

ОПРЕДЕЛЯНЕ ИЗТОЧНИЦИТЕ НА ВИБРАЦИИ В КОНСТРУКЦИЯТА НА ВЕРТОЛЕТА

Ангелина Чожгова

Технически университет – София, Филиал Пловдив
e-mail: angelinachozhgova@gmail.com

Ключови думи: вертолет, носещо витло, опасно витло, трансмисия, вибрации

Резюме: Вертолетът е динамична система, която е подложена на променливи натоварвания, възникващи под въздействието на различни източници на вибрации, най-големите от които са от носещото и опасно витло. Вибрациите на вертолета и на неговите елементи могат да се разделят на две основни групи: трептения в елементите на вертолета, възбуждани от двигателно-витловата група и автотрептения на вертолета на земята и в полет. В работата са определени основните източници на трептения във вертолетните конструкции, причината за тяхната поява и някои конструктивни решения за предотвратяване на появата им.

DETERMINING VIBRATION SOURCES IN THE CONSTRUCTION OF HELICOPTER

Angelina Chozhgova

Technical University – Sofia, Branch Plovdiv
e-mail: angelinachozhgova@gmail.com

Keywords: helicopter, main rotor, tail rotor, transmission, vibration

Abstract: The helicopter is a dynamic system that is subjected to variable loads resulting from the influence of various sources of vibrations, the majority of them are generated by the main and tail rotor. Helicopter vibrations and its elements can be divided into two main groups: 1. Forced vibrations on helicopter elements by the motor-rotor complex and 2. Autogenerated/self-excited vibrations of the helicopter when landed and during flight. This paper discusses the main sources of oscillations in helicopter construction, its origin and some constructive solutions to prevent it from their occurrence.

Въведение

Вертолетът е динамична система, която е подложена на променливи натоварвания, възникващи под действието на различни източници на вибрации, най-големите от които са от носещото и опасно витло [7].

Вибрациите в конструкцията водят до нежелани или дори недопустими последствия, като предизвикват повреди в устройствата, оборудването и др. Големите по стойност вибрации оказват вредно влияние върху членовете на екипажа и пътниците. В елементите от конструкцията на вертолета при вибрации възникват променливи напрежения, влияещи върху неговия ресурс. В някои случаи вибрациите на конструкцията са показателни за възникване на определени опасни явления, които могат да доведат до разрушаване на вертолета. Следователно още при проектирането и производството на вертолета трябва да се вземат мерки за намаляване нивото на вибрациите и предотвратяване на появата им в опасни стойности. За това е необходимо да знаем причините и механизма на възникване на трептенията.

В работата са определени основните източници на трептения във вертолетните конструкции, причината за тяхната поява и някои конструктивни решения за предотвратяване на появата им.

Формулиране на проблема. Типове вибрации

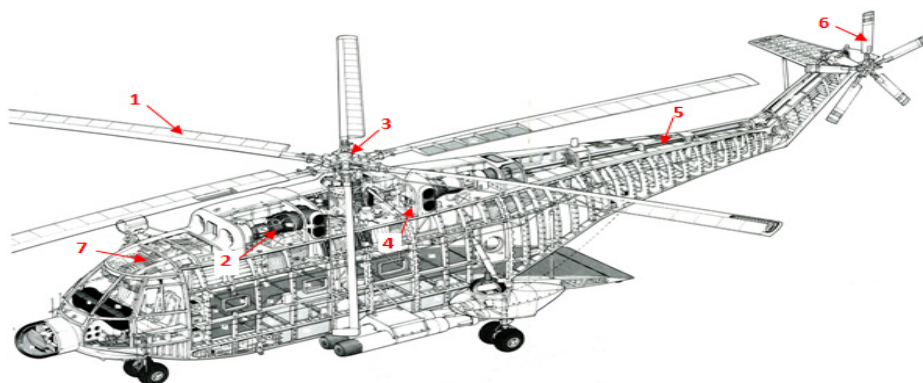
Вибрациите на вертолета и на неговите елементи могат да се разделят на две основни групи: трептения в елементите на вертолета, възбуждани от двигателно-витловата група и автотрептения на вертолета при кацане и по време на полет [1]:

- трептения в елементите на вертолета, възбуждани от двигателно-витловата група са:

- усукващи трептения на трансмисията на носещото и опашно витло, като разклонена система с голямо количество зъбни предавки;
- огъващи трептения на трансмисията, на носещото и опашно витло;
- огъващи и усукващи трептения в опашната част;
- трептения в елементите на системата за управление;
- трептения в силовата установка.

