

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

**Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

з навчальної дисципліни  
«Загальні знання ПС: Планер та системи, аварійне обладнання»  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**272 Авіаційний транспорт  
Аеронавігація**

**за темою № 4. Несучі елементи повітряних суден**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного  
коледжу Харківського  
національного університету  
внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.2023 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 28.08.2023 № 1

**Розробник:**

*1. Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, викладач-спеціаліст Самохліб Олександр Олександрович*

**Рецензенти:**

- 1. Завідувач кафедри технологій аеропортів Національного авіаційного університету, д.т.н., професор Тамаргазін О.А.*
- 2. Викладач циклової комісії аеронавігації КЛК ХНУВС, к.т.н., с.н.с. Тягній В.Г.*

### План лекції:

1. Призначення, поставлені вимоги, типи несучих гвинтів.
2. Конструкція лопаті несучого гвинта.
3. Призначення, класифікація втулок НГ.
4. Конструктивне виконання втулки НГ з шарнірним кріпленням лопаті.
5. Конструктивно-силові схеми крил.
6. Основні елементи крила (лонжерони, нервюри, стрингери, обшивка), їхнє призначення і матеріал виготовлення.

### Основна література:

1. Бойко А.П., Мамлюк О.В., Терещенко Ю.М. «Конструкція літальних апаратів», К.: Вища освіта, 2010. – 383 с.
2. Кулик М.С., Тамаргазін О.А. Конструкція, міцність та надійність газотурбінних установок і компресорів. Київ: НАУ, 2012. 477 с.
3. Іноземцев А.А., Сандрацький В.Л. Газотурбінні двигуни. П.: ВАТ «Авіадвигун», 2011. 1024 с.

### Допоміжна література:

4. Царенко А.О. Вертоліт Мі-2. Блок 3 Газотурбінний двигун. (Категорія В1.3): Конспект лекцій. Кременчук: КЛК НАУ, 2015. 227 с.
5. Царенко А.О. «Вертоліт Мі-8Т. Блок 3 Газотурбінний двигун. (Категорія В1.3): Конспект лекцій. Кременчук: КЛК НАУ, 2015. 250 с.

### Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. <https://naurok.com.ua/uploads/files/2952962/285465.pdf>

### Текст лекції

#### Призначення й характеристика несучого гвинта

Несучий гвинт створює підйомну силу й пропульсивну силу, необхідну для здійснення переміщення вертольота в атмосфері. Крім того, він дозволяє здійснювати поздовжнє й поперечне керування літальним апаратом. Несучий гвинт складається з лопат і втулки, що передає крутний момент із вала головного редуктора до лопаті.

У горизонтальному польоті лопаті знаходяться під впливом потоку не тільки від окружної, але й від горизонтальної швидкості вертольота. Таким чином, у різних точках ометаємої площі несучого гвинта мають місце різні повітряні швидкості.

Для зручності розгляду роботи лопаті несучий гвинт при горизонтальному переміщенні вертольота використовуються кути азимута, що характеризують положення лопаті стосовно поздовжньої осі фюзеляжу. У задній частині ометаємої гвинтом площі приймається азимут  $\psi=0$ , у передньої  $\psi = \pi$ . У поперечному перерізі цієї площі, у точці, де окружна швидкість лопаті складається зі швидкістю горизонтального переміщення вертольота, азимут буде  $\psi = \pi/2$ . У діаметрально протилежній точці, у якій швидкості віднімаються,  $\psi = \pi 3/2$ .

Геометричні параметри лопаті характеризуються типом профілів перерізів лопаті й обрисом лопати в плані. Профіль лопаті повинен мати велику

аеродинамічну якість, малу зміну положення центра тиску при зміні кутів установки лопаті, високими значеннями критичних кутів атаки, забезпечувати здатність переходу на режим самообертання (авторотації) у великому діапазоні кутів установки.

У вертольотобудуванні використовуються дві форми лопати в плані - прямокутна й трапецієподібна (Рис. 1).

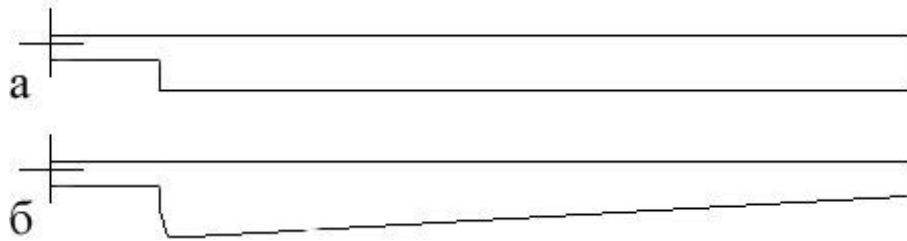


Рис. 1. Форми лопат у плані.

а - прямокутна, б - трапецієподібна.

В 40-50 роки широко застосовувалися лопаті трапецієподібної форми, але на сучасних вертольотах в основному використовуються прямокутні форми. Трапецієподібні мають більш рівні аеродинамічні характеристики по радіусі, але конструктивно й технологічно більш зручні прямокутні лопаті. Такі лопаті в цей час забезпечуються спеціальними закінцівками. Їхнє застосування обумовлене прагненням зменшити втрати енергії, затрачуваної на обертання мас повітря у вихорах. Справа в тому, що при обтіканні кінцевої частини лопаті відбувається перетікання повітря з області підвищеного в область зниженого тиску, що приводить до виникнення вихрових шнурів від кожної лопаті, які скручуються у два вихрових джгути по краях диска. Крім того, мають місце втрати енергії, що відбуваються на стрибку ущільнення, що виникає при русі крайніх перетинів лопати з околосвуковою швидкістю. Застосування спеціальних видів закінцівок, дозволяють знизити втрати, що виникають внаслідок перерахованих вище причин (рис 2). У деяких випадках закінцівки можуть бути відігнуті долілиць.

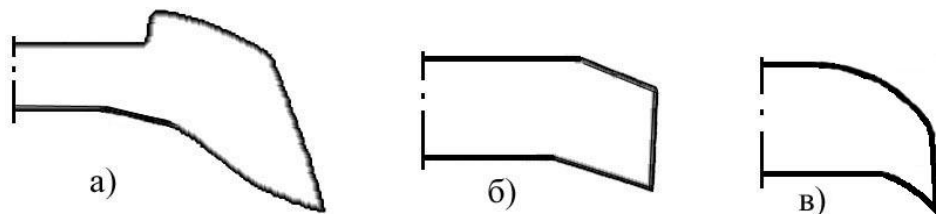


Рис. 2. Типи закінцівок лопат.

а - BERP; б - стрілоподібна; в - оживальна.

**Геометрична крутка лопаті** здійснює зміну кутів установки перетинів по радіусі лопаті. Звичайно лопаті несучих гвинтів вертольотів мають негативну геометричну крутку, тобто в окоренковій частині кути установки більші, ніж на

кінці. Це дає більше рівномірний розподіл аеродинамічних сил уздовж лопати й зменшує індуктивні втрати. Звичайно величина крутки лежить у межах 4-9°.

