

**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 № 9. Трансмісія вертольотів

Кременчук 2023

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, вимоги, складові частини і принципові схеми трансмісії вертольотів.
2. Призначення, типи, кінематичні схеми, змащування, будова, принцип дії галузь використання головних редукторів вертольотів.
3. Призначення, кінематичні схеми, змащування, охолодження, кріплення проміжного та хвостового редукторів.
4. Призначення, будова і принцип дії муфти вільного ходу.
5. Призначення і будова валів трансмісії.

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. Вертолiт Мі-2. Блок 3 Газотурбiнний двигун. (Категорiя В1.3): Конспект лекцiй. Кременчук: КЛК НАУ, 2015. 227 с.
5. Царенко А.О. «Вертолiт Мі-8Т. Блок 3 Газотурбiнний двигун. (Категорiя В1.3): Конспект лекцiй. 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 трансмісії

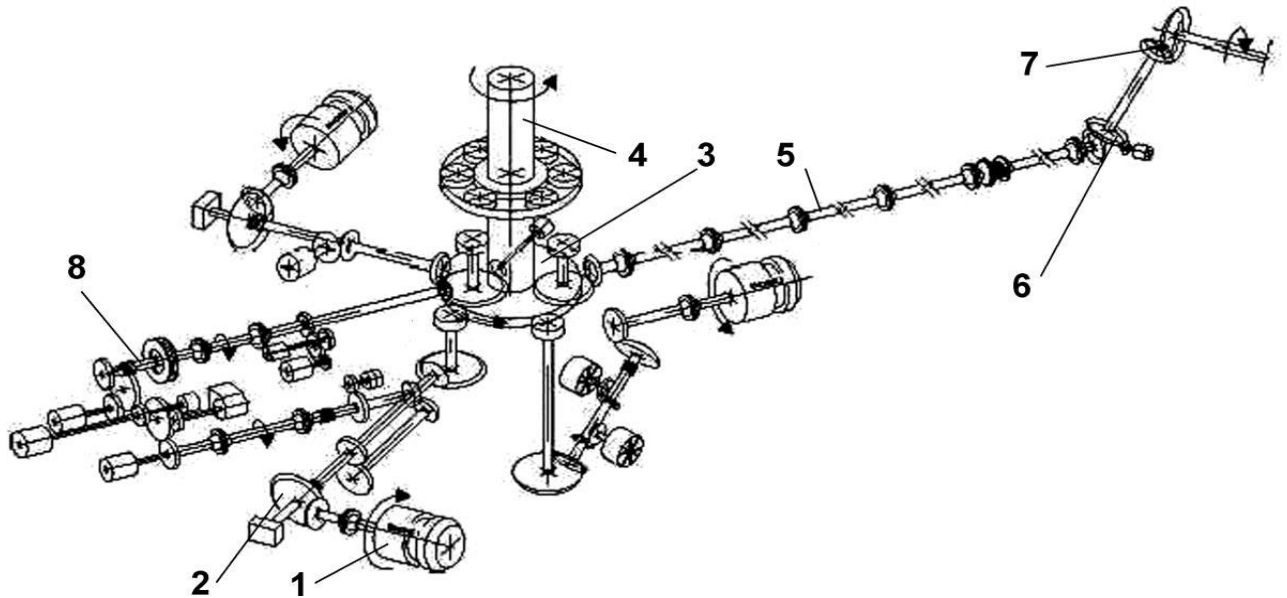
Трансмісія забезпечує передачу крутного моменту від двигуна до несучих, кермових гвинтів і допоміжних агрегатів.

У трансмісію входять наступні основні елементи:

- головний редуктор;
- редуктори двигунів;
- проміжний редуктор;
- хвостовий редуктор;
- муфти включення трансмісії та муфта вільного ходу;
- гальма несучих гвинтів;
- хвостовий вал;
- головні вали.

Схема трансмісії обумовлюється схемою вертольота, числом, типом і розташуванням двигунів. На малюнку 1 представлена схема трансмісії одногвинтового вертольота ЕН-101 із трьома газотурбінними двигунами. Потужність двигунів 1 передається через кутові редуктори, головному редуктору 3, звідки вона розподіляється на несучий гвинт 4, кермовий гвинт і на привід інших агрегатів. Хвостовий вал 5 у місцях зчленувань окремих ділянок

має муфти, що дозволяють здійснювати не тільки кутові, але й поздовжні переміщення вала.



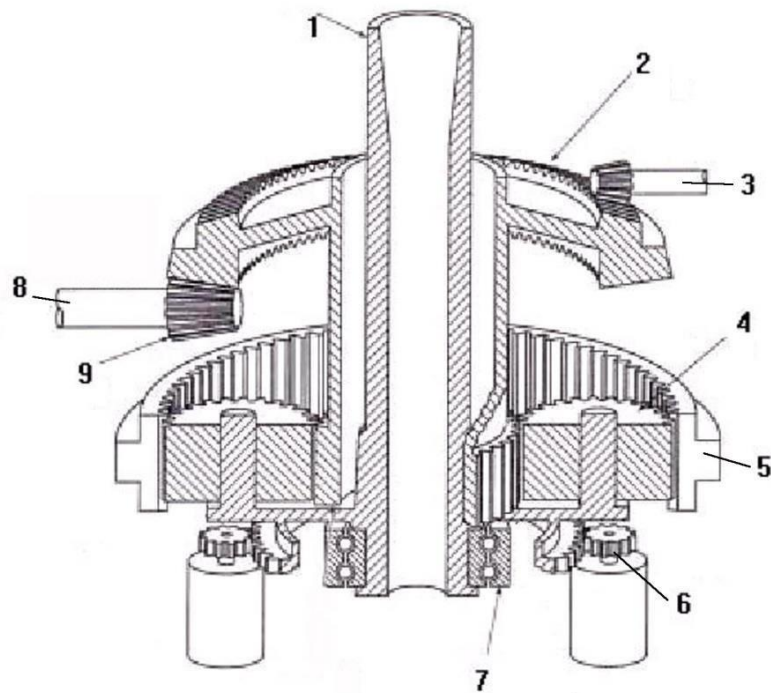
Малюнок 1. Схема трансмісії вертольота EH-101.

