

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

**Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

з навчальної дисципліни  
«Повітряні кораблі (принципи польоту, конструкції обладнання) загальні знання  
конструкції повітряних суден» обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми  
першого (бакалаврського) рівня вищої  
освіти

**Аеронавігація**

**За темою № 1 Загальні поняття про конструкцію повітряних суден**

**Харків 2021**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 23.09.21р. № 8

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного  
коледжу Харківського  
національного університету  
внутрішніх справ  
Протокол від 22.09.21р. № 2

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 22.09.21р. № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 30.08.2021 № 1

**Розробник:**

1. викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, викладач вищої категорії, викладач методист Дерев'янка Іван Григорович

**Рецензенти:**

1. викладач циклової комісії аеронавігації Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист, к.т.н., с.н.с. Тягній В.Г.;

2. завідувач кафедри технологій аеропортів Національного авіаційного університету, д-р техн. наук, професор Тамаргазін О.А

**План лекції:**

1. Призначення, поставлені вимоги, основні схеми шасі, їх параметри, переваги, недоліки, галузь використання.
2. Призначення, різновиди, складові частини, схеми кріплення коліс шасі.
3. Призначення і типи гальмових пристроїв коліс. Будова, принцип дії, переваги і недоліки кожного типу гальма.
4. Призначення, вимоги, основні поняття, види амортизаторів.
5. Складові частини і робота рідинно-газового амортизатора.

**Рекомендована література:**

1. Бойко А.П., Мамлюк О.В., Терещенко Ю.М. «Конструкція літальних апаратів», К.: Вища освіта, 2001. – 383 с.
2. Володко А.М., Літвінов А.Л. "Основи конструкції та технічної експлуатації одновинтові вертольотів", М: 1986.
3. <http://www.twirpx.com/files/transport/aircrafting/construction/helicopters/>

## Текст лекції

### 1. Призначення шасі й вимоги до нього

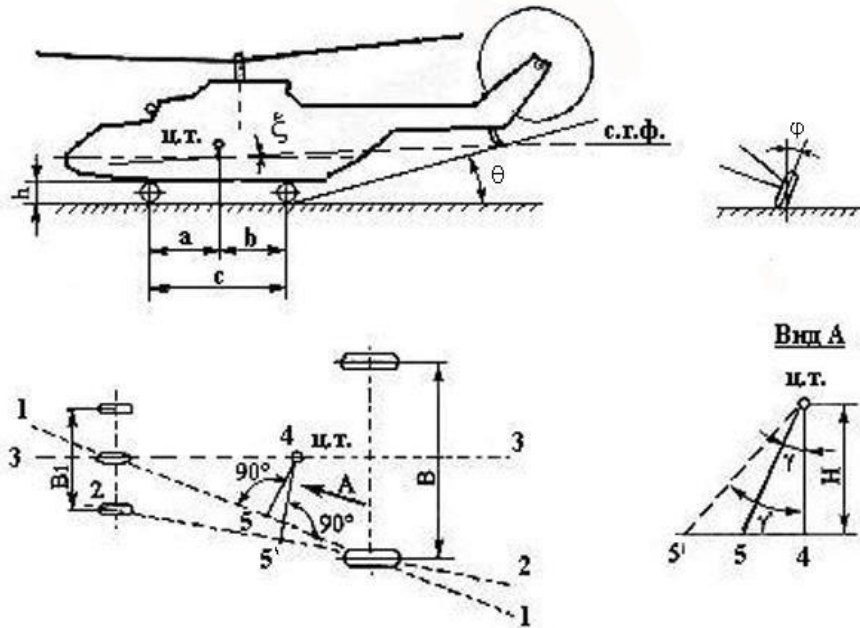
Злітно-посадочні пристрої вертольотів - шасі - призначені для переміщення по злітно-посадочній смугі й сприйняття кінетичної енергії удару при посадці.

Існує кілька схем шасі: колісне, полозкове, лижне, поплавкове, та ін. Посадкові пристрої можуть бути також виконані й у вигляді комбінації із двох схем. Наприклад, на вертольоті-амфібії посадковими пристроями є човен і колісне шасі. Лижне шасі може бути виконане в комбінації колісними. На деякі варіанти вертольотів установлюються баллонети для виконання аварійних посадок на воду.