**Питоме навантаження на ометаєму гвинтом площу.** Навантаження на квадратний метр ометаємої площі - це один з найбільш важливих параметрів, що характеризує льотні властивості вертольота. Він визначається по формулі:

$$P = G / F_{\text{ом}},$$

де **G** – польотна вага вертольота, **F<sub>ом</sub>** – ометаєма площа несучого гвинта. У сучасних вертольотів питоме навантаження  $\rho = 100 \div 640$  Па.

**Коефіцієнт заповнення несучого гвинта** – число, що показує, яка частина площі, ометаємої несучим гвинтом, заповнена лопатами:

$$\sigma = F_{\text{л}} z / F_{\text{ом}}, \text{ де } F_{\text{л}} \text{ – площа лопати; } z \text{ – число лопат.}$$

**Кутом установки лопаті** називається кут, утворений хордою елементарної площинною обертання втулки несучого гвинта.

Характерним перетином, по якому оцінюють кут установки лопатей несучого гвинта, є відносний радіус 0,7.

**Число лопат несучого гвинта** залежить від вимог, пропонованих до вертольота, і лежить у межах від 2 до 8.

**Вага лопаті** несучого гвинта впливає на характеристики махових рухів і авторотацію вертольота, особливо в моменти переходу на самообертання й при підриві кроку несучого гвинта перед приземленням. Відомі випадки у світовій практиці, коли вертольото-будівельникам використавши сучасні матеріали й виготовивши легкі лопати доводилося відмовлятися від них і вертатися до старих технологій, через недостатні характеристики літального апарата на режимах авторотації.

### Типи лопат несучого гвинта

Як правило, лопаті підрозділяються за матеріалами, застосовуваним для виготовлення лонжеронів.

**Дерев'яні лопати.** Такі лопати були широко поширені у вертольотобудуванні, однак, у цей час, не застосовуються. Для виготовлення лопаті використовувалися спеціально висушене дерево, дельта-деревина й фанера. Виготовлялося кілька типів дерев'яних лопат. Звичайно такі лопаті мали склопластикове покриття. Один із типів, лопаті, що складається з поздовжніх дерев'яних брусків представлений на малюнку 3.



Рис. 3. Перетин дерев'яної лопати.

**Лопаті з металевим пресованим лонжероном.** Існує кілька різновидів таких лопат. Основним силовим елементом лопати є порожній пресований

лонжерон D-Образного перетину (Рис. 4).

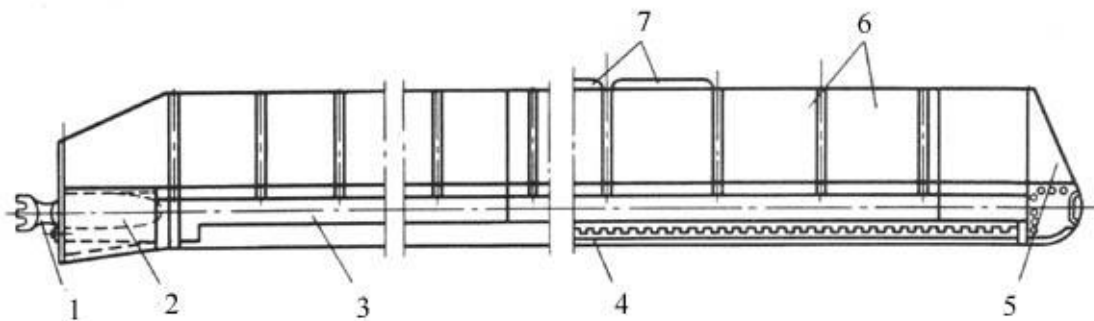


Рис 4. Загальний вид лопати в плані.

1 - наконечник лопати, 2 - окоренковий обтічник, 3 - лонжерон, 4 - протиліодовий пристрій, 5 - кінцевий обтічник лопати, 6 - хвостові відсіки лопаті, 7 – тримерні пластини.

Лонжерон виконується пустотілим, прилягаючим до аеродинамічного контуру передньої частини профілю (Рис. 12). Для підвищення міцності лонжерон може мати ребра жорсткості. До передньої кромки лонжерона приклеювався нагрівальний елемент протиліодової системи. Зверху цей елемент закривається титановим або сталевим обкуттям, що охороняє лопаті від ерозійних впливів часток.

У випадку дуже великої ерозії (наприклад, у піщаній пустелі) обкуття може бути покритим спеціальним додатковим захисним складом. До задньої частини лонжерона приклеєні окремі хвостові секції. Хвостові секції включають нервюри, обшивку й стільниковий заповнювач. Утворення хвостової частини з окремих відсіків пояснюється наступними міркуваннями: при вигині лопаті назад у площині обертання, хвостова частина лопаті перебуває в області стиснення, тому хвостовий стрингер має потребу в захисті від втрати стійкості. Між відсіками є зазори, які забезпечують свободу переміщення їх відносно один одного при вигині лонжерона. Для запобігання перетікання повітря через зазори між відсіками встановлюються гумові вкладиші.

На хвостіку деяких відсіків закріплюються тримери - металеві пластини, що служать для усунення несоконусності обертання лопат несучого гвинта. Усунення несоконусності здійснюється шляхом відгинання тримера в процесі наземних випробувань.

У канал лонжерона, у передню його частину, вставляються протифлаттерні вантажі. В окоренковій частині лонжерона на болтах кріпиться вузол навішення лопаті (Рис. 5). У кінцевій частині, під знімним обтічником, розташовуються балансувальні вантажі (Рис. 6). Усередині кінцевого обтічника може бути встановлена лампа контурного вогню.

З метою своєчасного виявлення наскрізної тріщини лонжерона його внутрішня порожнина загерметизована заглушками, установленими по кінцях лонжерона. У ньому створюється надлишковий тиск, і встановлюється сигналізатор, що фіксує розгерметизацію з появою тріщини. Повітря,

потрапляючи в сигналізатор через спеціальні отвори в корпусі, стискає чутливий елемент, і втягує індикатор із червоною бічною поверхнею всередину корпусу. У випадку появи на лонжероні тріщин або інших ушкоджень тиск повітря в ньому й у корпусі сигналізатора падає, чутливий елемент розтискається, і виштовхує індикатор із червоною бічною поверхнею за лінію візуального огляду, що свідчить про ушкодження лонжерона, або порушення його герметизації. Поширення усталостної тріщини в лонжероні лопаті відбувається повільно. Час виникнення небезпечного руйнування лонжерона перевищує звичайну тривалість польоту вертольота, тому сигналізатор тиску повітря в кабіні льотчика, звичайно, не ставиться.