1 - двигуни, 2 - кутові редуктори, 3 - головний редуктор, 4- вал несучого гвинта, 5 - трансмісійний вал, 6 - проміжний редуктор, 7 - хвостовий редуктор, 8 - додаткові приводи.

Агрегати трансмісії

Редуктори призначені в основному для зміни частоти обертання на шляху від двигуна, до несучого й кермового гвинтів. Наявність втрат потужності в редукторах приводить до нагрівання їхніх деталей, особливо шестерних передач. За допомогою мастила тепло відводиться до стінок картераредуктора й розсіюється в атмосферу. При невеликій переданій потужності, невеликих втратах у передачі, наявності ребер на зовнішніх стінках картера й достатньої циркуляції повітря навколо картера спеціальної системи охолодження не потрібно. Однак, зі збільшенням переданої потужності, кількість тепла, яку потрібно відводити, настільки зростає, що доводиться використовувати спеціальну систему охолодження, що включає в себе вентилятори, радіатори, фільтри, насоси, системи керування.

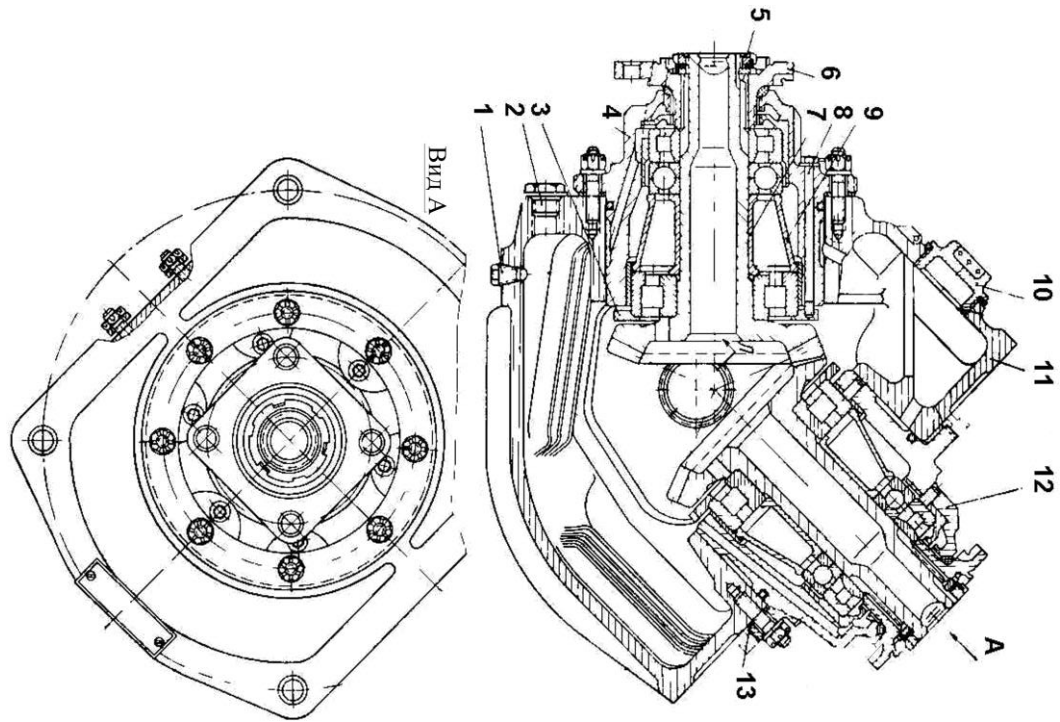
Головний редуктор призначений для передачі крутного моменту від двигуна на вали несучих і гвинтів і забезпечення приводу допоміжних агрегатів (малюнок 2). Головні редуктори звичайно мають велике передатне відношення, обумовлене малою частотою обертання несучого гвинта й великою частотою обертання вільної турбіни двигуна. Вони кріпляться до силових шпангоутів фюзеляжу, які передають на фюзеляж сили й моменти, сприймані картером редуктора.



Малюнок 2. Схема головного редуктора вертольота UH-601 - вал несучого гвинта, 2 - конічне зачеплення, 3 - вихід трансмісійного вала, 4 - планетарне зачеплення, 5 - стаціонарна шестірня, 6 - привід масляного насоса, 7 - підшипник, 8 - вхід від кутових редукторів (від двигунів), 9 - конічне зачеплення

Редуктор звичайно має незалежну від двигунів масляну систему, що приводиться в дію за допомогою шестерних масляних насосів. Насоси містять дві ступені: нагнітаючу й відкачуючу. На виході з нагнітаючого масляного насоса розташовані масляний фільтр і редукційний клапан, що обмежує тиск масла в маслосистемі редуктора. Нагріте масло з редуктора надходить у маслорадіатор, де охолоджується до необхідної температури. У масловідстійник масло з радіатора надходить за допомогою відкачуючого масляного насоса. Корпус масловідстійника має усередині перегородку, призначену для поділу областей холодного й гарячого мастила. У днищі корпусу масловідстійника розміщена магнітна пробка для вловлювання сталевих часток, що потрапили в мастило.

Проміжний редуктор призначений для зміни напрямку приводу. Така зміна забезпечується парою конічних зубчастих коліс, передаточне відношення яких звичайно близько до одиниці. Приклад проміжного редуктора показаний на малюнку 3.



Малюнок 3. Проміжний редуктор.

1 — пробка, 2 — заглушка, 3 — фланець кріплення роликового підшипника, 4 — стакан ведучого зубчастого колеса, 5 — гайка, 6 — шліцевий фланець, 7 — внутрішня розпірна втулка, 8 — болт, 9 — зовнішня розпірна втулка, 10 — суфлер, 11 — картер, 12 — стакан веденого зубчастого колеса.

У картері редуктора вставлені опори ведучого і веденого зубчастих коліс. У верхній частині картера знаходяться отвори для суфлера й масломірної лінійки, у нижній його частині встановлюється датчик температури мастила. Унизу картера звичайно розташований зливний отвір, що закривається пробкою.

Зусилля від кожного зубчастого колеса сприймаються трьома підшипниками: два роликових сприймають тільки радіальне навантаження, а третій радіально-упорний тільки осьове навантаження. Підшипниковий вузол затягається гайкою 5 через розпірну втулку 7 і фланець 6, установлений на шліцах хвостовика шестірні. Щоб уникнути течі мастила уздовж валів їхні виводи захищені лабіринтовими ущільненнями, які захищаються від попадання пилу сальниками, просоченими графітовим змащенням.

