

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВНУТРІШНІХ**  
**СПРАВ**  
**КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

з навчальної дисципліни

**«Аеродинаміка, конструкції і системи вертольотів»**

обов'язкових компонент

освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден і авіадвигунів**

272: Авіаційний транспорт

**за темою 5- Несучий та рульовий гвинти вертольоти**

**Кременчук 2022**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2022 № 8

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного  
коледжу Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 22.08.2022 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2022 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 15.08.2022 р. № 1

**Розробник:** професор навчального відділу КЛК ХНУВС, викладач циклової комісії аеронавігації, к. т. н., с. н. с., спеціаліст вищої категорії, викладач – методист, Тягній В. Г.

**Рецензенти:**

1 Головний науковий співробітник ТОВ «Науково-виробниче об'єднання» «АВІА», к.т.н., с.н.с., Зінченко В. П.

2 Професор навчального відділу КЛК ХНУВС, викладач-методист циклової комісії енергозабезпечення та систем управління, к. т. н., професор, спеціаліст вищої категорії, Гаврилюк Ю. М.

### **План лекції**

1. Загальні відомості про НГ: призначення й поставлені вимоги. Типи НГ: з жорсткою підвіскою лопатів на кардані, з ресорною підвіскою, з шарнірним кріпленням лопаті. Їх переваги та недоліки, області використання.
2. Навантаження, що діють на лопать НГ: поверхневі (аеродинамічні) й масові (інерційні), знаходження їх розрахункової величини. Розподіл по довжині лопаті, напрямом, місця докладу.
3. Типові конструкції лопатів: необхідність лонжерона, окремих відсіків,
4. Втулка НГ: призначення, класифікація та навантаження, що діють на втулку НГ. Конструктивне виконання й параметри втулки НГ з шарнірним кріпленням лопатей: корпус втулки, скоба, горизонтальний, вертикальний, та осьовий шарніри, демпфер ВШ, важіль повороту лопаті.
5. Рульовий гвинт вертольота. Загальні відомості про рульові гвинти: призначення, основні частини, особливості навантаження й роботи.
6. Конструктивне виконання РГ. Можливі несправності НГ и РГ. Особливості експлуатації.

### **Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в інтернеті**

#### Основна:

1. Бойко А.П., Мамлюк О.В., Терещенко Ю.М. «Конструкція літальних апаратів», К.: Вища освіта, 2001. – 383 с.
2. Дерев'янка І.Г «Конструкція і експлуатація вертольоту Мі-8МТВ-1. Конспект лекцій », Кременчук: КЛК НАУ, 2010.- 95 с.
3. Богданов Ю.С. та ін. "Конструкція вертольотів", К., 1990. - 287 с.

#### Допоміжна:

1. Володко А.М., Литвинов А.Л. "Основи конструкції та технічної експлуатації одногвинтових вертольотів", К., 1986. - 200 с.
2. Кузнецов А.Н. "Основи конструкції та технічної експлуатації повітряних суден", К., 1990. - 342 с.
3. Бойко А.П., Мамлюк О.В., Терещенко Ю.М. «Конструкція літальних апаратів», К.: Вища освіта, 2001. - 383 с.
4. Комаров А.А. та ін. "Конструкція і експлуатація повітряних суден", М., Транспорт, 1986. - 423 с.
5. Зайцев В.М., Рудаков В.Л. "Конструкція і міцність літаків", Київ, Вища школа, 1978. - 363 с.
6. Миртов К.Д. та ін. "Конструкція і міцність літальних апаратів

цивільної авіації", М., Машинобудування, 1991. - 326 с.

7. Матвеенко А. М. та ін. "Системи обладнання літальних апаратів", М., Машинобудування, 1986. - 283 с.
8. Домотенко М.Т. та ін. "Авіаційні силові установки". М., Транспорт, 1976. - 354 с.

#### Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. <http://klk.univd.edu.ua/uk/dir/177/biblioteka>
2. <https://ru.wikipedia.org> - енциклопедія онлайн

## Текст лекції

### ЛЕКЦІЯ 5.1

**1. Загальні відомості про НГ: призначення й поставлені вимоги. Типи НГ: з жорсткою підвіскою лопатів на кардані, з ресорною підвіскою, з шарнірним кріпленням лопаті. Їх переваги та недоліки, області використання**

**Несучий (основний) гвинт-повітряний гвинт** з вертикальною віссю обертання, що забезпечує підйомну силу гвинтокрилих літальному апарату (як правило, вертольотам), що дозволяє виконувати керований горизонтальний політ і здійснювати посадку. Основна функція такого гвинта - «нести» літальний апарат, що й відображено в назві. Також його вельми часто називають просто ротором.

Крім вертольотів, несучі гвинти є у автожирів, гвинтокрилих, конвертопланів і літаючих платформ.

Рульовий гвинт призначений для створення сили тяги, момент якої відносно центру мас вертольота врівноважує реактивний момент несучого гвинта, а також забезпечує шляховий момент управління вертольотом.

При дорожньому рівновазі вертольота момент сили тяги рульового гвинта відносно центру мас вертольота дорівнює реактивному моменту несучого гвинта.

При зменшенні або збільшенні кроку рульового гвинта, яке здійснюється за допомогою ножного управління, відповідно змінюється і тяга гвинта. Шляхове рівновагу вертольота порушується, і вертоліт розгортається вліво або вправо в залежності від того, який момент більше - реактивний момент несучого гвинта або момент тяги рульового гвинта.