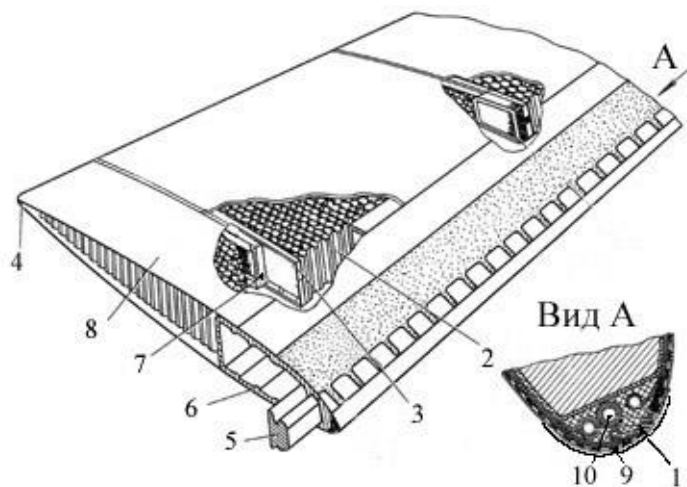


Рис. 5. Типовий відсік лопати із пресованим лонжероном D-образного перетину

1 – протильодова система, 2 – стільниковий заповнювач, 3 – нервюра, 4 – хвостовий стрингер, 5 – противага, 6 – лонжерон, 7 – вкладиш, 8 – обшивку, 9 – протиерозійне обкуття, 10 – електропроводи протильодової системи.

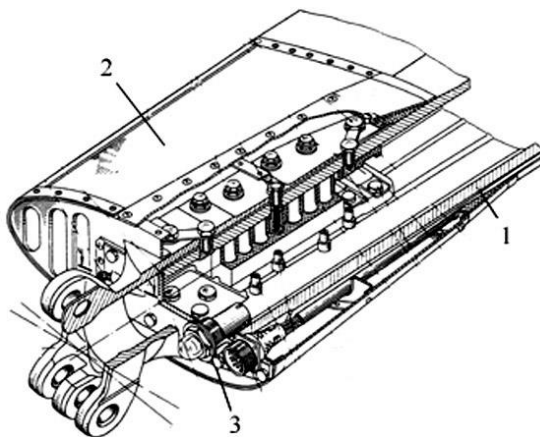


Рис. 6. Окоренкова частина лонжерона.

1 – лонжерон, 2 – хвостова частина обтічника, 3 – сигналізатор тиску.

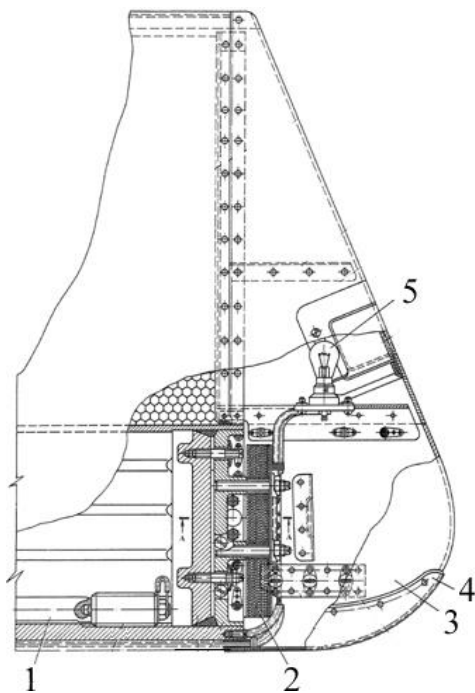


Рис. 7. Кінцева частина лопаті.

1 - противага, 2 - пластини балансувального вантажу, 3 - знімна частина закінцівки, 4 - захисна накладка, 5 - лампа контурного вогню.

**Лопаті зі сталевим трубчастим лонжероном.** Такі лопати застосовуються на важких вертольотах, зокрема, на Мі-26. Одна з особливостей лопат саме цього вертольота є відсутність окоренкового наконечника. Весь лонжерон, включаючи вушка окоренкового стику, виготовляється як єдине ціле. Відсутність окоренкового наконечника дозволяє збільшити ресурс і зменшити масу лопаті. Лопать складається із загальної носової частини й окремих хвостових відсіків, а також окоренкового й кінцевого обтічників.

У носову частину, виготовлену за формою профілю лопаті (Рис. 8), входять сталевий трубчастий лонжерон 1, пінопластовий заповнювач 2 і пакет протилітальної системи 6. Лонжерон сприймає всі навантаження від носової частини й хвостових відсіків лопаті за допомогою спеціальних склопластикових компенсаторів 4. Труба лонжерона облицьована по зовнішньому діаметрі шаром склопластику для забезпечення міцного з'єднання лонжерона з каркасом, захисту його від корозії й для утворення каналів системи сигналізації про ушкодження лонжерона 5. Компенсатори зв'язують композиційну обшивку 3 лопаті лонжероном.

Хвостовий відсік у цілому аналогічний відсіку лопаті із пресованим лонжероном, містить у собі композиційну обшивку, нервюри, хвостовий стрингер, закрилок і стільниковий заповнювач.



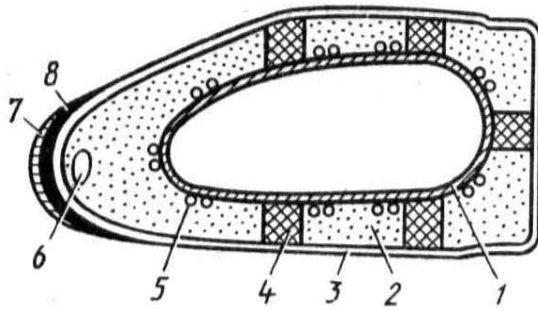


Рис. 8. Носова частина лопаті зі сталевим трубчастим лонжероном.

1 - сталевий лонжерон, 2 - пористий заповнювач, 3 - обшивка, 4 - компенсатор, 5 - каналсистеми виявлення тріщин, 6 - протильодова система, 7 - протиабразивне обкуття, 8 - нагрівальна накладка.

**Багатолонжеронні металеві лопати.** Цей тип лопат був розроблений спеціально для бойових літальних апаратів. Приклад перетину п'ятилонжеронної лопаті показаний на малюнку 9. П'ять сталевих лонжеронів двотаврового перетину послідовно приклеюються друг до друга. У місцях склейки полиць лонжеронів прокладаються шари стеклоткані, що перешкоджають поширенню тріщин з одного силового елемента на іншій.

Маючи запас міцності, лопата, може виконувати несучі функції навіть після руйнування одного або декількох лонжеронів, що є досить важливим для вертольота який приймає участь в бойових операціях. Багаторазове дублювання лонжеронів дозволяє також відмовитися від системи попередження появи тріщин. Лопати мають великий ресурс, аледосить складні у виробництві.

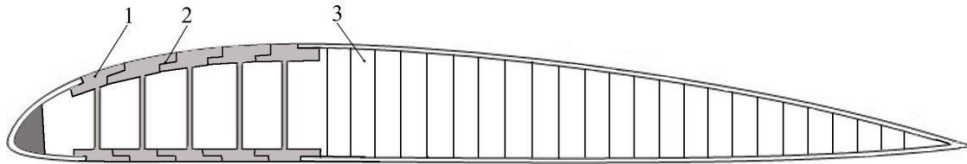


Рис. 9. Перетин багатолонжеронної лопати несучого гвинта.

1 - лонжерони, 2 - шари стеклоткані, 3 - стільниковий заповнювач.