На легких і середніх вертольотах у проміжному редукторі застосовується змащення розбризкуванням (барботажем). Ведуче зубчасте колесо, обід якого частково занурений у мастило, при обертанні створює в картері редуктора масляну емульсію, що забезпечує змащення зубів коліс. Для контролю рівня мастила у верхній частині редуктора є масломірна лінійка.

Розташування проміжного редуктора усередині кінцевої балки затрудняє його охолодження. Для поліпшення його охолодження картер редуктора має ребра не тільки зовні, але й зсередини. У верхній частині редуктора встановлений суфлер 10 для стравлювання надлишкового тиску повітря. Суфлер складається з ряду лабіринтових ходів, які перешкоджають витoku назовні мастила у випадку утворення піни. У головці суфлера встановлюються

1 - картер редуктора, 2 - ведуче зубчасте колесо, 3 - підшипник роликовий, 4 - підшипник кульковий, 5 - гільза ущільнювальна, 6 - підшипник кульковий, 7 - вал ведучий, 8- стакан підшипників ведучого зубчастого колеса, 9 - манжета гумова армована, 10- втулка ведучого зубчастого колеса, 11 - ведене зубчасте колесо, 12 - підшипник роликовий, 13 ведене зубчасте колесо, 14 - кришка картера, 15 - шток керування кроком лопат, 16- вал ведений, 17 - кришка лабіринтового ущільнення, 18, 19 - підшипник кульковий, 20 - кишеня -

уловлювач масла, 21 - підшипник роликів, 22 - гільза шліцева, 23 - стакан підшипників штока, 24 - підшипник кульковий, 25 - черв'як штока, 26 - корпус зірочки керування кроком лопат.

Картер має три циліндричні розточення, у які встановлюються стакан із ведучим зубчастим колесом, кришка з веденим зубчастим колесом і вузол штока керування хвостовим гвинтом. Ведуче зубчасте колесо 5 насаджене за допомогою шліц на пустотілий вал. Верхня частина вала ведучого зубчастого колеса з'єднана шліцями із ведучим валом 7 хвостового редуктора. Цей вал, крім шліц, опирається на кульковий підшипник 6. На іншому кінці валатакож є шліци, на які надівається кінцевий вал. Ведений вал хвостового редуктора закріплений у дворядному кульковому підшипнику й з'єднується з веденим зубчастим колесом також за допомогою шліц. До фланця зовнішнього кінця веденого вала кріпиться втулка кермового гвинта.

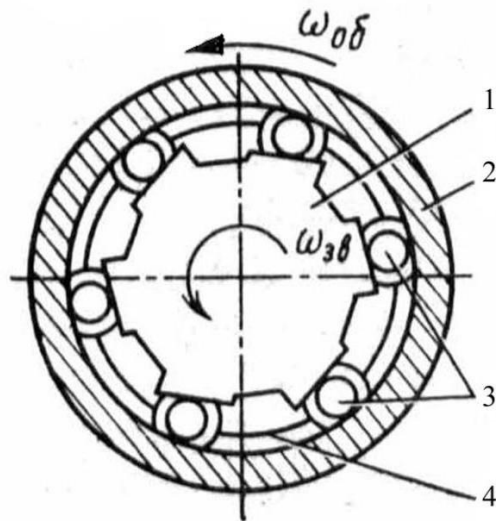
Змащення у хвостових редукторах аналогічні змащенню в проміжних редукторах.

Муфти. Трансмсія вертольота може мати муфти включення, зчеплення й вільного ходу. Іноді можна зустріти комбіновані муфти, які виконують кілька функцій.

Муфти включення, якщо вони не є одночасно й муфтами зчеплення, розраховуються на передачу невеликого крутного моменту при малій частоті обертання несучого гвинта й мінімальному куті установки лопат. Муфти включення бувають фрикційні, що приводяться в дію ручним керуванням, або автоматичне, виробляючи включення при певній частоті обертання двигуна. Найчастіше муфта включення виконується в одному агрегаті з муфтою зчеплення, що з'єднує двигун із трансмісією після того, як муфта включення перестає прослизати й несучий гвинт досягає потрібної частоти обертання. Найчастіше муфти зчеплення й включення використовуються на вертольотах з поршневиими двигунами, однак останнім часом іноді їх встановлюють на літальні апарати з газотурбінними двигунами. Такий вертолёт може мати запущений на малому газі двигун із загальмованим несучим гвинтом.

Муфта вільного ходу (обгінна муфта) перериває зв'язок непрацюючого двигуна з обертовим несучим гвинтом. Вимикання муфти відбувається автоматично, коли число обертів зірочки стає менше числа обертів зовнішньої обойми. Це дозволяє вертольоту здійснювати політ з одним виключеним двигуном і на режимі авторотації не обертаючи непрацюючу силову установку.

Муфта вільного ходу представлена на малюнку 5 складається із зовнішньої обойми 2 і зірочки 1, між якими розташований сепаратор 4 із циліндричними роликами 3.