Найчастіше на вертольотах застосовується колісне шасі. На стоянці вертолiт має або чотири точки опори, розташовані симетрично щодо осі фюзеляжу, або три точки опори - дві опорні точки розташовані симетрично щодо осі фюзеляжу вертольота – це головні опори шасі, третя опорна точка розташовується по осі фюзеляжу вертольота – це хвостова або передня (носова) опора шасі. Головні опори шасі розташовані поблизу центра ваги вертольота, а третя його опора на значному видаленні від центра ваги. Схема шасі з переднім колесом забезпечує гарну шляхову стійкість і огляд при розбігу й пробігу. Шасі з носовим колесом має на кінці хвостової балки опору, для запобігання від удару об землю при грубій посадці.

Основні параметри шасі з носовою опорою указані на малюнку 1.

Відстань від коліс головних опор шасі до центра ваги вертольота вибирають виходячи з того, що на ці колеса повинно приходиться 85-90 % ваги вертольота. Таке розташування навантаження забезпечує поздовжню стійкість вертольота й шляхове керування при маневруванні. Величина **b** повинна бути такою, щоб вертолiт при завантаженні через вантажний люк, посадці на головні колеса й рухові по землі не перекидався на хвостову опору. Величина **c**, називається базою шасі. Мінімально необхідна колія шасі **B** визначається з урахуванням поперечної стійкості вертольота. При великій колії вертолiт стає чутливим до ударів в колеса головних опор шасі внаслідок зростання моменту нищпорення, при малій – не забезпечується поперечна стійкість вертольота. Кут перекидання  $\Theta$  обумовлюється з умови безпеки посадки вертольота на режимі авторотації. Кут, утворений перпендикуляром, опущеним із центра ваги вертольота на лінію, що з'єднує точки дотику носового колеса й одного з коліс головних опор шасі, і вертикальну, опущеної із центра ваги, називається протикапотажним кутом  $\gamma$ . Він вибирається таким, щоб виключити бічне перекидання вертольота ( $\gamma > 35 \dots 40 \dots 40^\circ$ ), ут значно збільшується якщо використовується дві носові стійки. Стояночний кут  $\xi$  (між будівельною горизонталлю фюзеляжу вертольота й поверхнею посадкової площадки) необхідний для полегшення руху вертольота по землі ( $\xi = 2 \text{—} 3^\circ$ ) або завантаження через задній вантажний люк (тоді кут  $\xi$  негативний).



Малюнок 1. Параметри шасі з носовою стійкою:

$h$  - відстань від поверхні посадкової площадки до нижньої точки елемента фюзеляжу; ц.т. - центр ваги вертольота;  $\xi$  - стояночний кут;  $($  - кут перекидання;  $a, b$  - винос коліс;  $z$  - база шасі;  $B$  - колія шасі;  $($  - розвал коліс; 1 - 1, 2 - 2 - вісь повороту вертольота; 3 - 3 - вісь симетрії вертольота; ц.р.ф. - будівельна горизонталь фюзеляжу;  $H$  - відстань ц.т. до поверхні посадкової площадки;  $\gamma$  - кут перекидання (протикапотажний кут); 4, 5, 5' - точки перетинання

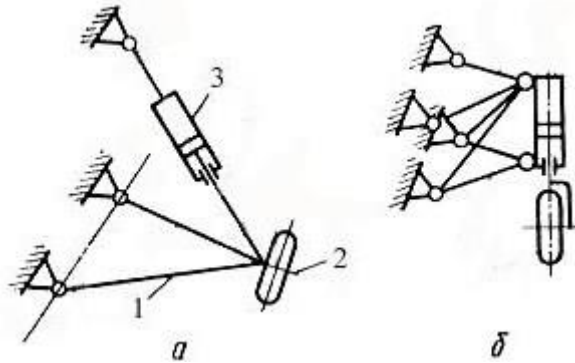
## 2. Конструктивно-силові схеми стійок колісного шасі

Сукупність всіх елементів, що передають навантаження від коліс до планера вертольота, називаються стійкою шасі.

Для найпоширенішого, колісного шасі використовуються фермові, балочні, і важільні схеми.

Фермові стійки шасі мають більші розміри, значний аеродинамічний опір і істотно псують зовнішній вигляд вертольота. Фермова пірамідальна силова схема (малюнок 90а) складається із трьох стрижнів, які шарнірно кріпляться до силових елементів нижньої частини фюзеляжу. Вони сприймають бічні й лобові навантаження від колеса. Кінетична енергія вертольота при посадці сприймається амортизатором, убудованим у стрижень ферми. Щоб наприкінці обтиснення колесо мало максимальну площу контакту із ґрунтом, воно в не обтиснутому стані повинне мати кут розвалу. Кут розвалу не повинен перевищувати величину, при якій можливий зрив протектора в процесі обтиснення амортизатора при зміні колії шасі. Шток амортизатора сприймає тільки осьові сили, що створює сприятливі умови роботи ущільнень.