**Композиційні лопаті.** Композиційні лопати, на сьогоднішній день, є найпоширенішими у світі. Конструкції композиційних лопат досить різноманітні. Перерізи деяких з них представлені на малюнку 10.

Досить прості лопаті мають на увазі використання С-образного лонжерона й пористого (Рис. 10а) або стільникового (Рис. 10б) заповнювача. Більш складні лопаті мають багатозамкнутий лонжерон і приклеєну хвостову частину. Приклад перетину такого лонжерона показаний на малюнку 10в, г, буд. Проміжні стінки, установлені в каналі лонжерона, збільшують твердість пустотілої лопати. Хвостовий відсік лопати в цей час частіше робиться нерозрізним, що значно спрощує конструкцію.

Як матеріали виготовлення лонжеронів і лопат використовуються вуглепластики, склопластики й органопластики або їхні комбінації.

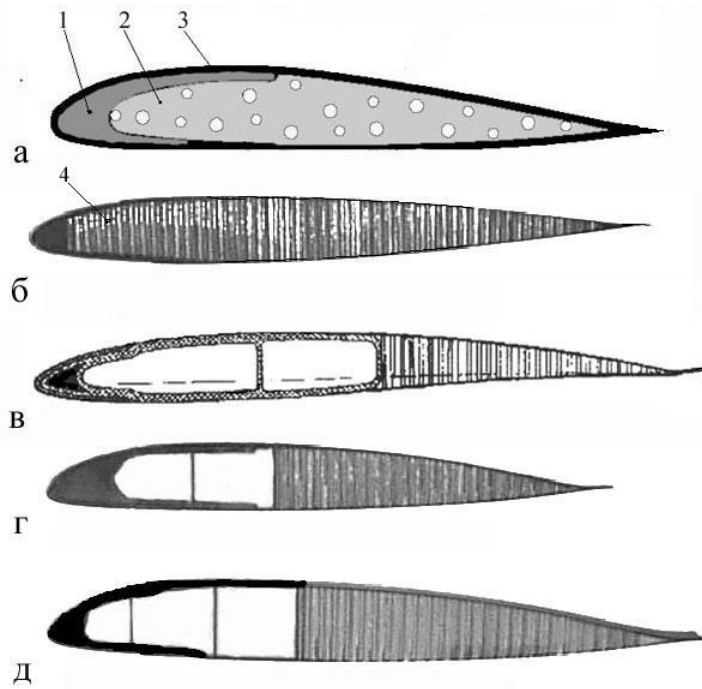


Рис. 10. Перетин композиційних лопат несучого гвинта.

а - вертольота ЄС145, б - ЄС332 МК2, в - Ка-50, г - ЄС225, д - NH90.

1 - склопластиковий лонжерон, 2 - пористий заповнювач, 3 - вуглепластикове покриття, 4 - стільниковий заповнювач.

#### Втулки несучих гвинтів

По способів кріплення лопати до вала, що обертає гвинт, що несуть гвинти, можна підрозділити на кілька типів.

Несучі гвинти із трьохшарнірною підвіскою лопат (Рис. 11а) і втулкою з універсальним еластичним підшипником (Рис. 11д) застосовуються на вертольотах різних класів. Гвинт із загальним горизонтальним шарніром (Рис. 11б) досить розповсюджений на надлегкому й легкому вертольотах. У деяких випадках застосовуються гвинти на кардані (Рис. 11в) і із жорстким кріпленням лопат (Рис. 11г).

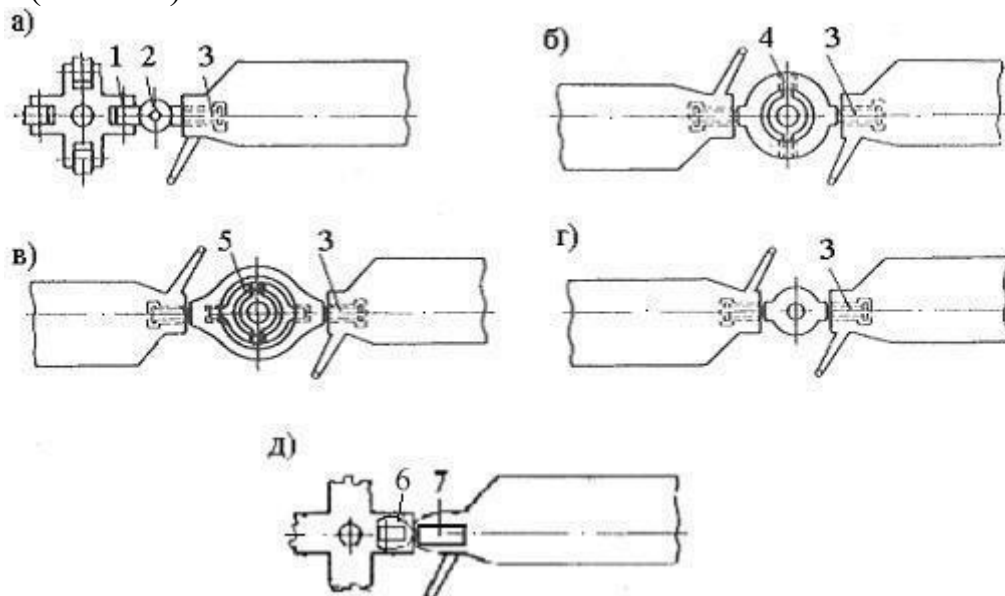


Рис. 11. Типи несучих гвинтів.

а - із трьохшарнірною підвіскою лопат; б - із загальним горизонтальним шарніром; в - на кардані; г - із твердим кріпленням лопат; д-д- з еластомерним підшипником. 1 - горизонтальний шарнір (ГШ), 2 - вертикальний шарнір (ВШ), 3 - осьовий шарнір (ОШ), 4 - загальний горизонтальний шарнір, 5 - кардан, 6 - еластомерний підшипник, 7- торсіон.

**Втулки несучого гвинта із трьохшарнірним кріпленням лопат** широко застосовувалися у вертольотобудуванні. У цей час їхнє використання скорочується й на нових апаратах вони практично не зустрічаються. Втулка має рознесені горизонтальні (ГШ), вертикальні (ВШ) і осьові (ОШ) шарніри (Рис. 12). Подібне з'єднання лопати дає їй можливість коливатися в декількох площинах.

Горизонтальні шарніри забезпечують маховий рух (коливання у вертикальній площині) під дією змінних по азимуті аеродинамічних сил. Вертикальні шарніри дозволяють лопатам робити коливання в площині обертання. Ці коливання відбуваються під дією змінних сил лобового опору й сил Кориоліса. Коливання лопат щодо вертикального шарніра гасяться гідравлічними демпферами.

Завдяки шарнірному кріпленню лопат з корпусом втулки значно знижуються перемінні напружки в елементах несучого гвинта.

Осьові шарніри втулки призначені для зміни кутів установки лопат. Для зменшення кута установки лопаті при змаху нагору й збільшення кута установки при русі її долілиць підбирають кут  $\sigma_1$ , утворений віссю ГШ і відрізком, що з'єднує центр ГШ із кінцем повідця важеля повороту лопаті.