- автотрептения на вертолета на земята и в полет, включително и флатера на лопатите.

На фиг. 1. са представени основните източници на вибрации в конструкцията на вертолетите: лопатите на носещото витло (НВ), двигателите, втулката на носещото витло (ВНВ), главният редуктор (ГР), междинният редуктор (МР), опашният редуктор (ОР), опашната трансмисия, опашното витло (ОВ).

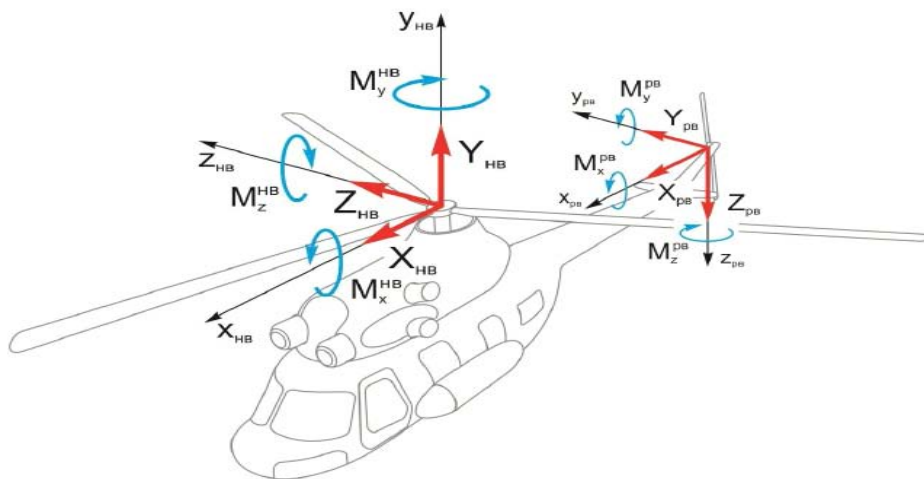


Фиг. 1. Източници на вибрации в конструкцията на вертолетите: 1 – лопати на НВ, 2 – двигател, 3 – втулка на НВ, 4 – редуктор, 5 – опашна трансмисия, 6 – опашно витло, 7 – система за управление

В конструкцията на вертолета лопатите на носещото витло предизвикват широка гама от вибрации. Другите са причинени от технологични отклонения в работата на двигателите и трансмисията, аероеластична или механична неустойчивост; възникнали от движение по неравен терен; както и самовъзбуждащи се вибрации от взаимодействието на въздуха и движението на органите за управление. Променливите фактори, действащи на конструкцията на вертолета в следствие от вибрациите на лопатите на НВ и ОВ, може да се разгледат във вид на три сили и три момента (фиг. 2)

Всички сили и моменти действащи на лопатите, се предават на втулката и системата за управление на НВ. Силите и моментите, възникващи от различните лопати, взаимно се уравновесяват, с изключение на натоварванията, действащи с честота, отношението на която към количеството обороти на витлото е кратно на броя на лопатите. Тези натоварвания се предават на тялото и на въртящите се части от системата за управление на НВ и създават в тях значителни променливи напрежения.

Силите и моментите, действащи на втулката от всяка лопата, се предават на тялото на вертолета и са причина за възникване на трептения. Освен това, вибрациите на тялото на вертолета могат да бъдат предизвикани от непосредствените аеродинамични сили, които действат на тялото от пулсиращия поток от НВ. Такива вибрации са типични за всички вертолетите, при които пораждащите се сили и моменти възникват при нормална работа на витлото в обичайни условия. Те се наричат нормално възникващи вибрации.



Фиг. 2. Сили и моменти действащи на вертолета от НВ и ОВ

Важни фактори, определящи стойността на вибрациите, се явяват броя на лопатите на витлото и отношението на честотата на възбуждащите сили с честотата на собствените трептения на тялото. Ако честота на възбуждащите сили е близка до една от собствените честоти (т. е. съществува опасност от настъпване на резонанс), то даже не големи сили предизвикват значителни трептения. Нивото на вибрациите на такива вертолети е прекомерно високо. Резонанса води не само до неприятно чувство в пътниците и екипажа, но и намалява ресурсните характеристики на конструкцията, а при особено неблагоприятни съчетания на променливите сили, действащи от страна на НВ и честотните характеристики на конструкцията, може да доведе до разрушаване на вертолета.