У фермовій опорі з вертикальною стійкою (малюнок 90б) при обтисненні амортизатора площина колеса не міняє свого положення, тому умови роботи пневматика більше сприятливі, чим у попередній схемі, однак конструкція виходить більш громіздка.

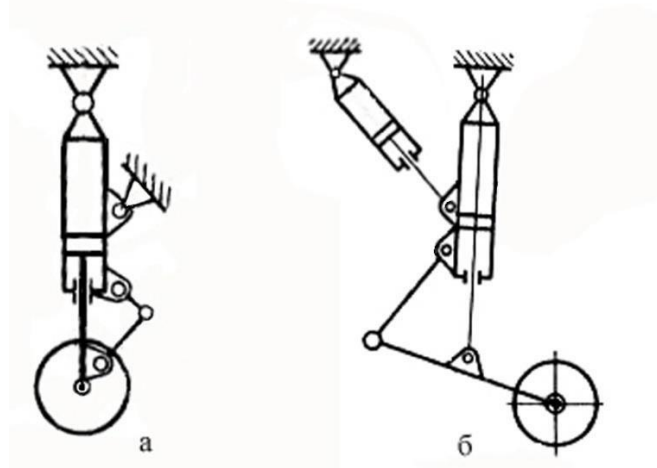


Малюнок 2. Силова схема фермової опори  
а - пірамідального типу, б - з вертикальною стійкою.  
1 - підкоси, 2 - колесо, 3 - амортизатор.

Балочна конструкція стійки шасі являє собою консольну балку, прикріплену до пілонів фюзеляжу, що навантажується у верхній частині більшим згинальним моментом (малюнок 91а). Балочні амортистойки кріпляться до планера вертольота таким чином, щоб сприймалися всі види навантаження зі стійки на каркас вертольота. Основною відмінністю балочної опори, крім його компактності, є навантаження штока амортизатора, що сприймає не тільки осьову, але й поздовжню й поперечну силу. Тому можлива поява великого зусилля тертя в буксах амортизаторів.

Для виключення повороту колеса щодо амортизаційної стійки звичайно встановлюється шліц-шарнір. При відсутності навантаження на колесо кут між ланками шліц-шарніра повинен бути менше  $150^\circ$  для виключення заклинювання його при обтисненні амортизатора.

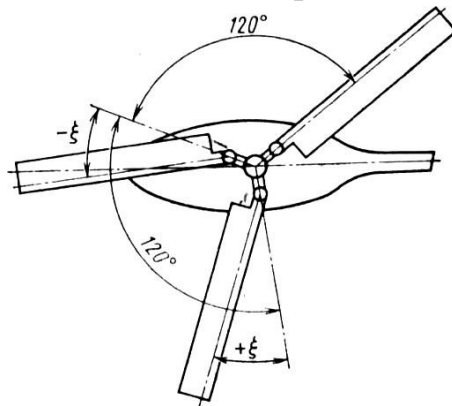
При необхідності зменшити висоту опори шасі застосовують важільну установку колеса (малюнок 91б). Вона дозволяє значно збільшити хід колеса при невеликому ході амортизатора.



Малюнок 3. Схема балочної опори шасі (а) і важільної опори з механізмом прибирання (б).

### 3. Земний резонанс

У вертольота, що перебуває на поверхні землі, з якої-небудь причини лопати можуть повернутися на вертикальних шарнірах і зайняти положення, показане на малюнку 92. Центр ваги гвинта при цьому не співпадає з віссю вала. З'явиться відцентрова сила, що при обертанні спричинить гармонійні реакції в опорах вала. Ці реакції діють на фюзеляж. Однак внаслідок обтиснення амортизаційних стійок і деформації пневматиків коліс з'являються коливання вертольота під час руху на землі.



Малюнок. 4. Гвинт із відхиленими щодо вертикального шарніра лопатами.

Коливання фюзеляжу на податливому шасі можуть збігатися по частоті з коливаннями лопат щодо вертикальних шарнірів. Коливання можуть інтенсивно зростати в деякому діапазоні кутових швидкостей і протягом невеликого проміжку часу привести до руйнування літального апарата. Таке явище називається земним резонансом.