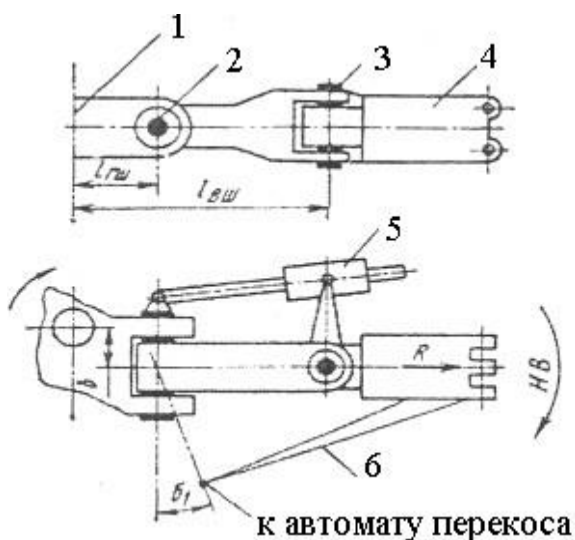


Рис. 12. Схема втулки з рознесеними ГШ.

1- вісь вала; 2- ГШ; 3- ВШ; 4-ОШ; 5- гідродемпфер; 6- повідець лопати.

**Втулки з еластомерними підшипниками** – є найпоширенішими. Один з різновидів універсальної еластомерної шарнірної втулки представлена на малюнку 13.

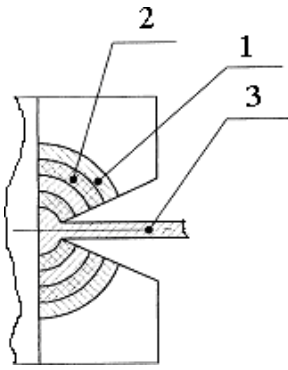


Рис. 13. Схема еластомерного шарніра втулки несучого гвинта.

1- шар металу, 2- шар гуми, 3- металевий стрижень, що з'єднується з лопатою.

Принцип дії еластомерного підшипника заснований на використанні властивостей гуми піддаватися значним деформаціям при розтяганні, стиску й крутінні.

Еластомерні підшипники являють собою знімні блоки, що складаються із шарів гуми й металу. Вони не вимагають змащення, зменшують кількість деталей втулки несучого гвинта, спрощують експлуатацію й знижують вартість. У зв'язку з тим, що гума в підшипнику піддається термомеханічному впливу, вона швидко старіє. Внаслідок цього еластомерні підшипники звичайно підлягають заміні кожні 4 роки.

**Втулки із загальним ГШ** застосовуються на дволопастних гвинтах. Лопати жорстко з'єднуються між собою. Підвіска на шарнірі дозволяє виключити вплив асиметрії обтікання.

Відцентрові сили лопат замикаються на корпусі втулки й не навантажують підшипники, що утворюють вісь ГШ. Для розвантаження комля лопати від згинального моменту мають невеликий конструктивний кут конусності  $\alpha_0 = 2 \dots 6^\circ$ . До достоїнств втулок із загальним ГШ варто віднести: простоту конструкції втулки, малу масу. Недоліками таких гвинтів є більші згинальні моменти в комлі лопаті й великий рівень вібрації на втулці двухлопастного гвинта, викликуваний другою гармонікою аеродинамічних сил. Така конструкція широко використовується на легких і надлегких вертольотах для несучих і двухлопастних кермових гвинтів.

**Втулки на кардані** також мають жорстке кріплення лопат між собою. Втулка кріпиться до валу за допомогою універсального шарніра (кардана). Горизонтальні шарніри замінені карданами. Відцентрові сили лопат замикаються на корпусі втулки й не навантажують підшипники, що утворюють вісь кардана. ОШ навантажені сильніше, ніж у гвинтів із шарнірним кріпленням лопат. Центр кардана для полегшення керування виносять наверх. Така конструкція широко використовується на втулках кермових гвинтів.

**Втулки із жорстким кріпленням лопат** має просту конструкцію, однак, у лопатах і валах створюються більші згинальні моменти, що приводить до

обваження конструкції.

Існують також втулки несучих гвинтів, рукава яких виконані із пружних матеріалів, що дозволяє лопатам робити маховий рух у площинах тяги й обертання за рахунок пружності конструкційного матеріалу. Це частково розвантажує окоренкову частину лопати від згинальних моментів.

### Конструкція втулок несучого гвинта

Найбільш складною є конструкція трьохшарнірної втулки (Рис. 14).

Її корпус 1 звичайно виготовляється зі сталі або титанового сплаву. Він закріплений на валу головного редуктора за допомогою шліц і центрується верхнім 2 і нижнім 17 конусами. Верхнє конусне кільце складається із двох половин, а нижнє - розрізне. Зверху корпус закріплюється на валу гайкою. Середини вушок корпусу зміщені від осі обертання несучого гвинта, що дозволяє рівномірно навантажувати підшипники ГШ і ВШ. Вушка корпусу разом зі скобою 5 утворюють корпус ГШ. На пальці ГШ 4 установлені внутрішні кільця 3 голчастих підшипників. Зовнішні кільця перебувають у вушках корпусу. Між кільцями встановлені дві шайби, що виконують роль упорних підшипників ковзання. Вони сприймають осьові зусилля, що виникають при коливаннях лопати відносно ВШ. Між шайбами й внутрішніми кільцями є упорне кільце. Як ущільнення ГШ використовуються гумові армовані манжети. До вушка пальця ГШ кріпиться шток демпфера ВШ.

