкодження

Невід'ємною складовою авіаційного парку Збройних Сил України є вертолітні комплекси, які призначені для виконання бойових, військово-транспортних, пошуково-рятувальних та спеціальних завдань. До їх складу входять вертольоти армійської авіації Сухопутних військ, авіації Повітряних Сил та Військово-Морських Сил.

На сьогоднішній день основу вертолітного парку складають вертольоти типу Ми-8 та Ми-24. Справність зазначених вертольотів забезпечується шляхом виконання їх капітального ремонту на профільних авіаційних ремонтних підприємствах (АРП) з одночасним виконанням робіт з продовження встановлених ресурсних показників.

Разом з тим інтенсифікація бойової підготовки частин та підрозділів, а також нагальна потреба підвищення льотного вишколу екіпажів до готовності виконання ними завдань за призначенням в умовах особливого періоду призвела до зростання темпів вичерпання встановлених ресурсів, виникнення дефіциту запасних частин, агрегатів та комплектувальних виробів, які необхідні для підтримання і відновлення справності вертолітного парку Збройних Сил України.

Зазначена проблема пов'язана як з унеможливленням поставок з Російської Федерації озброєння і військової техніки, комплектувальних виробів і запасних частин та надання інших послуг військового призначення в інтересах державної авіації, так і з відсутністю дієвого механізму реалізації відповідної програми імпортозаміщення, насамперед, гостродефіцитних та ресурсолімітуючих запчастин, а саме – лопатей несучого та рульового гвинтів.

Несучий гвинт (НГ) є найважливішою частиною вертольоту та призначений для створення підйимальної сили і сили тяги, необхідних для здійснення польоту

вертольота. Крім того, за допомогою несучого гвинта проводиться управління вертольотом відносно повздовжньої і поперечної осей.

Несучий гвинт складається з п'яти лопатей і втулки, закріпленої на валу головного редуктора. Лопаті кріпляться до осевого шарніру втулки двома болтами. Вони працюють при значних і змінних по величині навантаженнях від аеродинамічних і інерційних сил. Лопаті несучого гвинта мають систему сигналізації пошкодження лонжеронів. Для захисту від обмерзання лопаті обладнані системою протизаледеніння електротеплової дії. Лопать з пресованим лонжероном зі сплаву АВТ-1 і хвостовими відсіками стільникової конструкції має прямокутну форму. Хвостові відсіки загальною чисельністю 21 розташовані між перетинами 1...22 (рис. 1). Номери відсіків співпадають з номерами перетинів по комлевих нервюрах відсіків. На кінці лопаті встановлений обтічник.

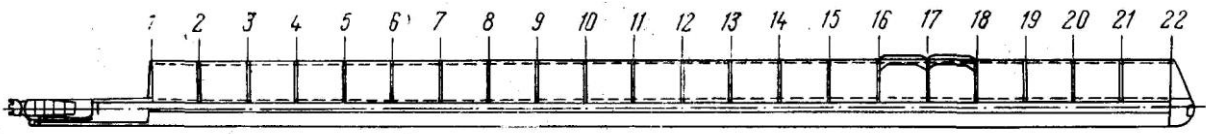


Рис. 1. Лопать несучого гвинта

Повітряний хвостовий гвинт (рульовий) із змінним у польоті кроком призначений для урівноваження реактивного моменту несучого гвинта та путьового управління вертольотом. Гвинт (рис. 2) установлений на фланці вихідного валу хвостового редуктора. Зміна кроку гвинта проводиться відхиленням педалей в кабіні екіпажа.

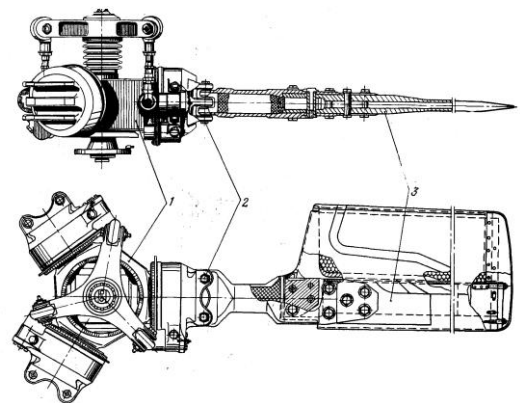


Рис. 2. Загальний вигляд та схема рульового гвинта

Рульовий гвинт (РГ) складається з втулки "1" і трьох лопатей "3", сполучених з втулкою стикувальними болтами "2". Лопаті гвинта мають нагрівальні накладки системи протизаледеніння. Лопать рульового гвинта – суцільнометалева із склопластиковою обшивкою. Основним силовим елементом лопаті є лонжерон, виготовлений з пресованого профілю, механічно обробленого до необхідного контуру. Профіль виконаний з алюмінієвого сплаву АВТ-1. До задньої стінки лонжерона приклеєна хвостова частина, яка складається із стільникового блоку і