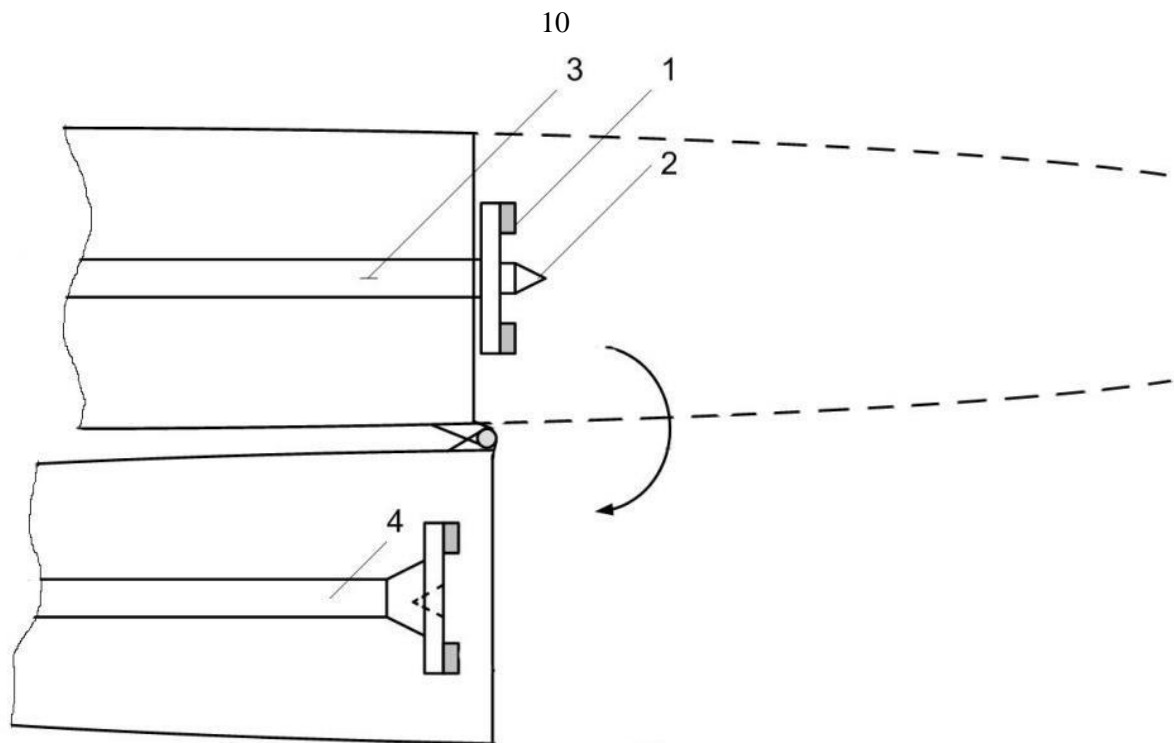
Малюнок 5. Схема муфти вільного ходу.

1- зірочка, 2 - обойма, 3 - ролики, 4 - сепаратор.

Сепаратор служить для запобігання перекосів роликів відносно робочих поверхонь зірочки й зовнішньої обойми, а також для забезпечення одночасного включення всіх роликів. У муфті вільного ходу ведучою деталлю є зірочка, пов'язана з валом вільної турбіни, а веденою - зовнішня обойма, пов'язана із вхідним валом редуктора.

Муфта вільного ходу включається автоматично при обертанні зірочки за годинниковою стрілкою в результаті заклинювання роликів між робочими поверхнями зірочки й внутрішньою поверхнею зовнішньої обойми. Робочі поверхні зірочки й зовнішньої обойми виконані з невеликим конусом, для кращого розподілу навантаження на ролики, при деформації обойми під навантаженням.

Сполучна муфта. У випадку застосування одногвинтових вертольотів у якості корабельних, їхня хвостова балка складається вперед шляхом повороту щодо вертикальної осі (малюнок 6). Трансмісійний вал при цьому розділений, і має стикувальний пристрій, що складається з напрямного конуса 2 і зубчастого вінця 1 на передній частині 3 і відповідного вінця на задній частині вала. При поверненні вала в робочий стан, конус, потрапляючи в отвір забезпечує центрування вала. Зубчасті вінці при цьому передають потужність від передньої частини вала до заднього.

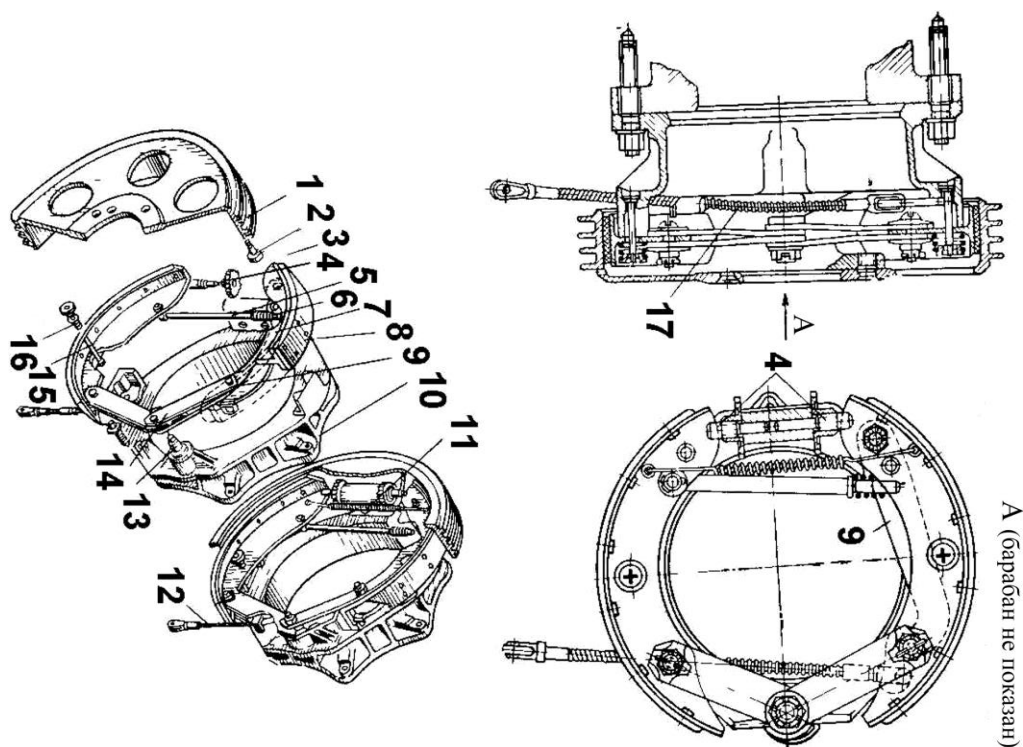


Малюнок 6. Схема розстикування трансмісійного вала на корабельних одногвинтових вертольотах (вид зверху).

1 - зубчастий вінець, 2 - напрямний конус, 3 - передня частина трансмісійного вала, 4 - задня частина трансмісійного вала.

Гальма несучого гвинта. У більшості вертольотів у систему трансмісії уведене гальмо з метою більш швидкої зупинки несучого гвинта після виключення двигунів й запобігання розкручування його на стоянці. Керування гальмом здійснюється з кабіни льотчика.

На малюнку 57 зображено фрикційне гальмо, розміщене на приводі хвостового гвинта на виході з головного редуктора.



Малюнок 7. Гальмо несучого гвинта.