При польоті на режимі самоврацання несучого гвинта, коли реактивний момент несучого гвинта відсутній, на вертоліт діє момент від сил тертя в опорах вала несучого гвинта, у напрямку збігається з напрямком обертання несучого гвинта. На цьому режимі польоту вертольота для колійного рівноваги сила тяги рульового гвинта повинна бути спрямована в протилежний бік, і момент її відносно центру мас вертольота дорівнює моменту сил тертя в опорах вала несучого гвинта. Тому рульовий гвинт - реверсивний, може використовуватися не тільки як штовхає, але і як тягне.

Рульовий гвинт є також органом статичної шляхової стійкості вертольота, так як в польоті оповітаємую гвинтом диск позитивно впливає на стійкість вертольота.

Для рівномірного розподілу тяги по диску, оповітаємую рульовим гвинтом в умовах косоного обтікання, втулка гвинта має суміщені горизонтальні шарніри

типу "кардан", що дозволяє лопатей здійснювати махові рухи відносно площини обертання втулки. Однак в результаті відхилення площині обертання рульового гвинта при махових рухах лопатей з'являється притаманна простому кардану нерівномірність обертання.

Наявність в конструкції втулки гвинта компенсатора помаху з коефіцієнтом  $K = 1$  призводить до зменшення амплітуди махових коливання лопатей і, отже, знижує нерівномірність обертання рульового гвинта. Для зміни кроку лопатей втулка гвинта має осьові шарніри. Привід рульового гвинта проводиться від головного редуктора за допомогою трансмісії.

Лопаті рульового гвинта мають протизаморожувальне пристрій електротеплового дії, що забезпечує нормальну роботу гвинта в умовах обмерзання.

Рульовий гвинт складається з втулки і трьох лопатей.

Головна відмінність несучих гвинтів від маршових гвинтів - здатність швидко змінювати загальний і / або циклічний крок. Несучий гвинт вертольота в загальних рисах складається з лопатей, втулки і шарнірів.

Система управління несучим гвинтом складається з автомата перекоосу, Сполученого з осьовими шарнірами лопатей несучого гвинта за допомогою тяг (елементів, що передають поступальний рух). Поворот лопаті в осьовому шарнірі викликає зміна кута установки лопаті.



Кут установки лопаті

*Кутом установки лопаті* називається кут між хордою лопаті і конструктивною площиною обертання. Чим більше цей кут, тим більшу підйомну силу забезпечує лопать гвинта.

Переміщення тарілки автомата перекоосу вгору / вниз вздовж вала несучого гвинта призводить до одночасної зміни кутів установки всіх лопатей, тим самим регулюється потужність гвинта і, відповідно, висота висіння (польоту) літального апарату. Дана зміна називається загальним кроком гвинта. Наклон тарілки автомата перекоосу щодо корпусу літального апарату називається циклічним кроком і дозволяє управляти апаратом в поздовжньо-поперечній площині (тангаж-крен).

Частота обертання несучого гвинта, як правило, постійна, а зміна навантаження на гвинті автоматично компенсується відповідною зміною потужності двигунів.

Існують системи управління, в яких відсутні осьові шарніри лопатей. Наприклад, в моделях радіокерованих вертольотів змінюється нахил обертання всього гвинта, а не окремих лопатей. У варіантах несучих гвинтів з сервозакрилками (сінхроптерифірма Kaman Aircraft) Змінюється кут установки закрилків, Розташованих на задній кромці лопатей.

Ділянки лопаті, розташовані ближче до осі обертання і, відповідно, що описують кола меншого радіуса, мають меншу лінійну швидкість щодо повітря і створюють пропорційно меншу підйомну силу. Для зменшення цього ефекту лопаті закручують таким чином, що її кут установки плавно збільшується в міру наближення до осі обертання, що дозволяє ділянкам з меншим радіусом обертання забезпечувати більшу підйомну силу. Крутка лопатей (різниця між кутом установки ділянок в корені і на кінці лопаті) може становити 6-12 °.

З'єднання лопатей з валом може бути шарнірним, Жорстким, напівтверді і пружним. при шарнірному і пружному з'єднанні площину обертання несучого гвинта не може бути відхилена щодо фюзеляжу вертольота, на відміну від напівтверді з'єднання.

Несучий гвинт може мати від двох до восьми лопатей. Лопаті можуть бути дерев'яними, суцільнометалевими і композитними (склопластиковими). Композитні лопаті в порівнянні з суцільнометалевими менш трудомісткі у виготовленні, мають значно більшими ресурсом, надійністю і корозійну стійкість.

Нерідко лопаті виконують порожнистими і закачують всередину лопаті газ або повітря під тиском. Падіння тиску всередині лопаті, що вимірюється спеціальним датчиком, сигналізує про її пошкодження.

Для зменшення габаритів вертольота на стоянці або при базуванні в ангарах, на авіаносних кораблях і вертольотоносців застосовуються складаються несучі гвинти. Складання може здійснюватися вручну або автоматично.

Для зниження рівня вібрації, що передається від несучого гвинта на фюзеляж, на його втулці або лопатях встановлюються митників виброгасители. Для захисту від обмерзання лопаті гвинта обладнуються проти заморозувача.

Існують різні **схеми вертольотів**. Більшість вертольотів в світі виконано за «класичною» схемою з одним несучим гвинтом і рульовим гвинтом на хвостовій балці. Існують вертольоти з двома несучими співісними гвинтами протилежного обертання, безрульового гвинта (Ка-25, Ка-27, Ка-50). Для таких машин застосовується термін «співісний несучий гвинт», при цьому розрізняють «верхній» і «нижній» гвинти.

Залежно від положення несучого гвинта в потоці повітря розрізняють два основні режими роботи: режим осьового обтікання, коли вісь втулки гвинта розташована паралельно набігаючого необуреному потоку (висіння), і режим косого обтікання, при якому потік повітря набігає на несучий гвинт під кутом до осі втулки .

Існує проект фіксованої в польоті несучого гвинта, так званий X-Wing, який встановлюється на вертольоті Sikorsky S-72.