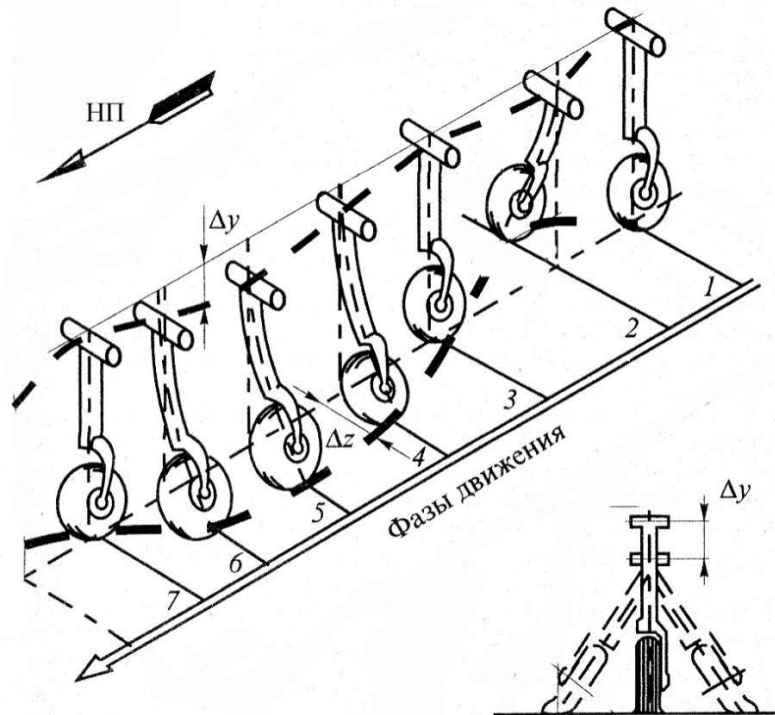
Земний резонанс можна знизити, ввівши демпфірування. Воно повинне бути забезпечене як у вертикальному шарнірі, так і в амортизаційній стійці. Встановлений на вертикальному шарнірі демпфер дозволяє знижувати коливання описаного типу. Досить ефективним засобом зниження земного резонансу є використання амортизаторів, ефективних на всіх наземних режимах або введення спеціальних демпферів поперечних коливань вертольота. У цілому, кожний тип вертольота проходить перевірку на можливість земного резонансу й відбудування власних частот коливань.

### 4. Шіммі

Колеса головних опор шасі звичайно виконуються з гальмами. Носове (хвостове) колесо звичайно робиться таким, що самоорієнтується. У результаті вільної орієнтації колеса на передній стійці шасі можуть виникнути поперечно-крутильні коливання – **шіммі** (малюнок 5), що

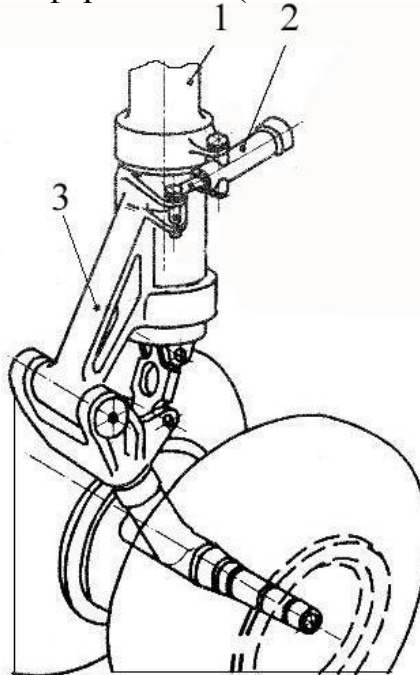


відбуваються в результаті взаємодії сил реакції з боку злітно-посадочної смуги, інерційних і пружних сил конструкції.



Малюнок 5. Вид коливань типу шіммі

Явище шіммі можна усунути установкою на передній стійці шасі двох коліс із виносом їхньої осі обертання назад стосовно осі амортизатора або установкою спеціального демпфера шіммі (малюнок 94).



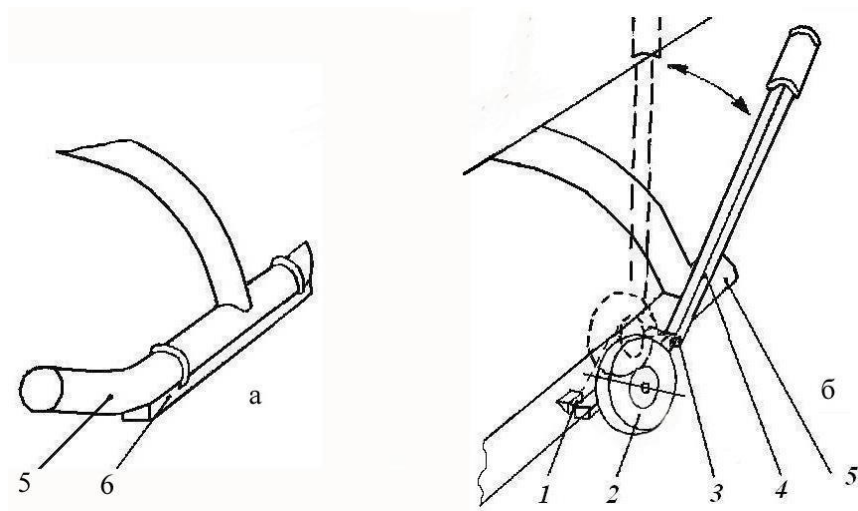
Малюнок 6. Установка демпфера шіммі на стійці шасі.