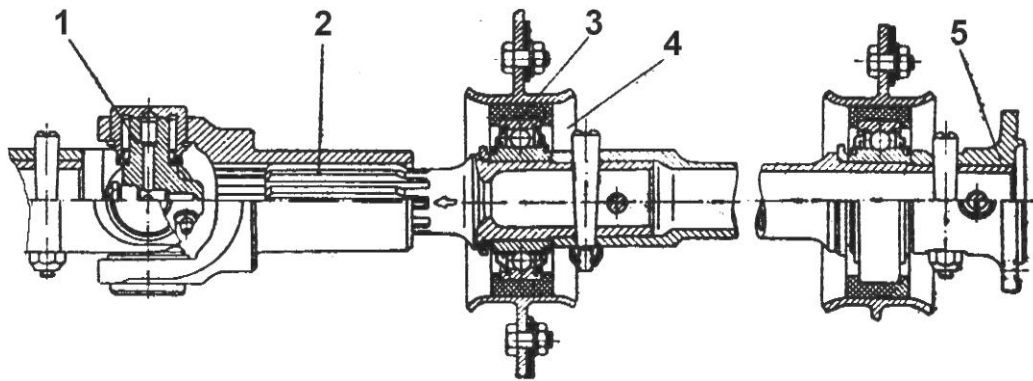
1 - барабан гальма, 2 - гвинт розтискного важеля гальма, 3 - маховик регулювання гальма, 4 - регулювальний гвинт, 5 - розпирний стрижень, 6 - пружина стрижня, 7 - гальмова колодка, 8 - фрикційна накладка, 9 - розтискний важіль, 10- кронштейн гальма, 11 - стяжна пружина, 12 - трос керування гальмом, 13 - упорний палець колодок, 14 - ланка колодки гальма, 15 - стрижень притискноїчашки, 16- пружина стрижня, 17 -пружина троса керування гальмом.

Гальмо - колодкового типу, з механічним керуванням за допомогою троса. Кронштейн 10 гальма кріпиться до корпусу головного редуктора. За допомогою пружини 11 колодки із прикріпленими до них фрикційними накладками притискаються до кронштейна. Гальмування здійснюється притисненням фрикційних колодок до гальмівного барабана 1, що кріпиться до фланця хвостового вала. Передача гальмового моменту із фрикційних колодок на упорний палець 13 здійснюється шарнірними ланками 14, що підтримують гальмові колодки з одного кінця. Іншими кінцями колодки входять у пази регулювальних гвинтів 4. Підвіска колодок на шарнірних ланках дає їм можливість самостійно встановлюватися щодо барабана й забезпечує їхнє рівномірне зношування. Притиснення колодок до барабана здійснюється системою важелів і тяг. Трос 12 тягне за гачок розтискного важеля 9, що закріплений шарнірно на одній з колодок. При повороті розтискного важеля навколо гвинта розпирний стрижень 5 притискає нижню колодку до барабана гальма. Коли колодка притискається до барабана, важіль 9 починає повертатися навколо верхнього кінця розпирного стрижня 5, притискаючи до барабана верхню колодку. Правильне розташування розпирного стрижня щодо важеля забезпечується пружиною 6, що входить у виріз важеля.

Коли трос не натягнуть, він притискається пружиною 18, а колодки відтягаються від барабана стяжною пружиною 11. При цьому стягування колодок відбувається до їхнього упору в пази регулювальних гвинтів 4.

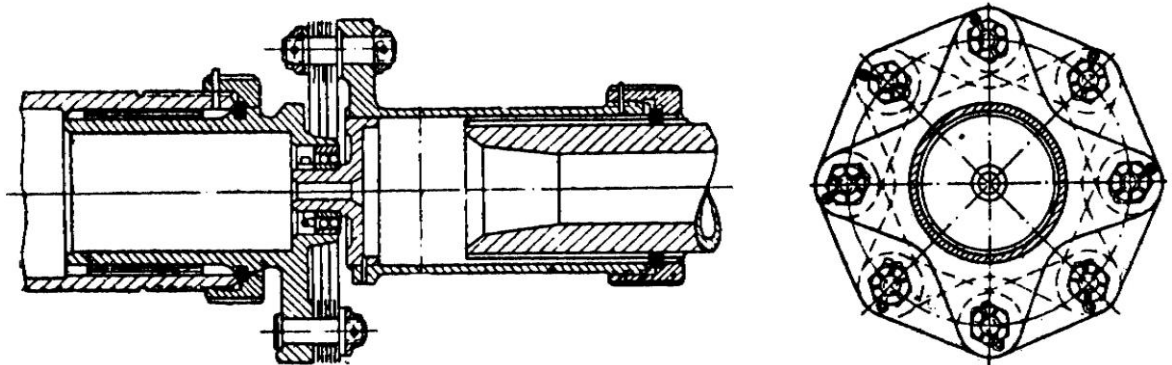
Трансмiсійні вали. Вали, що з'єднують двигун з редукторами несучих гвинтів або редуктор несучого гвинта із хвостовим редуктором мають велику частоту обертання (звичайно 1-3 тисячі обертів у хвилину). На малюнку 8 наведений варіант елемента хвостового вала. Вал опирається на підшипники кочення потребуючі змащення й постійний контроль. Опори доцільно амортизувати гумовими втулками на болтах, що кріпить обойми, або гумовими кільцями в обоймах підшипників, для того щоб можливі биття валів не передавалися на конструкцію вертольота.

Тому що хвостова балка, уздовж якого проходить трансмісійний вал, може деформуватися в процесі польоту, вал повинен витримувати кутові й лінійні переміщення. Для цього звичайно вали робляться розрізними, а з'єднання валів виконуються у вигляді шліцевих муфт, карданів, пружних і еластичних муфт. Приклад пружної муфти показаної на малюнку 9 складається з набору гнучких металевих пластин, закріплених одною стороною до ведучого вала, а іншої до веденого.



Малюнок 8. Елементи хвостового вала.

1 - карданне з'єднання, 2 - шліцеве телескопічне з'єднання, 3 - гумова прокладка,
4 - проміжна опора, 5 - сполучний фланець.



Малюнок 9. Установка пружної муфти на трансмісійний вал.