Несучий гвинт, укладений в кільцевої канал, називають імпеллером. Така конструкція збільшує потужність гвинта і зменшує шум, проте при цьому збільшується вага несучої конструкції.

Існують також проекти несучого гвинта з дисковим крилом, наприклад «Discrotor» Фірми Boeing<sup>[4]</sup> або вертоліт Еллекаммера (англ.). У проекті «Discrotor» лопаті несучого гвинта телескопічні, під час польоту лопаті можуть забиратися всередину дискового крила.

#### Схеми кріплення лопатей

Лопаті несучого гвинта кріпляться до втулки, Вільно обертається навколо вала вертольота. Існує наступні основні види таких з'єднань.



Шарнірне з'єднання на Мі-8

При шарнірному з'єднанні, винайденому Хуаном де Ла-Сьєрва, Лопаті кріпляться до корпусу втулки послідовно через осьовий, вертикальний і горизонтальний шарніри. Завдяки шарнірному сочлененню лопатей з корпусом втулки значно знижуються змінні напрути в елементах несучого гвинта і зменшуються передаються від гвинта на фюзеляж вертольота моменти аеродинамічних сил.

Горизонтальні шарніри забезпечують можливість махового руху лопатей вгору-вниз; вертикальні дозволяють лопатей здійснювати коливання в площині обертання, що виникають під дією змінних сил лобового опору і сил Коріоліса, Що з'являються при коливаннях лопати щодо горизонтального шарніра; осьові шарніри призначені для зміни кутів установки лопатей.

Під час польоту на вертольотах з шарнірним з'єднанням можна побачити, що лопаті в повітрі описують не коло, а фігуру у вигляді воронки або конуса.





Пружне з'єднання на MBV Bo 105

Роль вертикального і горизонтального шарніра при такому з'єднанні грає пружний елемент, виготовлений з композитних матеріалів, або торсіон. Це дозволяє в порівнянні з шарнірним з'єднанням зменшити число деталей, зменшити трудомісткість обслуговування, усунути необхідність змащування і збільшити ресурс несучого гвинта в 3-10 разів. На несе гвинті з такою сполукою може бути значно підвищена ефективність управління в порівнянні з шарнірним, що сприяє збільшенню маневреності вертольота, до того ж зменшується явище «земного резонансу».



Напівтверді з'єднання лопатей вертольота фірми Bell

При такій схемі дві лопаті гвинта жорстко кріпляться до центральної втулки по типу гойдалок (коромисла): Коли одна лопать здійснює махове рух вгору, інша робить симетричне рух вниз. Льотчик, змінюючи положення ручки керування вертольотом, тим самим змінює положення всій площині обертання несучого гвинта. Вертоліт з напівжорсткою втулкою несучого гвинта має гарні характеристики керованості. Важливою перевагою такої схеми є її простота (відсутність високонавантажених підшипників в шарнірах, демпферів і відцентрових обмежувачів схилу лопатей), що полегшує і здешевлює виготовлення гвинта і обслуговування його в експлуатації. Вертольоти з напівжорсткою схемою серійно виготовляють фірми Bell Robinson.

Лопаті гвинта жорстко кріпляться до втулки, встановленої на приводному валу, з використанням тільки осьового шарніра. Така схема є найпростішою, але в той же час найбільш схильною до руйнівним вібраціям. До того ж така

схема має підвищену масою в порівнянні з шарнірним з'єднанням. Варто відзначити, що змінні навантаження на лопаті несучого гвинта в цьому випадку можуть бути зменшені за рахунок гнучкості самих лопатей.

Жорстке з'єднання застосовується в повітряних гвинтах літаків до винаходу Хуаном де Ла-Сьєрва шарнірного з'єднання використовувалося на всіх експериментальних вертольотах початку 20-го століття. В даний час таке з'єднання можна знайти в несучих гвинтах гелікоптера Sikorsky X2.

## **2. Навантаження, що діють на лопать НГ: поверхневі (аеродинамічні) й масові (інерційні), знаходження їх розрахункової величини. Розподіл по довжині лопаті, напрямом, місця докладу**

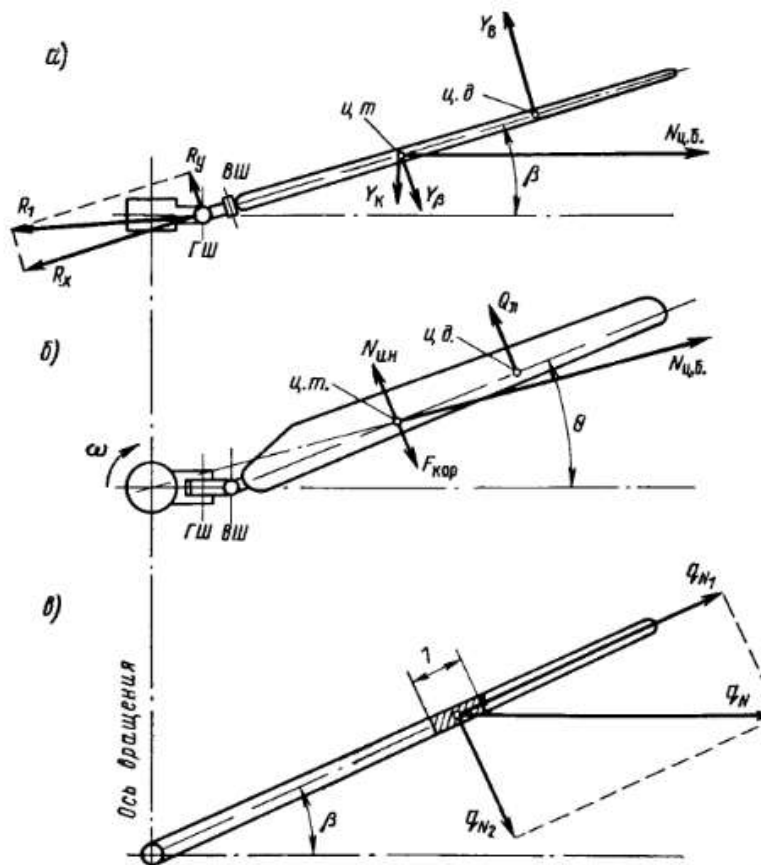
У польоті лопаті навантажуються повітряними і масовими (інерційними) силами. Для спрощення уявлення про розподіл навантажень їх можна розділити на дві групи:

Навантаження, які діють в площині найменшої жорсткості лопаті в площині помаху (рисунк 1.12, а). До них відносяться: повітряна навантаження  $Y$  в; навантаження від ваги конструкції лопаті  $Y$  до; відцентрова сила  $N_{цб}$  а також інерційна сила  $Y \beta$  від кутового прискорення при маховому русі лопаті щодо горизонтального шарніра. Врівноважуються ці навантаження реакцією  $R$  втулки в горизонтальному шарнірі;

Навантаження, які діють в площині обертання гвинта (рисунк 1.12, б). До них відносяться: лобове опір  $Q_a$  (направлено проти обертання, по дотичній до окружності, яку описує центр тиску лопаті); інерційна сила  $N_{ін}$  від коливань щодо вертикального шарніра (дає момент, спрямований протилежно кутовому прискоренню); відцентрова сила  $N_{цб}$ , і коріолісова сила  $F_{кор}$ . від махового руху лопаті відносно горизонтального шарніра.

Для міцності лопаті найбільш істотними є навантаження забезпечують рівновагу моментів щодо горизонтального шарніра і діючі в площині її найменшої жорсткості - площині помаху.

Величина і розподіл погонних навантажень за розмахом лопаті залежать від ряду факторів: аеродинамічних характеристик профілю, установочного кута, форми лопаті в плані, крутки лопаті і швидкості потоку, її обтікає, від азимутального положення лопаті. Останній фактор призводить до того, що на відміну від крила літака на одному і тому ж режимі польоту величина і розподіл навантаження по розмаху лопаті циклічно змінюються.



Малюнок 1.12 - Сили, що діють на лопать гвинта, де а - в площині помаху; б - в площині обертання гвинта; в - складові погонної відцентрової сили

Величина повітряної навантаження, що припадає на одну лопать, визначається за

$$Y_B = \frac{fn^3 G}{z} = \frac{n^p G}{z}, \quad (1.1)$$

де  $n^p$  - експлуатаційна перевантаження;  $n^p$  - розрахункова руйнує перевантаження;  $G$  - вага

вертольота;  $z$  - число лопатей несучого гвинта;  $f$  - коефіцієнт безпеки.

Масові навантаження представлені навантаженням від ваги лопаті  $Y$  до і відцентровою силою  $N_{cb}$ .

(1.3)

$$N_{cb} = f \frac{G}{g} r_{cm} \omega^2, \quad \text{де } r_{cm} - \text{радіус центра ваги, } \omega - \text{кутова швидкість обертання НВ.}$$

Погонні масові навантаження від ваги лопаті  $q_k$  і відцентрової сили  $q_N$ .

При розрахунках погонну навантаження  $q_N$  розкладають на дві складові, які діють вздовж і перпендикулярно осі лопаті в площині її найменшої жорсткості

Під дією  $q_{N1}$  лопать працює на розтяг,  $q_{N2}$  є поперечним навантаженням лопаті, що розвантажує її від дії аеродинамічних сил.

Інерційна навантаження від махового руху лопаті відносно горизонтального шарніра

Розподіл цих сил по радіусу лопаті залежить не тільки від  $r$  і  $q_l$ , але і від положення лопаті по азимуту (співмножник  $d^2\beta / dt^2$ ).

Загальна погонна навантаження  $Q_y$  дорівнює сумі всіх погонних навантажень

$$q_y = q_{ye} - q_{yk} - q_{N2} - q_{\beta}. \quad \text{Під дією повітряних і масових сил в перетинах лопаті виникають зусилля: поперечні } Q \text{ і осьові } N \text{ сили,}$$

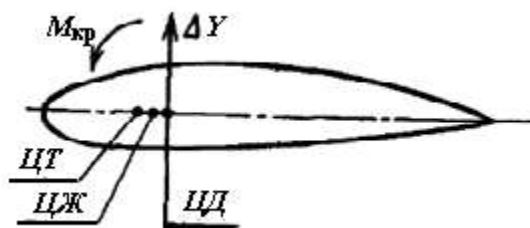
згинальні Мізг. і крутний Мкр моменти.

Практично інтегрування можна замінити підсумовуванням, розбиваючи лопать на ряд ділянок довжиною  $\Delta r$ .

Аналіз розрахунків показує, що максимальні значення згинальних моментів виходять на відстані (0,35 - 0,5) R від осі обертання.

У загальному випадку центр жорсткості (ЦЖ), центр ваги (ЦТ) і центр тиску (ЦД) на профілі не збігаються (рисунок 1.13) і з'являється крутний (шарнірний) момент Мкр, який діє щодо осі жорсткості лопаті, практично збігається з віссю осьового шарніра.

Сили і шарнірний момент, що діють на лопать, являють собою суми окремих гармонійних складових (гармонік), кожна з яких змінюється з певною частотою, кратною частоті обертання НВ.