1 - нерухлива частина стійки шасі, 2 - демпфер, 3 - обертова частина стійки.

## 5. Неколiснi й комбiнованi види шасi

Крiм колiсного шасi, на легких i надлегких вертольотах застосовують полозкове шасi. Воно має просту конструкцiю, меншу масу й менший аеродинамiчний опiр. До недолiкiв полозкового шасi варто вiднести неможливість посадки вертольота iз пробiгом i зльоту з розбiгом, а також маневрування по землi. Амортизацiя в такому шасi вiдбувається або за рахунок вигину пiдкосiв, що крiплять полози до фюзеляжу, або за рахунок додаткових амортизаторiв. Однак, однi пiдкоси забезпечують низькi демпфiруючи властивостi.

При використаннi полозкiв також необхідна хвостова опора. Для захисту вiд нерiвностей посадкових площадок i ерозiї нижньої поверхнi полозiв до них за допомогою хомутiв часто крiплять титановi накладкi. Перемiщення по землi провадиться за допомогою колiс на кривошипному механiзми, що прикрiплюються до кожного полоза в районi центра мас лiтального апарата. Колесо встановлюють так, щоб при поворотi кривошипа воно опускалося нижче полоза. Великий важiль дозволяє однiй людинi пiдняти вертолiт на невелику висоту, а нескладний фiксатор закрiплює вiсь колеса на рiвнi полоза. Тому що колеса закрiплюються в районi центра мас, невелике вертикальне зусилля, прикладене до носової або хвостової частини, дозволяє пiдтримувати вертолiт у горизонтальному положеннi на двох колесах. У такому станi вертолiт можна пересувати по землi.



Малюнок 7. Установка захисних накладок (а) i знімних колiс (б) на полозкове шасi.  
1-вiсь обертання, 2-колесо, 3-фiксатор, 4- зiмний важiль, 5-полозок, 6-захисна накладка.

Для посадки вертольота на воду нижню частину фюзеляжу вертольота виконують у виглядi човна, форму й перетин якого визначають iз умови мiнiмального опору при розбiгу й вiдривi вiд водної поверхнi.

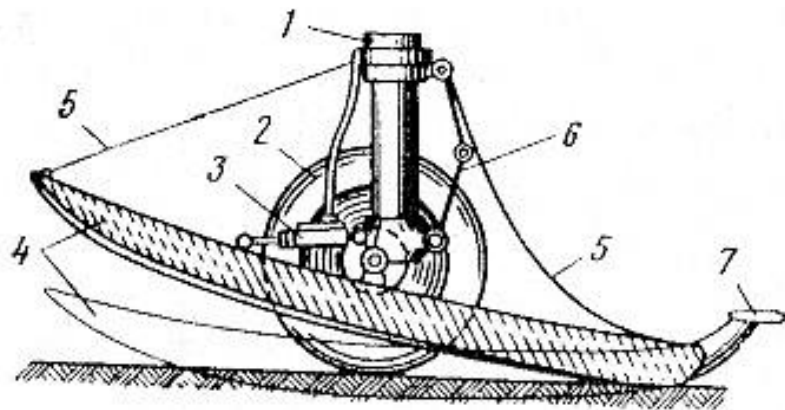
Поплавки, установленi з бокiв фюзеляжу забезпечують поперечну стiйкiсть. Човен й поплавки складаються з iзольованих друг вiд друга

герметичних відсіків, що необхідно для забезпечення плавучості й стійкості при невеликому ушкодженні днища човна або поплавків. Посадка на суші здійснюється на колісне шасі. У поплавах звичайно встановлюють головні опори шасі, а на човні - хвостову опору або носову стійку. Для усунення пікіруючого моменту й нищпорення при посадці на воду й зменшення гідравлічного опору при переміщенні по воді опори шасі вбираються й випускаються при посадці вертольота на сушу.