По співвідношенню власних і змушених частот коливань трансмісійні вали діляться на докритичні й свержкритичні. На докритичних валах частота обертання нижче резонансної частоти. Протягом тривалого часу у вертольотобудуванні застосовувалися тільки такі трансмісійні вали. На сучасних вертольотах все частіше використовують свержкритичні вали. Вони мають більшу довжину й внаслідок цього малу жорсткість, що забезпечує низькі частоти власних коливань. У результаті резонансні частоти опиняються нижче робочої частоти обертання й це не приводить до надмірного збільшення амплітуди в польоті. Однак резонанс на валах настає при розкручуванні й гальмуванні несучого гвинта, тому в такій системі обов'язково повинні бути передбачені гасителі коливань.

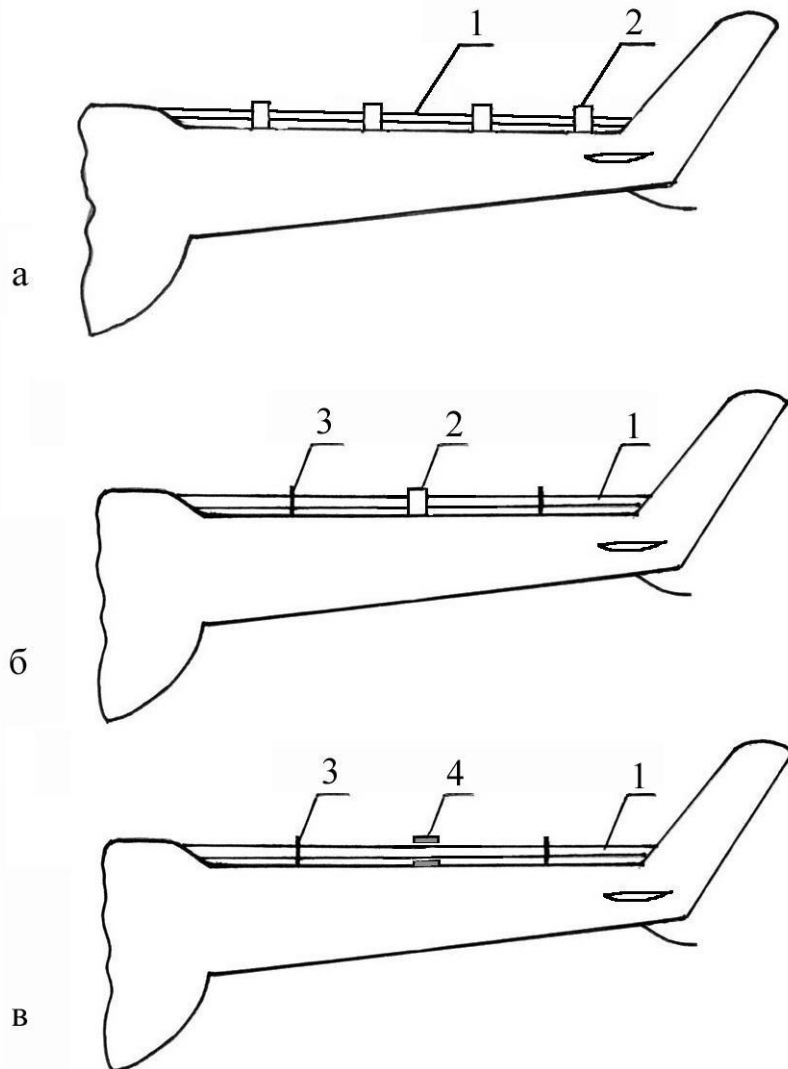
Використання довгих свержкритичних валів дозволяє зменшити кількість опор в 2-3 рази, зменшити вагу, спростити обслуговування, підвищити надійність.

На малюнку 10 а, б представлена класична трансмісійна схема з великою кількістю опор і свержкритичний вал, що складається з 2-х окремих відрізків. Для запобігання надмірного биття цього вала на резонансній частоті посередині кожного відрізка встановлені гасителі коливань. Гасителі можуть

мати найпростішу конструкцію, наприклад, у вигляді металевих обмежувачів із внутрішнім фторопластовим кільцем.

Крім того, в останні роки ведеться впровадження електромагнітних опор підшипників. Такі опори не вимагають змащення й практично не піддані зношуванню. Однак, найважливіше вони практично не дають втрат тертя, які споживають значну частину потужності двигунів.

Ще одним напрямком створення високоефективних трансмісійних валів є застосування пружних валів. Раніше описані конструкції вимагали фізичного поділу відрізків, необхідного для синхронізації деформації вала з деформаціями фюзеляжу. Пружні конструкції мають на увазі можливість кутової деформації без руйнування. Застосування електромагнітних опор і спеціальних муфт на вході й виході вала дозволяє йому мати поздовжні лінійні переміщення. Комбінація із цими пристроями забезпечує застосування єдиного нерозрізного вала, що має низьку вагу й високі експлуатаційними характеристиками (малюнок 10в).