Лошото обтичане на части от вертолета (втулка с автомат наклонител, някои елементи от тялото) създават хаотични смущения във въздушната среда. Те въздействат на стабилизатора, опашните плоскости или опашното витло и предизвикват в тях пулсиращи аеродинамични натоварвания, които от своя страна пораждат трептения в тялото. Такъв тип вибрации се наричат бафтингови.

При производството на лопатите и в експлоатацията са възможни отделни отклонения от геометричните, еластични или теглови характеристики. Разликите в отделните лопати от комплекта, водят до това, че правилата за сумарни сили са неизпълними, т. е. непреходните хармоники стават преходни. Това предизвиква съответни вибрации. Начинът за намаляване нивото на такива вибрации е намаляване на разликите в лопатите, което се постига с извършване на различни технологични мероприятия.

На вертолета могат да възникнат автотрептения, породени от движението на шибърите от хидравличната система. Представен е пример за такива трептения. При огъване на тялото са възможни такива смущения в опорите на люлеещия механизъм от системата за управление, при които при движение на ръчката за управление се предизвиква съответното движение на автомат-наклонителя, така че предизвиква пулсираща сила на витлото. Тези пулсации могат да се предадат и на тялото.

Жизнения цикъл на вертолета се определя от ресурса на неговата трансмисия. Едно от условията, на които трябва да отговаря трансмисията за безопасна работа е отсъствие или непревишаване на допустимото ниво на шум и вибрации при всички режими на полета. Редукторът може да бъде източник за възникване на усукващи трептения на вала, т.к. при зъбните колела винаги има грешки в стъпката на зъба, както и следствие от натоварването - деформация на зъбите, от което се изменя ъгловата скорост на валовете. Намаляването на възбуждането на тези трептения може да се постигне с увеличаване точността на изработване на зъбните колела и със специална корекция на зъбния профил.

Валът на носещото витло се натоварва от сили и моменти от втулката и въртящите моменти, създавани на изхода на главния редуктор [3, 5].

За авиационните двигатели може да се определят следните основни източници за възникване на вибрации: трептения от небалансираната въртяща се маса (роторна вибрация); вибрации възбудени от зъбните елементи на редукторите; трептения в лагерните възли; собствени трептения на лопатките, дисковете, корпусите; аеродинамични трептения; вибрации възбудени от процесите в газова въздушния тракт; вибрации на агрегатите и тръбопроводите [8].

Основните трептения, подлежащи на диагностика, се явяват ниско-честотните (0,1 – 400 Hz) и средночестотните (400 - 2000 Hz) вибрации. Високочестотните (>2000 Hz) трептения обикновено се пренебрегват поради относително малкият дял от енергията пренасяна от тези трептения.



Фиг. 3. Диапазон на честотите на трептения, предизвикани от различни източници

Цялото разнообразие на трептящите процеси се представя във вид на принудителни и собствени трептения [9]. Тези два вида могат да служат като носители на информация за техническото състояние, но характера и обема на тази информация е различен. Принудителните трептения съдържат информация за качеството на изработване, ремонта, монтажа и за грубите промени на техническото състояние, граничещи с аварийна ситуация. Собствените трептения съдържат информация за наличието на дефекти в ранния стадий на развитие.

Решения на изследвания проблем

Земният резонанс е едно от най-опасните явления възникващи при експлоатацията на вертолетите. В недалечно минало е бил причина за катастрофални инциденти с вертолети, съществуват много теоретични изследвания и са предложени средства, даващи възможност да се избегне това явление. За изпълнение на практическите задачи се използват прости графики. По тези графики може да се определят диапазона на оборотите на НВ, в които е възможно възникването на самовъзбуждащи се трептения, и величината на демпфиране, необходима за избягване на опасните честоти [11].

Както показва практиката, резонансите с основни тонове на собствените трептения на тялото, да се променят на вече произведения вертолет често се оказва практически невъзможно, тъй като това е равносилно на напълно ново препроектиране на тялото, т.е. промяна на якостните характеристики в етапа на проектиране. Поради това е необходимо правилно да се оцeni честотата на собствените трептения на тялото и да се пресмята амплитудата на вибрациите още в процеса на проектиране на вертолета. Даже ако на етапа на проектиране, конструктивно-силовата схема на вертолета е избрана правилно и като цяло се характеризира с достатъчна якост е необходимо да се взимат в предвид и честотите на собствените трептения на агрегатите на вертолета, например на тягите на вертолета, валовете на трансмисията и други [4].