Для аварійної посадки вертольота на воду застосовують гумові балони, які заповнюються газом у момент дотику водної поверхні. Аварійні балони забезпечують надійну плавучість і стійкість на поверхні води. У польоті балони можуть бути покладені як у внутрішні відсіки повітряного судна, так і в навісні контейнери.

Лижне шасі утвориться при заміні коліс або полозків лижами. Воно знижує тиск на поверхню й значно поліпшує прохідність вертольота по снігу. Визначальним недоліком цього типу шасі є погані гальмові властивості, утруднення в забезпеченні маневреності вертольота по аеродрому, а також складність прибирання лиж.

У колісно-лижному шасі одночасно використовуються переваги колісного й лижного шасі. Таке шасі утвориться установкою поруч із колесом лижної приставки (малюнок 96) або між колесами візка невеликої підйомної лижі.



Малюнок 8. Конструктивна схема колісно-лижного шасі.

1 - стійка, 2 - колесо, 3 - гідропідйомник, 4 - лижа, 5 - запобіжний трос, 6 - поводок, 7 - стабілізатор.

Колісно-лижне шасі допускає експлуатацію вертольотів на колесах (на площадці із твердим покриттям) або на лижах (на площадці зі сніжним покриттям). Ці посадкові пристрої знаходять широке застосування серед вертольотів рятувальних служб, що роблять посадки, як на засніжені вершини, так і на тверді аеродроми.

## 6. Амортизація шасі

Амортизація шасі призначена для поглинання кінетичної енергії ударів при посадці, гасіння коливань при стоянці й переміщенні по землі. Як поглинач кінетичної енергії використовують амортизатори й колеса. Для всіх

типів амортизаторів обов'язкова наявність пружного й демпфіруючих елементів. Пружний елемент необхідний для акумулювання частини сприйнятої кінетичної енергії, використовуваної для відновлення вихідного стану амортизатора. А елемент, що демпфірує, повинен поглинати кінетичну енергію, перетворювати її в тепло й розсіювати в навколишнє середовище.

Можна виділити наступні типи амортизаторів: гумово-пластинчасті, гумово-шнурові, рідинно-газові, пружинні, рідинно-пружинні, пружно-рідинні, пружинно-фрикційні.

Гумові амортизатори використовують як при роботі на розтягання, так і при роботі на стиснення. У першому випадку звичайно застосовують гумовий шнур, у другому - гумові пластини. Гумовий шнур складається з ниток прямокутного перетину, розтягнутих до 150-200% початкової довжини. Коефіцієнт втрат шнурів не перевищує 0,18. Пластинчасті амортизатори (буфери) набирають із гумових пластин. Коефіцієнт втрат становить 0,25-0,5 при стисненні на 25-50% вільної висоти. Буфер поглинає більшу енергію, якщо пластини при стисненні мають можливість вільно розширюватися в сторони.

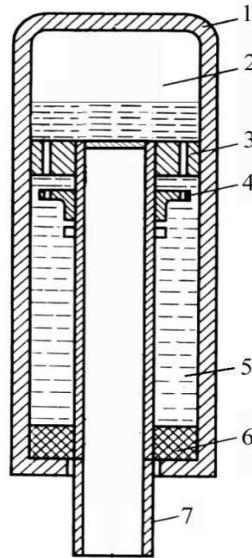
Втрати кінетичної енергії в гумових амортизаторах обумовлені внутрішнім тертям матеріалу, що виникає при значних деформаціях. Основним їхнім недоліком є невелика частка поглиненої енергії й зміна властивостей під дією негативних факторів - світла, температури, рідин і часу.

Рідинно-газові й пружинні амортизатори є основними типами амортизаторів, які застосовують на вертольотах. У рідинно-газовому амортизаторі як пружний елемент використовується стиснений газ.

Приклад рідинно-газового амортизатора показаний на малюнку 9. Циліндр кріпиться до конструкції вертольота, а на нижній кінець штока передається зусилля, що діє від колеса. Об'єм циліндра заповнений газом (звичайно азотом) під тиском і спеціальною рідиною. При ударі колеса об землю шток рухається нагору. У результаті руху штока рідина тече долілиць через отвори в буксі. При цьому клапан зворотного ходу опускається й рідина має можливість переміщатися з порівняно невеликим гідравлічним опором. Внаслідок збільшення об'єму займаного штоком, тиск газу у верхній порожнині зростає, збільшується й сила, що виштовхує шток долілиць. Досягши якоїсь величини, він починає рух долілиць. У цьому випадку клапан частково перекриває отвори в буксі, рідина, тепер перетікає нагору з більшим гідравлічним опором. Гідравлічні втрати забезпечують переведення частини кінетичної енергії в теплову з подальшим розсіюванням її в атмосфері.