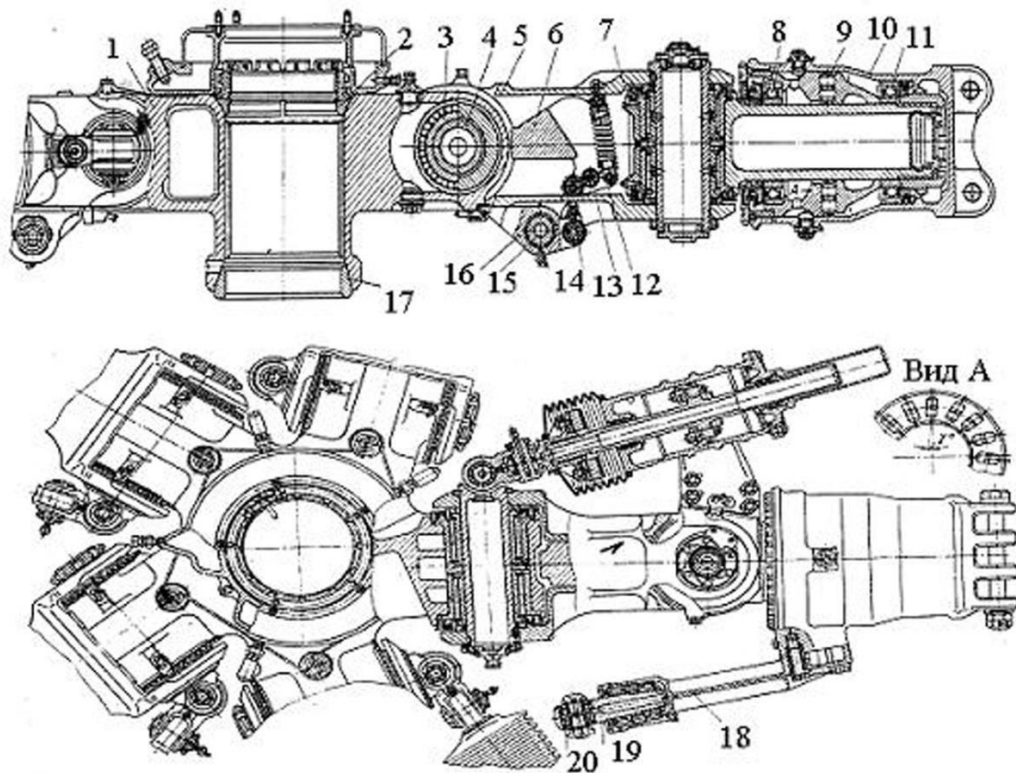


Рис. 14. Конструкція втулки несучого гвинта.

1 - корпус втулки, 2 - верхній конус, 3 - внутрішнє кільце голчастих

підшипників, 4 - палець ГШ, 5- скоба, 6 - противага, 7- цапфа ОШ, 8, 11- кульковий радіальний підшипник, 9 - дворядний роликовий підшипник, 10 - корпус ОШ, 12 - пружина,

13, 15 - пальці, 14 - тяга, 16- собачка, 17 - нижній конус, 18 - важіль повороту лопати, 19 - валик важеля повороту лопаті, 20 - підшипник.

Для обмеження коливань лопаті відносно ГШ на втулці є упори. Верхні обмежувачі необхідні для запобігання повного закидання лопаті нагору при сильному вітрі. Нижній обмежувач може змінювати своє положення залежно від частоти обертання. Це викликано тим, що припустимий кут звису лопаті при непрацюючому гвинті набагато менше, ніж потрібний кут маху лопаті вниз у польоті. Тому на скобі є постійні упори й відцентровий обмежувач звису. Осьовий шарнір утворений з'єднанням цапфи 7 і корпусу 10 ОШ. До цапфи кріпиться кронштейн, розташований на циліндрі гідродемпфера. На хвостовику цапфи встановлені підшипники ОШ: два кулькових радіальних 8, 11, які сприймають зусилля від згинальних моментів, що діють на лопату, і упорний дворядний роликовий 9, що сприймає відцентрову силу лопати. Гнізда сепаратора роликового підшипника розгорнуті під кутом 50° до радіального напрямку.

При такому розташуванні гнізд сепаратор не тільки коливається, але й безупинно обертається в одному напрямку. У зв'язку із цим ролики постійно мігрують і доріжки кілець підшипника повністю беруть участь у роботі. У результаті збільшуються термін служби підшипників і ресурс ОШ. Корпус ОШ виконаний у вигляді стакана з вушками для кріплення лопаті. Скоба й цапфа утворюють корпус ВШ, що конструктивно виконаний аналогічно ГШ. Важіль повороту 18 лопати кріпиться болтами до корпусу ОШ. У циліндричній порожнині на кінці важеля на дворядному радіально-упорному шарикопідшипнику й радіальному роликовому підшипнику встановлений валик 19. У вушку валика на двох шарикопідшипниках 20 установлений палець, що з'єднує важіль повороту лопаті з тягою автомата перекошу.

Відцентровий обмежувач (Рис. 15) змонтований на нижній поверхні скоби 1 за допомогою кронштейна 4 і сухарі 2. На кронштейн 4 на двох кулькових підшипниках установлений рухливий кронштейн 5. До нього кріпиться відцентровий упор звису 9 і дві пластини 6, до яких кріпиться вантаж 7, що складається з набору сталевих шайб. Пружина 8 одним кінцем закріплена на кронштейні 4, а іншим - за болт кріплення вантажу 7. На малих частотах обертання несучих гвинтів зуб відцентрового упору звису 9 під дією пружини 8 перебуває, у зазорі між упорами корпусу втулки 10 і вертикального обмежувача 1, зменшуючи, таким чином, звис лопати.

Контактна поверхня упору 9 щільно прилягає до відповідних поверхонь на корпусі 10 і вертикальному обмежувачу 1. Підшипники обмежувача звису посаджені в корпус кронштейна 4 на гумових втулках амортизаторах, що розвантажують їх від великих навантажень.

При збільшенні частоти обертання несучого гвинта вантажі 7 під дією

відцентрової сили починають переборювати опір пружини 8 і виводити зуб упору звису 9 із зазору між упорами на корпусі 10 і скобі 1.

При зменшенні частоти обертання несучого гвинта зменшується відцентрова сила вантажу 7 і упор 9 під дією пружини 8 вертається у вихідне положення. Таким чином, на робочих частотах обертання несучого гвинта упор звису 9 не перешкоджає маховому руху лопати.

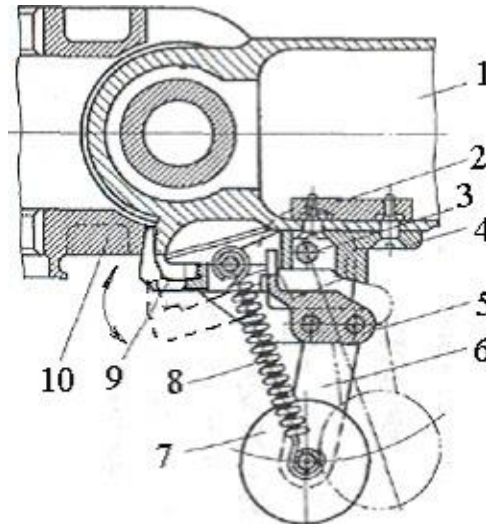


Рис. 15. Відцентровий обмежувач звису.

1 - вертикальний обмежник, 2 - сухар, 3 - болт, 4 - кронштейн, 5 - рухливий кронштейн, 6 - сталеві пластини, 7 - вантаж, 8 - пружина, 9 - упор звису, 10 - корпус втулки.

У конструкції втулок часто вдаються вузли навішення лопати сполучити з вертикальним шарніром (Рис. 16). У цьому випадку лопаті безпосередньо з'єднуються з демпфером вертикального шарніра. Конструкція при цьому спрощується. Якщо ж з'єднання з демпфером робиться роз'ємним, то лопати, повертаючись відносно ВШ, можуть бути складені вручну уздовж хвостової балки.