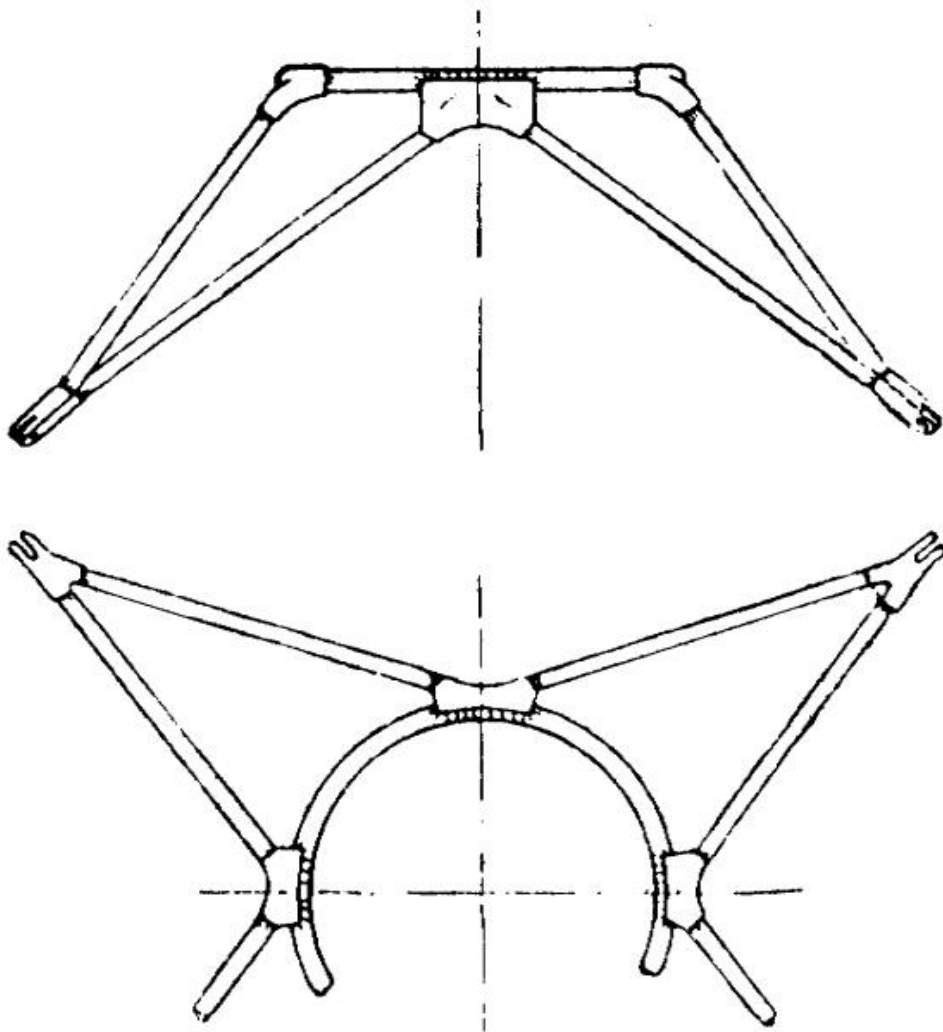
Малюнок 10. Схема «класичного» (а), сверхкритичного (б) і пружного сверхкритичного (в) трансмісійного вала.

1 - відрізок вала, 2 - опора вала, 3 - гаситель коливань, 4 -

електромагнітний підшипник.

Система кріплення головного редуктора зв'язує головний редуктор з фюзеляжем вертольота.

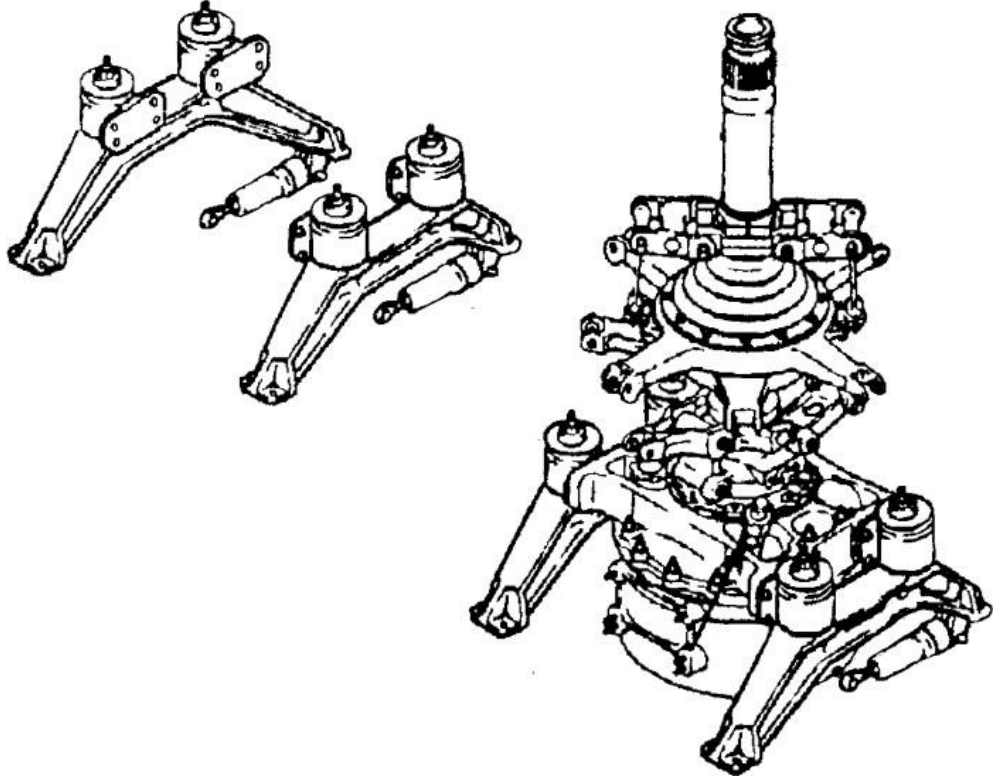
Одним з розповсюджених варіантів кріплення редукторів несучих гвинтів до фюзеляжу є підредукторна рама (малюнок 11), у якій всі навантаження передаються через 8 прямолінійних стрижнів. Існує ще кілька способів кріплення головного редуктора. Один з варіантів це кріплення не за допомогою єдиної рами, а за допомогою окремих стрижнів. Тоді їхня кількість може бути іншою, наприклад, дорівнює 7.



Малюнок 11. Підредукторная рама.

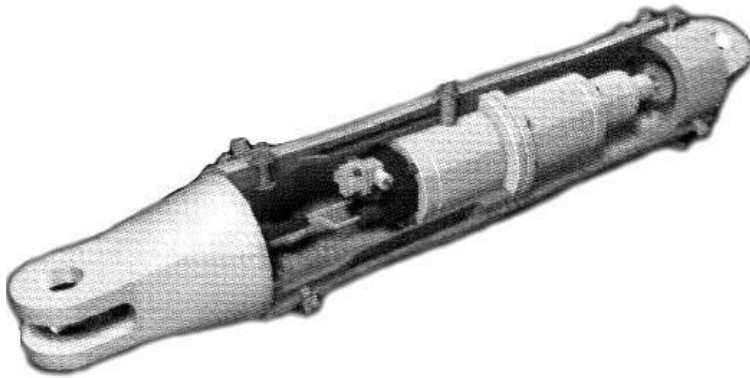
Системи кріплення головного редуктора передають на фюзеляж вібраційні коливання несучого гвинта й редуктора. Високі рівні вібрації позбавляють комфорту пасажирів, збільшують утому екіпажа, знижують надійність і довговічність обладнання. Працюючи над методами зниження цієї вібрації, у світі розроблений цілий ряд способів кріплення редукторів з використанням

засобів активної або пасивної віброізоляції. Наприклад, у вузлах кріплення підредукторної рами до фюзеляжу можуть бути встановлені невеликі гумові амортизатори. Більш ефективним способом захисту від коливань є установка головного редуктора на віброізолятори й демпфери (малюнок 12). Однак вібраційний захист за допомогою пасивних засобів виявляється малоефективним при збудженні коливань в області низьких частот, а також при дії вібрації із широким спектром.