склопластикової обшивки, виконаної з матеріалу АСТТ (б) С₁ товщиною 0,3 мм. Стільниковий блок, склеєний з алюмінієвої фольги. Соти мають форму правильного шестигранника зі стороною 5 мм. На комлевій частині лонжерона закріплений сталевий наконечник, до якого болтами прикріплений кронштейн. У середині наконечника встановлений вкладиш пінопласту. У кінцевій частині лонжерона приклепані шпильки, на яких закріплені пластини вантажу балансування. У кінцевій частині лопаті встановлена кінцева нервюра, до якої гвинтами кріпиться кінцевий обтікач, виготовлений з листового дюралюмінію. Лопать обладнана електричним нагрівальним елементом, який наклеєний зовні на носок лонжерона і вписаний в контур профілю. Від механічних пошкоджень нагрівач захищений шаром гуми і оковуванням з нержавіючої сталі.

Лопаті РГ конструктивно подібні лопатям НГ за виключенням хвостової частини, яка складається з одного відсіку та має обшивку зі склопластику.

Лопаті несучого та рульового гвинтів є одними з найбільш відповідальних (з точки зору забезпечення безпеки польотів) агрегатів вертольотів типу Ми-8 та Ми-24. Відмова (часткова чи повна втрата працездатності) лопаті в польоті приводить до виникнення підвищених вібрацій, погіршення, а в деяких випадках і до повної втрати управління вертольотом. У зв'язку з цим питання безпеки польотів вертольотів безпосередньо залежить від надійності лопатей несучого та рульового гвинтів, а саме - можливості виявлення несправностей лопатей, які можуть привести до появи негативних наслідків, як у польоті так і на землі.

Встановлення істинних причин руйнування лопатей і розробка ефективних заходів щодо їх запобігання є важливою умовою забезпечення надійності і безпечної експлуатації вертольотів.

Аналіз свідчить, що руйнування лопатей пов'язано з виникненням та поширенням тріщин від втоми в матеріалі лонжерону. В польоті на лопать діють згинальні, крутильні та зусилля розтягання, які формуються від навантажуючих динамічних сил, що виникають, в свою чергу, від обертання гвинта. Зусилля від розтягання зменшуються по довжині лопаті від її основи до закінцівки. Також одночасно з цим відбувається зменшення рівня змінного навантаження від згинання. В результаті цього в лонжероні лопаті виникають змінні по рівню зусилля від скручування та згинання. Випадки руйнування лопатей в експлуатації траплялися тільки при наявності дефектів виробництва, в вигляді закатів, а також грубих механічних пошкоджень, нанесених під час експлуатації, в тому числі в результаті корозії. Місце розміщення дефектів може бути випадковим в межах перерізу лонжерона лопаті, при цьому кожний переріз руйнування теж носить випадковий характер по довжині лопаті. Зовнішній вплив на лопать від польоту до польоту є достатньо регулярним, тому розвиток тріщини в різних перерізах може бути розглянутий як від дії постійнодіючого однотипного навантаження.

Змінні навантаження діють на лопаті практично на всіх режимах польоту, при цьому число циклів навантаження за строк служби може становити десятки мільйонів.

У цих умовах основним фактором, що визначає характер можливих відмов лопатей, є втомне руйнування елементів конструкції та їх клейових з'єднань.

Досвід експлуатації вертолітного парку свідчить, що можливими причинами несправностей та пошкоджень лопатей несучого і рульового гвинтів можуть бути:

втомне руйнування лонжерона лопаті;

розбалансування лопатей;

втомне руйнування наконечника кріплення лопаті до втулки;

руйнування і обрив хвостових відсіків лопатей;

обрив нагрівальної накладки антизаледенільної системи лопаті;

пошкодження і деформації при попаданні у гвинт стороннього предмета;

внутрішнє порушення проклеювання обшивки та елементів конструкції лопаті.