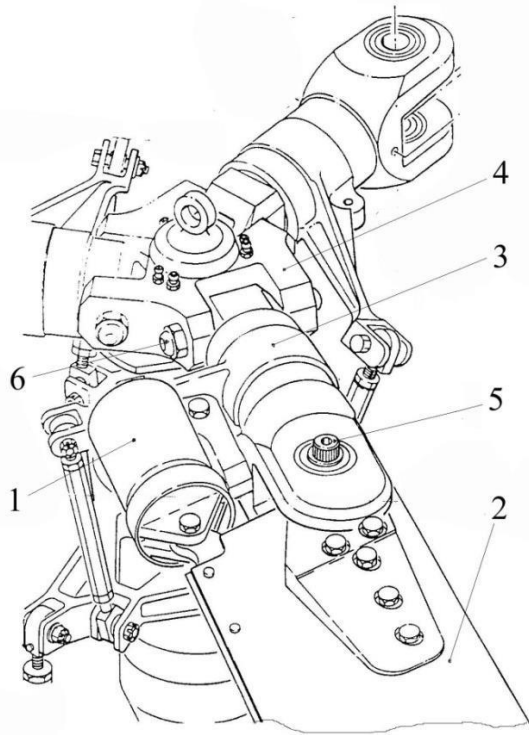


Рис. 16. Кріплення лопаті сполучене з ОШ.

1 – демпфер ВШ, 2 – лопата, 3 – корпус ОШ, 4 – корпус втулки, 5 – вісь ВШ, 6 – вісь ГШ

У цей час часто застосовуються осьові шарніри з торсіоном (Рис. 17). Звичайно торсіон являє собою набір металевих пластин, які витримують розтяжні зусилля, що діють на лопать, але при цьому дозволяють їй робити осьове обертання за рахунок деформації.

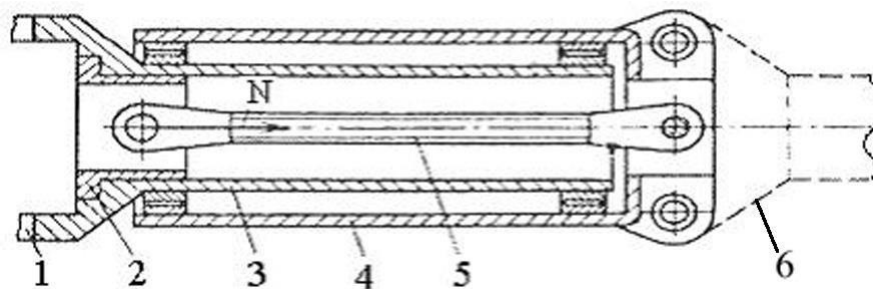


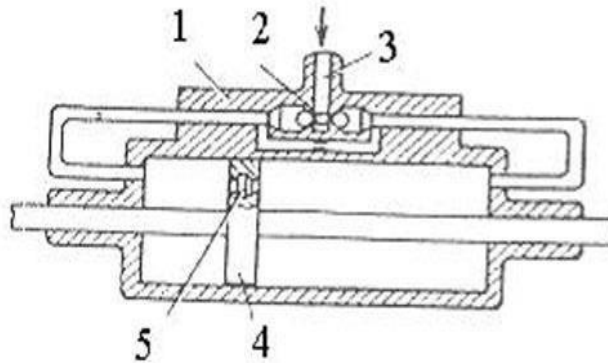
Рис. 17. Схема осевого шарніра з торсіоном.

1 - вушко вертикального шарніра, 2 - вкладиш, 3 - цапфа, 4 - корпус осевого шарніра, 5 - торсіон, 6 - лопата.

Демпфер ВШ (Рис. 18) призначений для гасіння коливань лопаті в горизонтальній площині. При переміщенні циліндра щодо поршня рідина по каналах перетікає з порожнини високого тиску в порожнину низького тиску. При такому перетіканні відбуваються дисипативні процеси, що приводять до перетворення частини механічної енергії коливань у теплову. Канали мають



запобіжні клапани. При досягненні дуже високого тиску внаслідок інтенсивних переміщень клапани в поршні відкриваються, і зусилля демпфірування різко падає.



/

Рис. 18. Схема гідралічного демпфера ВШ.

1 - корпус циліндра, 2 - компенсаційний клапан, 3 - підведення рідини з компенсаційного бачка, 4 - шток з поршнем, 5 - пропускний клапан.

У втулках з еластомерними підшипниками, шарнірами служать пружні елементи, дозволяють лопаті робити маховий рух у площині тяги й переміщатися в площині обертання. У деяких випадках один еластомерний радіально-упорний сферичний підшипник дозволяє замінити кілька шарнірів втулки несучого гвинта.

Приклад шарнірної частини втулки з еластомерним підшипником показаний на Рис. 19. Корпус втулки виготовлений з титанового сплаву. Еластомерні підшипники закріплені на трубчастому стрижні 1, на якому розташований вузол кріплення лопаті 2, кронштейн 3 кріплення демпфера й важіль повороту лопати 8. Трубчастий стрижень проходить усередині сферичного підшипника й передає відцентрову силу лопати через вузол 6 на циліндричний еластомерний підшипник 7, що працює на стиснення.

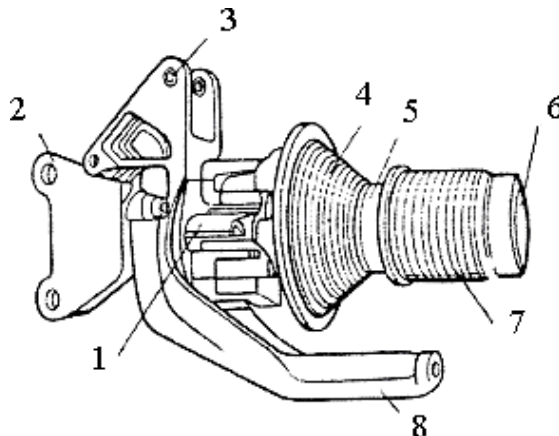


Рис. 19. Рукав втулки вертольота з еластомерними підшипниками.

1 - трубчастий стрижень, 2 - вузол кріплення лопаті, 3 - кронштейн

кріплення демпфера, 4- сферичний еластомерний підшипник, 5 - радіальний самозмащувальний підшипник, 6 - вузол кріплення стрижня до циліндричного еластомерного підшипника, 7 - циліндричний еластомерний підшипник, 8 - важіль повороту лопаті.

Ще одним типом простих втулок є втулка із пружним торсіоном, що представляє собою пакет пружних пластин, що заміняють ГШ і ВШ. Прикладом може служити втулка несучого гвинта вертольота Хьюз-500 (Рис. 20). Пакети торсіонних пластин попарно з'єднують протилежні лопаті й дозволяють робити маховий рух у площині тяги й повертатися щодо своєї поздовжньої осі.