Малюнок 12. Кріплення головного редуктора за допомогою системи віброізоляторів і демпферів.

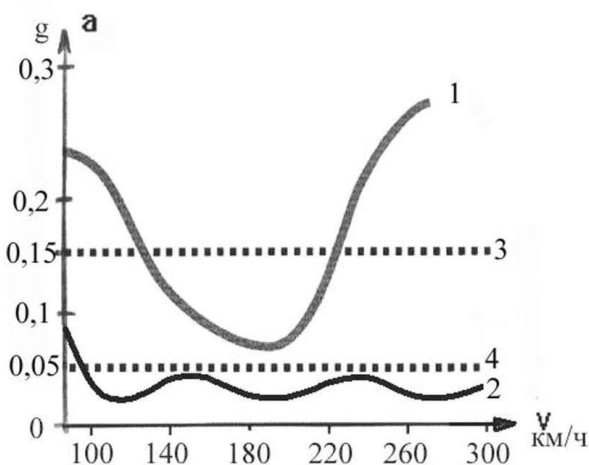
Найефективнішим засобом зниження вібрації на сьогоднішній день є використання систем активних опор. У цьому випадку для кріплення головного редуктора використовуються стрижні, які можуть змінювати свою довжину під дією електричного струму (малюнок 13). Така система кріплення редуктора, крім стрижнів містить чутливі елементи й керуючі пристрої. Як чутливі елементи використовуються датчики, що реєструють вібраційні параметри - акселерометри. Сигнали датчиків використовуються для формування сигналів керування. Керуючий алгоритм обробляє їх і розраховує додаток керуючих зусиль. Після посилення сигнали подаються в активні опори, що створюють керуючі дії - наприклад піднімання або опускання редуктора в залежності від виду й фази коливань. Таким чином, активні опори самі трясуть головний редуктор.



Малюнок 13. Розріз однієї з активних опор головного редуктора вертольота ЕН-101.

У результаті взаємодії вібрації, індукованою опорою з тієї, котра передалася від несучого гвинта, коливання фюзеляжу зменшуються (малюнок 14). Така система опор дозволяє гасити вібрацію на декількох гармоніках у широкому спектрі частот. Однак недоліками її є значна складність конструкції опор і висока вартість.

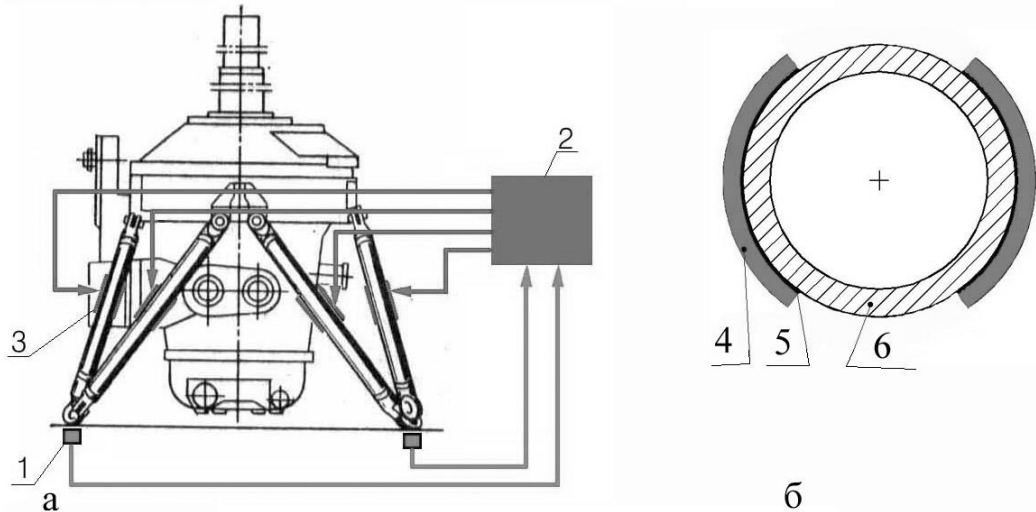
Більш простим варіантом активної системи зниження вібрації є система зниження шуму. Найбільші шуми також приходять усередину вертольота від редуктора й несучого гвинта у вигляді високочастотної вібрації (1-3 кГц) через опори редуктора.



Малюнок 14. - Вертикальні віброприскорення вертольота ЕН101 із включеним віброгасником і без. 1 - виключена система віброгашення, 2 - включена система віброгашення, 3 - закордонні військові вимоги, 4 - величина, рекомендована для сучасних цивільних вертольотів.

Застосування активних «антишумових» опор дозволяє, наприклад, пасажирам використовувати мобільні телефони без спеціальних навушників. Роботи із впровадження таких систем ведуться в багатьох країнах світу. Цьому сприяє не тільки простота, але й можливість встановлювати систему на вже існуючий вертоліт, без зміни його конструкції. Система являє собою комплекс вимірника вібрації, пристрою й активатора (малюнок 15а). Активатор придушує коливання, шляхом додатка керуючих силових впливів використовуючи для формування керування результати виміру вібрації в опорі.

При цьому активатори звичайно виконуються у вигляді тонкостінних пластин п'єзоелементів приклеєних на типові опори головного редуктора (малюнок 15б). Пластинки викликають мікропереміщення в опорах (порядку 0,5 мкм), що є достатнім для зниження шуму від головного редуктора й несучого гвинта. Наприклад, на вертольоті ВК117 опори знижують пікову звукову частоту на 11 дБ.



Малюнок 15. - Схема бортової активної системи зниження шуму вертольота (а) і перетин опори з активатором (б).

1 - трикомпонентний акселерометр, 2 - керуючий блок, 3 - активатори, 4 - п'єзоелектричні пластини, 5 - клейовий шар, 6 - металевий стрижень опори головного редуктора.