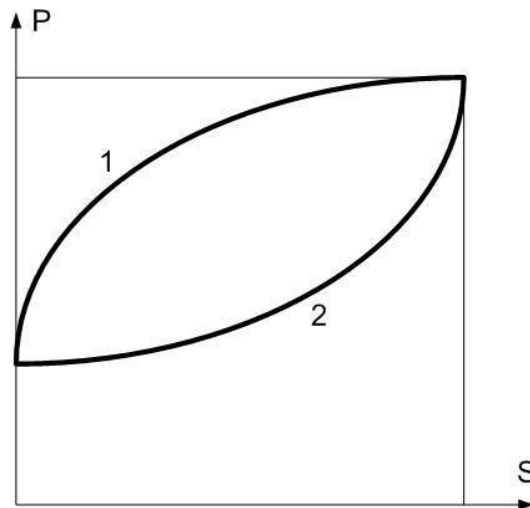
Залежність зміни зусиль, що діють на амортизатор від величини його обтиснення  $P = f(S)$ , називається діаграмою роботи амортизатора (малюнок 10). Ця залежність будується на прямому ході (1) при обтисненні амортизатора прикладеними зовнішніми силами, і на зворотному (2) при виході штока амортизатора за рахунок енергії стисненого газу. Площа

обмежена цими кривими є частка кінетичної енергії перетворена в теплову за один цикл. Петлеобразна крива називається петлею Гістерезису.



Малюнок 9. Схема рідинно-газового амортизатора.

1 - циліндр, 2 - газ, 3 - букси з отвором, 4 - клапан зворотного ходу, 5 - рідина, 6 - ущільнення, 7 - шток.



Малюнок 10. Діаграма роботи рідино-газового амортизатора шасі.

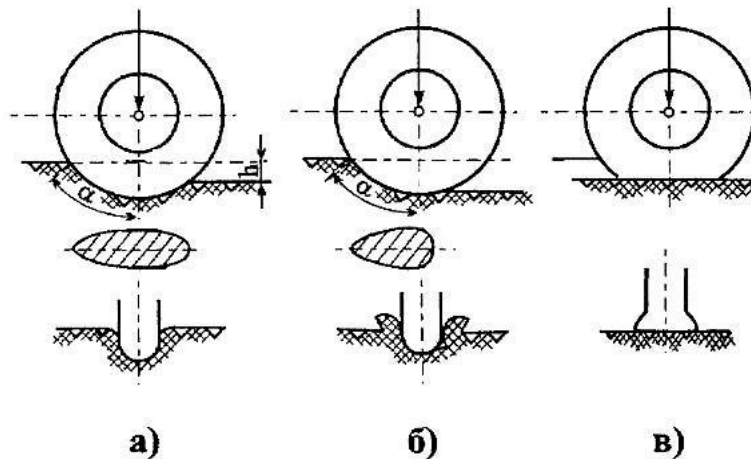
Існують двокамерні амортизатори, що використовують телескопічний принцип. У них одна камера має менший діаметр, чим інша, а її циліндр служить штоком для другої камери. Камери мають різний тиск газу. Камера низького тиску призначена для роботи при малих навантаженнях на шасі, тобто коли несучий гвинт уже підняв частину ваги вертольота. Камера високого тиску призначена для поглинання енергії удару при посадці й для сприйняття ваги всього вертольота. При малих навантаженнях на шасі шток стоїть на упорах і камера не працює. Така конструкція дозволяє ефективно «захищатися» від земних коливань і силових впливів практично на всіх наземних режимах вертольота.

## 7. Колеса шасі

Основним елементом колеса є пневматик, що складається з покриття й камери, хоча використовуються й безкамерні пневматики. Для збільшення міцності й зносостійкості покриття виконуються багат шаровими. Навантаження на пневматик урівноважується дією надлишкового тиску повітря всередині нього. Пневматиками частково поглинається удар при посадці. Частка енергії не перевищує 25-50% кінетичної енергії вертольота при посадці.

Габарити коліс характеризуються відношенням  $B/D$  ( $B$  — ширина, а  $D$  — діаметр покриття). Авіаційні колеса по типу застосовуваних пневматиків діляться на балонні (граничне значення внутрішнього тиску в пневматику  $p_0 = 0,2—0,4$  МПа), напівбалонні ( $p_0 = 0,5—0,7$  МПа), середнього тиску ( $p_0 = 0,6—1,0$  МПа), високого тиску ( $p_0 = 1,2—2,0$  МПа) і надвисокий тиску ( $p_0 = 2,2$  МПа).