Найбільш небезпечним з них, безумовно є **руйнування лонжерона лопаті**.

Аналіз випадків пошкоджень лонжеронів лопатей різних типів вертольотів свідчить, що пошкодження лонжерона може бути наслідком не тільки розвитку тріщин втоми, але і неоднорідності матеріалу, яка виникла в процесі виробництва лонжерона та була допущена до експлуатації. Разом з тим, зниження розміру неоднорідності і зростання періоду експлуатації лопаті з неоднорідністю виробничого характеру все ж таки призводить до запізненого зародження та розвитку тріщин втоми. На подібний процес вказують і інші види пошкодження лонжеронів, такі як корозія, невеликі механічні ушкодження, засвердлювання виникаючих пошкоджень та інше, від яких мало місце запізніле зародження і уповільнений розвиток тріщин втоми.

Швидкість розвитку тріщин в сплаві АВТ-1, з якого виготовляють лонжерони лопатей, в діапазоні мінімально можливих швидкостей росту тріщин від втоми складає 10^{-10} - 10^{-8} метрів/цикл. [2]

Наприклад такий же діапазон швидкостей росту тріщини, був виявлений в лонжероні лопаті вертольота Ми-8 RA-25617.

Таким чином основною причиною втомного руйнування лонжерона лопатей є наявність концентраторів напруги, які різко знижують втомну міцність лонжерона. Як показує практика, в якості концентратора напруги виступають різного роду виробничі дефекти, а також експлуатаційні пошкодження, в тому числі за рахунок корозії.

Руйнування лонжерона і відрив частини лопаті несучого гвинта приводить, як правило, до повної втрати управління вертольотом.

Розбалансування лопатей. Важливе значення має правильне поперечне і поздовжнє балансування лопатей. При недотриманні умов балансування, як правило, виникає сильна вібрація всього вертольота, руйнування тяг і рульових машин управління шагом і руйнування лопатей. Для уникнення великих динамічних навантажень на органи управління внаслідок виникнення вимушених автоколивань з наростаючою амплітудою точка кріплення (жорсткості) лопаті до головки ротора повинна знаходитися на такій же відстані від передньої крайки, як і центр ваги лопаті. Крім того, центр ваги лопаті повинен знаходитися ближче до передньої крайки, ніж аеродинамічний фокус профілю. Для виконання останньої умови в

лопатею несучого гвинта конструктори вимушені завантажувати відповідний баласт. Вібрації гвинта вертольота можуть ще бути викликані як несоосністю лопатей, так і ваговим їх розбалансуванням.

Причинами **руйнування наконечника лопатей**, так як і лонжерона, можуть бути різного роду виробничі дефекти чи експлуатаційні пошкодження. Наприклад:

закови та інші металургійні дефекти;

фриттінг-корозія в отворах і на бокових контактуючих поверхнях провусин стикової гребінки;

пошкодження отворів у провусинах, які з'явилися при постановці стикового болта з порушенням технології, та інші механічні пошкодження.

Виникнення вище перелічених дефектів частіше всього обумовлено порушеннями технології виготовлення і виробничого контролю лопатей, а також встановлених правил технічної експлуатації.

Руйнування і обрив хвостових відсіків, а також пакету нагрівального елемента, особливо небезпечні для лопатей рульового гвинта. Внаслідок великих обертів рульового гвинта відділення від лопаті відносно невеликої маси приводить до появи неврівноваженої відцентрової сили, здатної викликати руйнування кінцевої балки або вузла кріплення хвостового редуктора за дуже короткий час і, як наслідок, втрату шляхового управління вертольота.

Характерними експлуатаційними пошкодженнями є абразивний знос відкритих поверхонь, подряпини і забоїни, що виникають внаслідок зіткнення з твердими частками, в основному при роботі вертольота на землі.

Причинами руйнування хвостових відсіків лопатей є:

руйнування клейового з'єднання обшивки зі стільниковим блоком і лонжероном;

руйнування фольги стільникового блоку;

поява і розвиток втомних тріщин в обшивці;

пошкодження відсіку від попадання сторонніх предметів.