Малюнок 1.13 - Виникнення крутного

$$M_{кр} = \int_r^R m dr,$$

$$m = q_{у\epsilon}(x_{Д} - x_{ж}) + (q_{у\kappa} + q_{N2})(x_{ж} - x_{Т}).$$

моменту

(1.13)

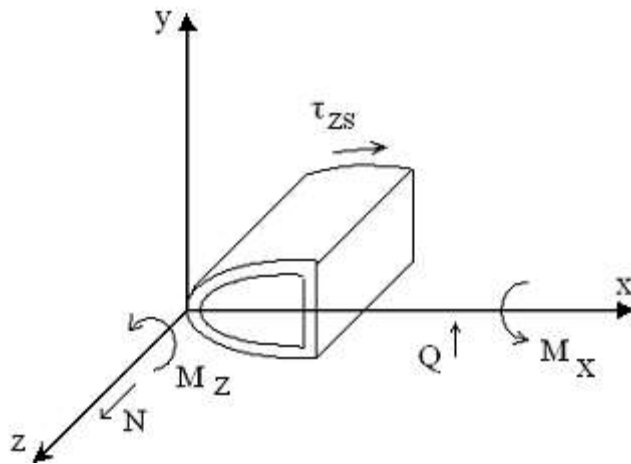
де ХД, Хж, хт - координати центру тиску, центру жорсткості і центру тяжіння відносно носка профілю відповідно.

Від аеродинамічних і інерційних сил в перетині лонжерона лопаті виникає рівнодіюча сила і момент. Сила може бити розкладена на три компонента. Два з них є поперечними силами в площині перетину уздовж двох взаємно перпендикулярних осей, одну з яких можна наближено вважати збігається з хордою профілю. Третім компонентом є осьова сила N (уздовж осі лопаті). Момент складається з згинальних моментів в площині помаху і площини обертання і крутного моменту.

Так як поперечні сили значення не мають, то вони не розглядаються.

Осьова сила практично дорівнює відцентровій, що виникає внаслідок обертання гвинта. Вона викликає розтягнення лонжерона. У зв'язку з тим, що відцентрова сила  $N_{цб}$  має велику величину (десятки тонн), в поперечному перерізі лонжерона з'являються великі нормальні напружки. Вони практично не змінюються за величиною, тому є статичною підвантаженням, яка може викликати зниження довговічності. З урахуванням цього при проектуванні вибирають площа поперечного перерізу лонжерона. Від крутного моменту в перерізі лонжерона виникають дотичні напруження, що не роблять помітного впливу на ресурс. Виняток може скласти комльовая частина лопаті з

композиційних матеріалів через наявність отворів для кріплення наконечника. Крутний момент окоренкові частини лопаті передається на систему управління і визначає її міцність [1].



На малюнку 1.14 представлена схема розподілу сил і моментів щодо перетину лонжерона.

Малюнок 1.14 - Розподіл сил і моментів в лонжероні, де  $N$  - відцентрова сила,  $Q$  - поперечна сила,  $M_z$  - крутний момент,  $M_x$  - ізгибаючий момент

Найбільше для ресурсу значення мають згинальні моменти. Вони є змінними за часом і викликають в перерізі лонжерона поява змінних нормальних напружень, що визначають ресурс лопаті. Головними розрахунковими характеристиками є величини поздовжньої сили і крутного моменту, так як приймається допущення про те, що при обертанні лонжерон, навантажується великий відцентровою силою, розтягується і випрямляється, за рахунок чого лопать частково розвантажується від згинальних сил.

### **3. Типові конструкції лопатів: необхідність лонжерона, окремих відсіків, вузлів кріплення, тримерних пластин. Перевірка цілості лонжерона**

Лопаті несучого гвинта вертольота треба побудувати так, щоб вони, створюючи необхідну підйомну силу, витримували всі виникаючі на них навантаження. І не просто витримували, а мали б ще запас міцності на всякі непередбачені випадки, які можуть зустрітися в польоті і при технічному обслуговуванні вертольота на землі (наприклад, різкий порив вітру, висхідний потік повітря, різкий маневр, обмерзання лопатей, невідома розкрутка гвинта після запуску двигуна і т. д.).

Одним з розрахункових режимів для підбору несучого гвинта вертольота є режим вертикального набору на будь-який обраної для розрахунку висоті. На цьому режимі через відсутність поступальної швидкості в площині обертання гвинта потрібна потужність має велику величину.

Знаючи приблизно вага конструйованого вертольота і здався величиною корисного навантаження, яку повинен буде піднімати вертоліт, приступають до підбору гвинта. Підбір гвинта зводиться до того, щоб вибрати такий діаметр гвинта і таке число його оборотів в хвилину, при яких би розрахунковий вантаж

міг бути піднятий гвинтом прямовисно вгору з найменшою витратою потужності.

При цьому відомо, що тяга несучого гвинта пропорційна четвертого ступеня його діаметра і тільки другого ступеня числа обертів, т. Е. Тяга, що розвивається несучим гвинтом, більш залежить від діаметра, ніж від числа обертів. Тому задану тягу легше отримати збільшенням діаметра, ніж збільшенням числа обертів. Так, наприклад, збільшивши діаметр в 2 рази, отримаємо тягу в  $24 = 16$  разів більшу, а збільшивши число оборотів в два рази, отримаємо тягу тільки в  $22 = 4$  рази більшу.

Знаючи потужність двигуна, який буде встановлений на вертольоті для приведення в обертання несучого гвинта, спочатку підбирають діаметр несучого гвинта. Для цього застосовують наступне співвідношення:

Лопать гвинта працює в дуже важких умовах. На неї діють аеродинамічні сили, які її згинають, скручують, розривають, прагнуть відірвати від неї обшивку. Щоб «протистояти» такої дії аеродинамічних сил, лопать повинна бути досить міцною.