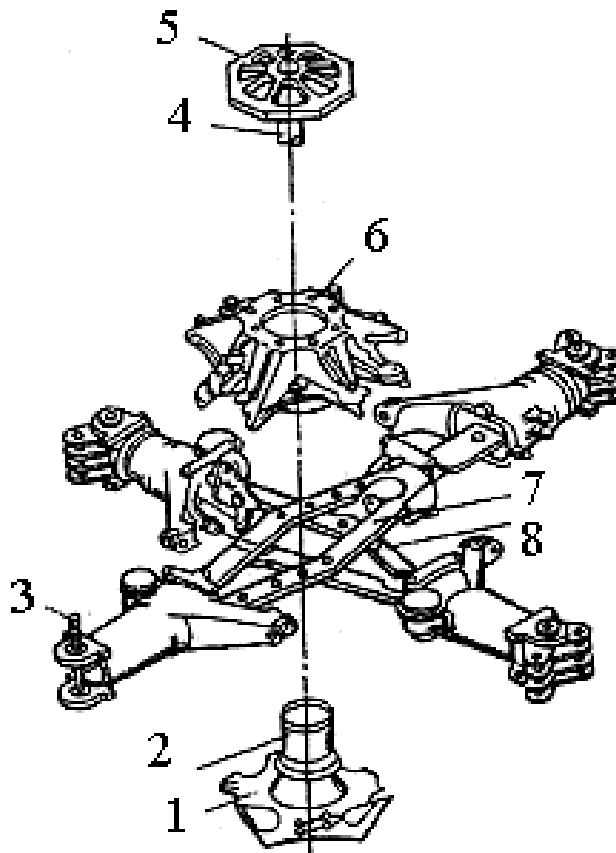


Рис. 20. Членування втулки несучого гвинта з торсіоном вертольота Хьюз-500.

1 - нижня напрямна опора, 2 - опорна стійка, 3 -ВШ; 4 - приводний вал несучого гвинта, 5 - верхній фланець приводного вала, 6 - корпус втулки, 7 - верхній пакет пластин, 8 - нижній пакет пластин.

Пластини торсіона розтягнуті відцентровою силою. Вони згинаються при коливаннях лопаті в площині змаху. При зміні кута установки відбувається закручення обох гілок торсіона. Для таких втулок головна проблема це забезпечення достатнього ресурсу.

Крім спрощення конструкцій, напрямком розвитку сучасних втулок є заміна сталевих і титанових деталей композиційними. Наприклад, масивні рукава втулки вертольота ЕН101 містять кілька сотень шарів різних композиційних матеріалів.

Таким чином, несуча система сучасних вертольотів, як лопаті, так і втулка, може практично не мати металевих деталей.

### **Особливості конструкції крила**

Крило встановлюють у центральній частині фюзеляжу. Воно являє собою балку, навантажену розподіленими й зосередженими силами, і складається із правої й лівої консолей, розташованих з боків фюзеляжу. Шкідливий аеродинамічний взаємовплив з фюзеляжем зменшують плавним сполученням за допомогою зализів. На відміну від літаків, вертольоти використовують невелику кількість засобів механізації крила. Виключення становлять конвертоплани, що сполучають у собі властивості літака й вертольота. На «класичних» серійних вертольотах застосовуються тільки закрилки, хоча експериментальні повітряні судна мали самі різні пристрої, що поліпшують аеродинамічні характеристики крила.

Силову схему крила складається з поздовжнього й поперечного наборів і обшивки (Рис. 21). До поздовжнього набору належать лонжерони й стрингери, до поперечного набору - нервюри.

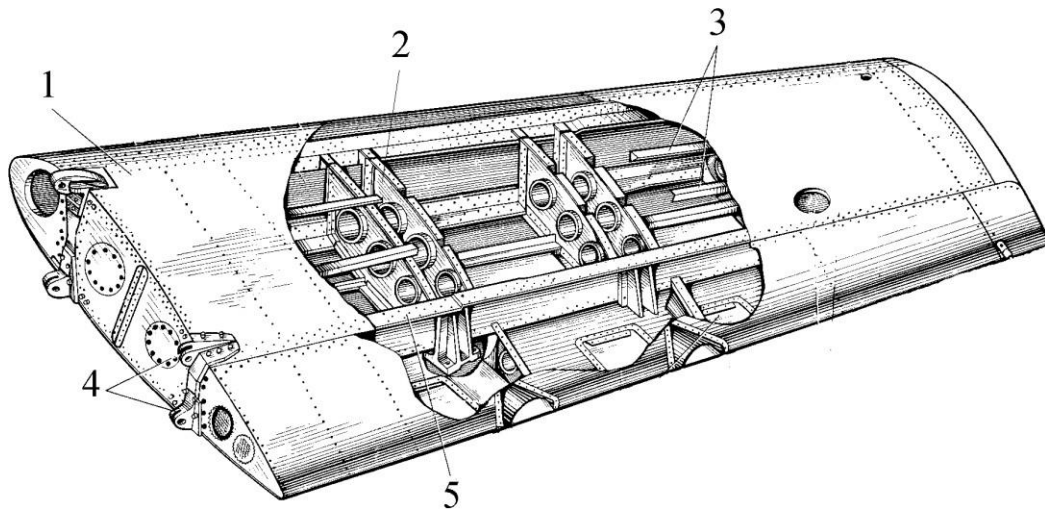


Рис. 21. Конструкція крила.

1 - обшивка, 2 - нервюра, 3 - стрингери, 4 - вузли навішення крила, 5 - лонжерон.

Лонжерони - звичайно двопоясні поздовжні балки (Рис. 22). Пояси яких працюють на розтягання й стиснення від вигину, а стінки - на зсув поперечної сили й крутний моменту

У конструкціях крил звичайно застосовуються лонжерони балкового типу й тільки в окремих випадках - фермового. У лонжеронів балкового типу є пояси й тонка стінка. У фермових лонжеронів стінка відсутня й пояси зв'язані між собою стержнями. З умови рівномірності площі перетинів поясів лонжеронів

зменшують у міру видалення від фюзеляжу.

Стрингери сприймають осьові зусилля при вигині й разом з обшивкою зазнають поперечного вигину від повітряного навантаження.

Нервюри крила по своєму призначенню й конструктивному виконанню розділяються на два типи - нормальні й посилені.

Нормальні нервюри служать для збереження заданої форми профілю крила, передають аеродинамічне навантаження на лонжерони й обшивку, беруть участь у загальній роботі крила, підкріплюючи обшивку й поздовжній набір.

Посилені нервюри виконують ті ж функції, що й нормальні, а також служать для сприйняття зосереджених сил від кріплення різних агрегатів. Крім того, посилені нервюри ставлять у країв великих вирізів, у розніманнях і інших місцях, де вони зазнають значні навантаження, беручи участь у перерозподілі сил між елементами крила.

Типові нормальні нервюри виконуються з листового матеріалу у вигляді суцільних стінок з отбортовками й полегшуючими отворами.

Конструкція посилених нервюр багато в чому аналогічна нормальним нервюрам, однак їхня середня частина більш розвинена, і може бути виготовлена із цільного шматка металу методом фрезерування.

Обшивка служить для додання крилу обтічної форми. Вона навантажується нормальними й дотичними напруженнями від вигину й крутіння крила

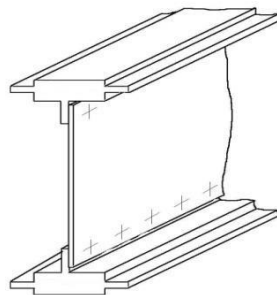


Рис. 22. Типовий перетин лонжерона крила