Пошкодження і деформації при попаданні у гвинт стороннього предмета

При попаданні у гвинт сторонніх предметів характерними дефектами лопатей вертолітних гвинтів на їх металевих частинах є: порушення лакофарбового покриття, пробоїни і тріщини на обшивці, полицях нервюр і хвостовому стрингері, відставання обшивки від елементів каркаса, пошкодження оковок і обтічників. Для виявлення цих дефектів застосовують візуальний огляд. Межі місць порушень приклепки обшивки визначають дефектоскопом ИАД-2. Ці дефекти, при своєчасному виявленні, можуть бути усунені в умовах експлуатуєючих частин та не знижують надійності лопатей.

Небезпечними є і дефекти, пов'язані з **внутрішніми порушеннями клейових з'єднань обшивки та елементів конструкції лопаті**. Такі дефекти знижують

міцність конструкції лопатей, приводять до поступового руйнування обшивки, а потім і відсіків лопатей.

Слід зазначити, що причиною виникнення дефектів не завжди є конструктивні або виробничі недоліки. У ряді випадків вони є наслідком дії неврахованих чинників зовнішнього навантаження.

Виявлені дефекти на елементах конструкції лопатей не рівнозначні за своїми можливими наслідками і впливом на характеристики втомної міцності конструкції. Як вже зазначалося, найбільш небезпечними є корозійні і механічні пошкодження лонжерону, а також наконечника. Перед появою корозійних пошкоджень зазвичай відбувається пошкодження лакофарбового покриття. У випадках неякісної підготовки поверхні корозійні виразки можуть виникати і під лакофарбовим покриттям. Механічні пошкодження лонжерону особливо небезпечні у зв'язку з тим, що при виготовленні його поверхня піддається зміцненню, при цьому глибина зміцненого шару, тобто шару, де є залишкова напруга стиснення, невелика і складає 0,2...0,3 мм. Тому навіть своєчасне виявлення і усунення пошкодження, якщо глибина його з врахуванням матеріалу, що знімається при ремонті, перевищує товщину зміцненого шару, призводить до зниження втомної міцності лонжерону.

Таким чином узагальнюючи вищезазначені можливі відмови лопатей несучого і рульового гвинтів, їх можна розділити на дві основні групи:

1. Відмови, що пов'язані з руйнуванням клейових з'єднань (відрив хвостових відсіків і нагрівальних накладок).
2. Відмови, що пов'язані з втомними руйнуваннями силових елементів конструкції (лонжерона, наконечника, обшивки хвостових відсіків, деталей кріплення каркасу та інше.).

Перелічені відмови лопатей призводять до аварійної ситуації в польоті і обумовлюють необхідність проведення вимушеної посадки. В деяких випадках це призводить до авіаційної події, при цьому відрив частини лопаті несучого гвинта має, як правило, катастрофічні наслідки.

З метою запобігання появи небезпечних дефектів несучого та рульового гвинтів вертольотів типу Ми-8, Ми-24, в контексті забезпечення справності та безпеки польотів вертолітного парку, необхідно:

в умовах експлуатації проводити діагностування їх конструкції засобами неруйнівного контролю з метою виявлення місць початкової стадії зародження і розвитку мікро і макродефектів металоконструкцій та внутрішніх клейових з'єднань

На основі аналізу даних про несправності лопатей вертольотів типу Ми-8 та Ми-24 було розроблено переліки робіт, які необхідно виконувати на зазначених лопатях у період експлуатації з періодичністю 25...50 годин напрацювання. Основу даного переліку становлять роботи по контролю технічного стану лопатей (у тому числі із застосуванням засобів неруйнівного контролю).

при капітальному ремонті особливу увагу звернути на поглиблене діагностування найбільш «слабких місць» щодо появи небезпечних дефектів лопатей несучого та рульового гвинтів: **лонжерон лопаті**, а також перехідні ділянки з підвищеною концентрацією напруги (для суцільнометалевих лопатей з пресованим

лонжероном з алюмінієвого сплаву є, так званий, «типовий» відсік в середній частині лонжерона, і «комлевий» відсік з закріпленням на ньому наконечником), **наконечник лопаті та клейові з'єднання** обшивки хвостовиків лопаті з лонжероном і стільниковими наповнювачами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гудков Р.И., Лешаков П.С., Л.Г.Райков Внешние нагрузки и прочность летательных аппаратов, М.: - Оборонгиз, 1963. – 479 с.
2. А.А. Шанявский и К.В.Колыбин Влияние дефектов на зарождение усталостных трещин в лонжеронах несущих винтов вертолетов в эксплуатации. Труды ГосНИИА, 1986, вып. 250, с.75-81.

Надійшла до редакції 07.10.2015