При польотах в дощ, в сніг або в хмарах за умов, що сприяють обмерзання, робота лопаті ще більш ускладнюється. Краплі дощу, потрапляючи на лопать з величезним швидкостями, збивають з неї фарбу. При обмерзання па лопатях утворюються крижані нарости, які спотворюють її профіль, заважають її маховому руху, збільшують її. При зберіганні вертольота на землі на лопать руйнівні діють різкі зміни температури, вологість, сонячні промені.

Значить, лопать повинна бути не тільки міцною, але вона ще повинна бути несприйнятливою до впливу зовнішнього середовища. Але якби тільки це! Тоді лопать можна було б зробити суцільнометалевої, покривши її протидії корозійних шаром, і завдання було б вирішена.

Але є ще одна вимога: лопата, крім цього, повинна бути ще й легкою. Тому її виготовляють порожнистою. За основу конструкції лопаті беруть металевий лонжерон, найчастіше - сталеву трубу змінного перерізу, площа якого поступово або східчасто зменшується від кореневої частини до кінця лопаті.

Лонжерон, як головний поздовжній силовий елемент лопаті, сприймає перерізують сили і вигинає момент. В цьому відношенні робота лонжерона лопаті схожа з роботою лонжерона крила літака. Однак на лонжерон лопаті діють в результаті обертання гвинта ще відцентрові сили, чого немає у лонжерона крила літака. Під дією цих сил лонжерон лопаті піддається розтягуванню.

До лонжерону приварюються або приклепуються сталеві фланці для кріплення поперечного силового набору - нервюр лопаті. Кожна нервюра, яка може бути металевою або дерев'яною, складається зі стінок і полиць. До

металевих полицях приклеюється або приварюється металева обшивка, а до дерев'яних полицях приклеюється фанерна або пришивається полотняна обшивка або до носку приклеюється фанерна обшивка, а до хвостика пришивається полотняна, як показано. У носовій частині профілю полки нервюр кріпляться до переднього стрингеру, а в хвостовій частині - до заднього стрингеру. Стрингери служать допоміжними поздовжніми силовими елементами.

Обшивка, що покриває полки нервюр, утворює собою профіль лопаті в будь-якому її перетині. Найбільш легкої є полотняна обшивка. Проте, щоб уникнути спотворення профілю в результаті прогину полотняною обшивки на ділянках між нервюрами, нервюри лопаті доводиться ставити дуже часто, приблизно через 5-6 см одна від одної, що ускладнює лопать. Поверхня лопаті з погано натягнутою полотняною обшивкою виглядає ребристою і має низькі аеродинамічними якостями, так як її лобове опір велике. У процесі одного обороту профіль такої лопаті змінюється, що сприяє появі додаткової вібрації вертольота. Тому полотняна обшивка просочується аеролаком, який у міру свого висихання сильно натягує полотно.

При виготовленні обшивки з фанери жорсткість лопаті збільшується і відстань між нервюрами може бути збільшено в 2,5 рази в порівнянні з лопатями, обтягнутими полотном. Для того щоб зменшити опір, поверхня фанери гладко обробляється і полірується.

Хороших аеродинамічних форм і великий міцності можна домогтися, якщо виготовити порожню суцільнометалеву лопать. Труднощі її виробництва полягає в виготовленні змінного по перетину лонжерона, який утворює носову частину профілю. Хвостова частина профілю лопаті виготовляється з листової металевої обшивки, яку передніми крайками заподлицю приварюють до лонжерону, а задні кромки склепуваної між собою.

Профіль лопаті гвинта вертольота вибирається з таким розрахунком, щоб при збільшенні кута атаки зрив обтікання виникав на можливо великих кутах атаки. Це необхідно для того, щоб уникнути зриву обтікання на відступаючій лопаті, де кути атаки особливо великі. Крім того, щоб уникнути вібрацій профіль треба підібрати такий, у якого б при зміні кута атаки не змінювалося положення центру тиску.

Дуже важливим фактором для міцності і роботи лопаті є взаємне розташування центру тиску і центра ваги профілю. Справа в тому, що при спільній дії вигину і крутіння, лопать схильна самозбуджується вібрації, т. Е. Вібрації з дедалі більшою амплітудою (флаттеру). Щоб уникнути вібрації лопать повинна збалансовуватися щодо хорди, т. Е. Має бути забезпечене таке положення центра ваги на хорді, яке виключало б самозростання вібрації.

Завдання балансування зводиться до того, щоб у побудованій лопаті центр ваги профілю знаходився попереду центру тиску.

Продовжуючи розглядати важкі умови роботи лопаті несучого гвинта, необхідно відзначити, що пошкодження дерев'яної обшивки лопаті краплями дощу може бути припинено, якщо уздовж її передньої кромки зміцнити листову металеву окантовку.

Боротьба ж з обмерзанням лопатей є більш складне завдання. Якщо такі види обмерзання в польоті, як іній і паморозь, на велику небезпеку для вертольота не уявляють, то склоподібний лід, поступово і непомітно, але надзвичайно міцно нарощувати на лопаті, призводить до обваження лопаті, спотворення її профілю і, в кінцевому рахунку, до зменшення підйомної сили, що призводить до різкої втрати керованості і стійкості вертольота.

Існуюча у свій час теорія про те, що лід внаслідок махає руху лопатей буде в польоті сколюватися, виявилася неспроможною. Обледеніння лопаті починається раніше всього у кореневій частині, де вигин лопаті при її махають русі невеликий. Надалі шар льоду починає поширюватися все далі до кінця лопаті, поступово сходячи нанівець. Відомі випадки, коли товщина льоду у кореневій частині досягала 6 мм, а у кінця лопаті - 2 мм.