Съгласно проучените материали, представени в разработките на Мил, точното пресмятане на вибрациите и собствените честоти на трептене на агрегатите на вертолета с помощта на аналитични методи е възможно само в някои случаи и те основно носят качествено характер [7]. В момента при теоретичното определяне на собствените честоти на трептене на агрегатите и конструкцията на вертолета, широко се използва метода на крайните елементи, реализиран в CAD/CAE пакетни програми –ANSYS [4].

Прилагат се и други ефективни методи за намаляване нивото на вибрациите. Към тях се отнасят огъването от закрепването на витлото към тялото. Между редукторите и валовете на НВ и тялото се включват и други елементи със специално подбрани характеристики на огъване. Използват се и динамични гасители на трептенията.

От 70-те години на миналия век се пристъпва към проучване на способности за подобряване на диагностиката при търсене на откази по вертолетните трансмисии. Създават се първите обединени системи за контрол, на които първите ползватели са Военновъздушните сили на САЩ и Великобритания. В най-общ вид системата се състои от датчици и компютри, включено

в тях програмно осигуряване и аналитични методи, които заедно позволяват да се регистрират нивата на вибрациите и други параметри важни за осигуряване на контрол и оценка състоянието на системите и агрегатите на вертолета (Фиг. 4).



Фиг. 4. Система за контрол на техническото състояние на вертолетите

Контролът върху нивото на вибрациите е позволил да се получи нагледна индикация за приближаване на бъдещия отказ, като се предоставя информация за състоянието на основните възли и възможност за ранно откриване, необходима на инженерно-техническия персонал за вземане на решение за замяна [2, 6, 10].

Заклучение

В заключение можем да отбележим че прилагането на система за контрол на вибрациите по време на експлоатацията на вертолетите, които все още не са оборудвани с такава ще има следните съществени предимства:

- по-лесна диагностика на редуктора и трансмисията с цел откриване на неизправности в ранния стадий от тяхното възникване;
- контрол на положението на лопатите (определяне на съконусността) и провеждане на балансировка на носещата система на вертолета;
- диагностика на двигателя;
- определяне на оставащия ресурс на вертолета и на отделни негови агрегати и възли.

Литература:

1. А н а н ъ в, И. В., Расчет вибраций и выносливость элементов конструкции геликоптера.
2. Б а р к о в, А. В., Н. А. Б а р к о в а, А. Ю. А з о в ц е в Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. – СПб.: СПбГМТУ, 2000.
3. В л а д о в, М., Г. С о т и р о в, Д. Д о б р о в. Методика за прогнозиране на остатъчния ресурс на носещия винт на вертолета, Хемус, 2012. ISSN 1312-2916, стр. 132-138.
4. Г р е б е н и к о в, А. Г., Д. Ю. Д м и т р е н к о, И. Н. Ш е п е л ь, Анализ влияния различных типов конечных элементов на собственные частоты колебаний конструктивных элементов фюзеляжа вертолета при модальном анализе, Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии, 2013, с. 328
5. Д а л и н, В. Н., С. В. М и х е е в, Конструкция вертолетов, Издательство МАИ, Москва, 2001.
6. К л ю е в, В. В. Неразрушающий контроль и диагностика (Изд. 2-е, доп.), Справочник, Издательство: М. Машиностроение, 2003.
7. М и л я, М., Вертолеты (расчет и проектирование). т. 2. Колебания и динамическая прочность – М.: Машиностроение, 1967.
8. Турбовинтовой двигатель ТВЗ-117ВМ. Руководство по технической эксплуатации. Книга 1, 2, 3.
9. Ч и г р и н, В. С., С и м б и р с к и й Д. Ф., Б е л о г у б А. В. Виброакустика авиационных двигателей. – Х.: НАКУ "ХАИ", 2000. – 84 с.
10. Eurocopter Deutschland GmbH BK 117 C Pilots Manual Lifting System. 12/98-C, Training Center.-15p.
11. G e s s o w, A., G. M y e r s, Aerodynamics of the Helicopter, 1999.

Благодарности

Работата беше подкрепена финансово от Вътрешен проект към ТУ София за подкрепа на докторанти 142ПД0024-24/27.03.2014г.