## ЛЕКЦІЯ 5.2

**4. Втулка НГ: призначення, класифікація та навантаження, що діють на втулку НГ. Конструктивне виконання й параметри втулки НГ з шарнірним кріпленням лопатей: корпус втулки, скоба, горизонтальний, вертикальний, та осьовий шарніри, демпфер ВШ, важіль повороту лопаті**

Втулка несучого гвинта призначена для передачі лопатей крутного моменту від головного редуктора, а також для сприйняття і передачі на фюзеляж сил і моментів, що виникають на несучому гвинті.

Втулка несучого гвинта включає в себе основні конструктивні вузли:

- корпус втулки;
- скоби;
- цапфи;
- корпуси осьових шарнірів;
- важелі повороту лопатей;
- ЦГЗ (в проушинах скоб);
- гідравлічні демпфери ВШ.

Корпус втулки виготовлений з високоміцної легированої сталі. Являє собою литу деталь з внутрішніми евольвентними шлицями для установки на вал головного редуктора. На валу корпус центрирується двома конусами: нижнім - бронзовим розрізним і верхнім - сталевим, що складається з двох половин.



Шліци змащуються мастилом НК? 50. Весь пакет стягується гайкою за допомогою спеціального гідравлічного ключа і контр штифтами.

Корпус має п'ять (за кількістю лопатей) широких вушок, що лежать в одній площині під кутом 72° друг до друга. Середини вушок зміщені у напрямку обертання на 45 мм уздовж осі горизонтального шарніра. Вушка в поєднанні зі скобою утворюють горизонтальні шарніри. Для заправки і зливу масла з шарніра в корпусі втулки є отвори, що закриваються пробками. Верхні пробки використовуються також як вушка при знятті втулки.

У верхній частині корпусу є фланець, до якого шпильками кріпиться бачок гідродемпферів вертикальних шарнірів, а в нижній частині - отвір під штифт фіксації кронштейна сережки повідця тарілки автомата перекосу.

На кожній вушці виконані припливи, що утворюють з приливами скоб верхні і нижні упори, які обмежують махові руху лопатей. Нижні упори виконані знімними, що дозволяє проводити їх заміну в експлуатації в разі появи дефектів (наклепу).

Скоба є литу деталь коробчатого перетину з двома парами взаємно-перпендикулярних майданчиків. Майданчики вушка призначені для з'єднання скоби з корпусом втулки і з цапфою осевого шарніра. З'єднання з корпусом втулки утворює горизонтальний шарнір, а з цапфою - вертикальний шарнір. У середині скоби монтуються деталі відцентрового обмежувача схилу, а в нижній її частині виконані вушка для осі собачки відцентрового обмежувача схилу.

Цапфа осевого шарніра являє собою сталеву поковку, що складається з головки і хвостовика з нарізним ділянкою на кінці. У голівці є центральна розточування для монтажу підшипників вертикального шарніра. Крім того, на голівці виконані упори, що обмежують коливання лопатей в площині обертання і два кронштейна для кріплення демпфера вертикального шарніра. На хвостовику монтуються і потім стягуються гайкою деталі осевого шарніра.

Горизонтальний шарнір призначений для розвантаження окоренкові частини лопаті від змінного згинального моменту шляхом забезпечення можливості коливань лопаті у вертикальній площині.

Горизонтальний шарнір утворений зчленуванням вушок корпусу втулки і вертикальними вушками скоби. У конструкцію входять також:

- палець;
- два голчастих підшипника;
- завзяте кільце;
- дві бронзові шайби;
- деталі ущільнення.

## **5. Рульовий гвинт вертольота. Загальні відомості про рульові гвинти: призначення, основні частини, особливості навантаження й роботи**

**Рульовий гвинт** призначений для створення сили тяги, момент якої відносно центру мас вертольота врівноважує реактивний момент несучого гвинта, а також забезпечує шляховий момент управління вертольотом.

При дорожньому рівновазі вертольота момент сили тяги рульового гвинта відносно центру мас вертольота дорівнює реактивному моменту несучого гвинта.

При зменшенні або збільшенні кроку рульового гвинта, яке здійснюється за допомогою ножного управління, відповідно змінюється і тяга гвинта. Шляхове рівновагу вертольота порушується, і вертоліт розгортається вліво або вправо в залежності від того, який момент більше - реактивний момент несучого гвинта або момент тяги рульового гвинта.

При польоті на режимі самоврацання несучого гвинта, коли реактивний момент несучого гвинта відсутня, на вертоліт діє момент від сил тертя в опорах вала несучого гвинта, у напрямку збігається з напрямком обертання несучого гвинта. На цьому режимі польоту вертольота для колійного рівноваги сила тяги рульового гвинта повинна бути спрямована в протилежний бік, і момент її відносно центру мас вертольота дорівнює моменту сил тертя в опорах вала несучого гвинта. Тому рульовий гвинт - реверсивний, може використовуватися не тільки як штовхає ВІШ, але і як штовхає.

Рульовий гвинт є також органом статичної шляхової стійкості вертольота, так як в польоті сметани гвинтом диск позитивно впливає на стійкість вертольота.

Для рівномірного розподілу тяги по диску, сметана рульовим гвинтом в умовах косого обтікання, втулка гвинта має суміщені горизонтальні шарніри типу «кардан», що дозволяє лопатей здійснювати махові рухи відносно площини обертання втулки. Однак в результаті відхилення площині обертання рульового гвинта при махових рухах лопатей з'являється притаманна простому кардану нерівномірність обертання.

Наявність в конструкції втулки гвинта компенсатора помаху з коефіцієнтом  $K = 1$  призводить до зменшення амплітуди махових коливання лопатей і, отже, знижує нерівномірність обертання рульового гвинта. Для зміни кроку лопатей втулка гвинта має осеві шарніри. Привід рульового гвинта проводиться від головного редуктора за допомогою трансмісії.

Лопаті рульового гвинта мають протиаморожувальне пристрій електротеплового дії, що забезпечує нормальну роботу гвинта в умовах обмерзання. Напрямок обертання за годинниковою стрілкою, якщо дивитися на вертоліт з боку рульового гвинта.

Втулка рульового гвинта призначена для кріплення лопатей рульового гвинта і повідомлення їм крутного моменту від валу хвостового редуктора, а також для сприйняття аеродинамічних сил і моментів, що виникають при зміні кроку рульового гвинта, і передачі їх через редуктор на кінцеву балку.

Втулка рульового гвинта складається з наступних основних вузлів:

- маточина з фланцем кріплення до валу хвостового редуктора;
- кардан, що включає в себе траверсу, корпус кардана і корпус втулки;
- осьові шарніри, що забезпечують поворот лопатей при зміні кроку рульового гвинта;
- поводок з повзуном і тягами повороту лопатей.

мастило втулки:

1). Осьової шарнір:

- МС-20 при температурах зовнішнього повітря (ТН) вище  $+5^{\circ}\text{C}$  (допускається короткочасне до 10 діб зниження ТН до  $-10^{\circ}\text{C}$ );
- МС-14 при ТН =  $-15^{\circ}\text{C}$  +  $+5^{\circ}\text{C}$  (можливо СМ-12);
- ВНДІ НП-25 (СМ-10) при стійких низьких ТН =  $-50^{\circ}\text{C}$  +  $+5^{\circ}\text{C}$  (допускається короткочасне до 10 діб підвищення ТН до  $+10^{\circ}\text{C}$ );
- ВО-12 всесезонно при ТН =  $-50^{\circ}\text{C}$  +  $+50^{\circ}\text{C}$  з заміною через кожні 200 + 10 годин наробітку втулки.

2). Підшипники втулки змащуються через прес-маслянки змащенням ЦИАТИМ-201.

Маточина служить для кріплення втулки до вихідного валу хвостового редуктора і передачі крутного моменту на кардан рульового гвинта.

Маточина втулки сталева, виготовлена за одне ціле з фланцем, яким кріпиться фланця вихідного вала хвостового редуктора за допомогою восьми болтів. Гайки болтів кріплення затягуються з моментом затяжки  $МОЗ = 8 + 3 \text{ кгс} \cdot \text{м}$ .

На маточині встановлено обмежувач помаху і траверса, затягнуті гайкою зі стопорною шайбою.

Усередині маточини є евольвентні шліци, за якими переміщається повзун. Напрямними повзуна є дві бронзові втулки, запресовані в розточеннях маточини.

Мастило втулок і шліцьового з'єднання здійснюється ЦИАТИМ-201 через прес-маслянку, виконану в гайці кріплення траверси. Мастило заправляється до тих пір, поки з запобіжного клапана, встановленого у фланці маточини, не піде свіжа мастило.

Кардан призначений для забезпечення махового руху лопатей щодо площини обертання рульового гвинта, повідомлення їм крутного моменту, а також передачі на хвостовій редуктор сили тяги рульового гвинта.

Кардан включає в себе, виготовлені з високолегованих сталей:

- траверсу; - корпус кардана; - корпус втулки.

## **6. Конструктивне виконання РГ. Можливі несправності НГ и РГ. Особливості експлуатації**

### **Лопать рульового гвинта складається:**

- лонжерон;
- хвостовий відсік;
- наконечник лонжерона;
- кінцевий обтічник;
- нагрівальна накладка противообледенительной системи;
- вузол статичного балансування лопаті.

Лонжерон виконаний з матеріалу АВТ-1 і являє собою порожнисту балку з внутрішнім контуром постійного перетину. Зовнішній контур оброблений відповідно до теоретичним контуром лопаті і полірований в поздовжньому напрямку. Лонжерон зміцнюється зсередини методом наклепу. У окоренкові частини лонжерона профрезіровані дві паралельні майданчики для установки наконечника.

У кінцевій частині до лонжерону приклепані дві шпильки, на які встановлюються балансувальні пластини.

Наконечник виготовлений з високоміцної легованої сталі 18Х2Н4МА, служить для кріплення лопаті до втулки РВ. Наконечник кріпиться до лонжерону вісьмома болтами і за допомогою клею-плівки МПФ-1.

До задньої стінки лонжерона в окоренкові частини на клеї-плівці ВК-3 і за допомогою двох окоренкові втулок кріплення наконечника прикріплений кронштейн, виконаний з матеріалу АК6.

### **Хвостова частина складається:**

- обшивка,
- стільниковий блок,
- хвостовий стрінгер,
- кінцева нервюра.

Склопластикові обшивка товщиною 0,4 мм з двох шарів склотканини, клеїться зверху і знизу до стільникового блоку клеєм-плівкою ВК-3.

Стрінгер виготовлений з двох шарів склотканини і наклеєний зовні вздовж хвостовій частині лопаті на обшивку, охоплюючи її зверху і знизу. Виступаючі під обшивкою передні торці хвостового стрінгера закладаються шпаклівкою впопай, щоб не знижувався аеродинамічна якість лопаті.

Кінцева нервюра виготовлена з листа Авіаль. Стінкою вона приклеєна до зовнішнього торця стільникового блоку, а полками - до обшивки хвостовій частині.

З'єднання окремих елементів хвостової частини, а також закріплення на лонжероні здійснюється клеєм. З'єднання хвостовій частині з лонжероном підкріплюється дюралюмінієвим кронштейном.

Закінцівках - кінцева частина лопаті закрита обтічником, що складається з двох частин:

- незнімна частина, приклепати до нервюри,
- знімна частина, виконана з нержавіючої сталі, кріпиться до лонжерону на чотирьох анкерних гайках. При її зняття забезпечується доступ до балансувальним пластин.