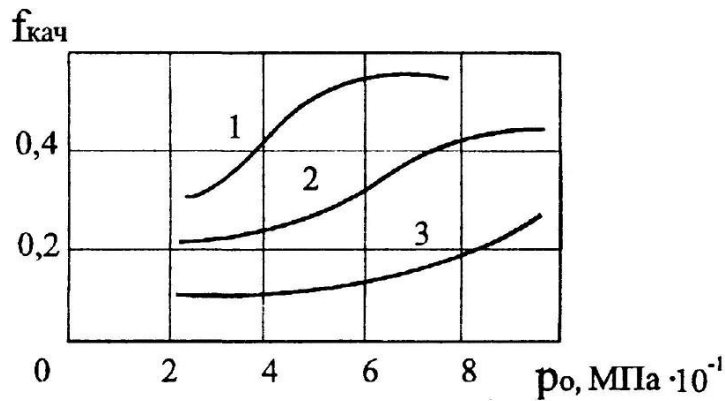
Важливою характеристикою пневматика є прохідність по ґрунту — здатність рушати з місця й рухатися по аеродрому. Прохідність характеризується міцністю ґрунту, розміром подоланих нерівностей, коефіцієнтом опору й глибиною колії, що утвориться при русі по ґрунті злітно-посадочних пристроїв (малюнок 11). Зразкове значення коефіцієнта опору коченню  $f_{\text{кач}}$  при швидкості 1 м/с наведено на малюнку 12.



Малюнок 11. Тиск пневматика на ґрунт і форма колії:

а - невелика швидкість кочення пневматика по м'якому ґрунті, б - порівняно більша швидкість руху, в - рух пневматика по абсолютно твердому ґрунті.

$h$  - глибина колії,  $\alpha$  - кут наїзду колеса.



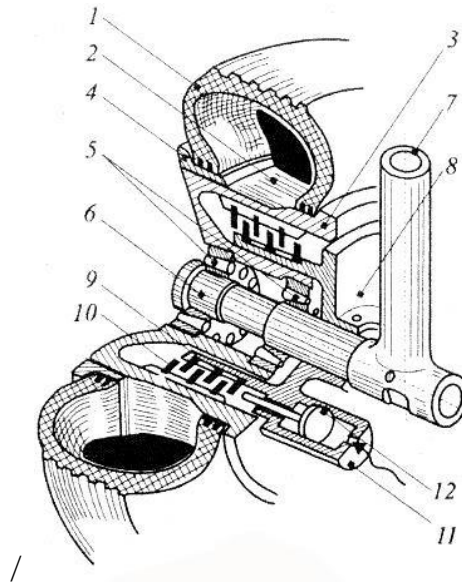
Малюнок 12. Зміна коефіцієнта опору коченню колеса  $f_{\text{кач}}$  залежно від тиску в пневматику  $p_0$  : 1, 2, 3 - відповідно в період бездоріжжя, просихання, сухий і щільний ґрунт

Для забезпечення прохідності по мокрому ґрунті тиск у пневматику не повинне бути вище 0,3-0,35 Мпа й 0,5-0,6 Мпа для сухого ґрунту.

Однієї із проблем властивих для пневматиків є їхнє надмірне зношування при посадці, у момент торкання землі нерозкочених коліс. При цьому стійка й амортизатори також зазнають поздовжні перевантаження. Для того, щоб знизити вплив цих факторів, у деяких випадках, застосовують попереднє розкочування коліс за допомогою аеродинамічних або електричних пристроїв.

Колеса головних ніг шасі звичайно виконуються гальмовими (малюнок 13). Гальма повинні забезпечувати одночасність і однаковість гальмування коліс щоб уникнути розвороту вертольота; Застосовуються колодкові, камерні й дискові гальма.

Дискові гальма мають менші габарити при однаковій енергоємності й ефективності й високому ступені надійності, тому знаходять широке застосування. Дискове гальмо працює за принципом фрикційної муфти включення. При подачі тиску рідини в блок циліндрів поршні, переборюючи опір зворотних пружин, переміщують натискний диск. Він притискає нерухливі диски до обертових, і колесо загальмовується. Момент гальмування дискових гальм не залежить від напрямку обертання колеса.



Малюнок 13. Гальмове колесо :

1 - безкамерний пневматик, 2 - барабан, 3 - нерухлива реборда, 4 – земна реборда, 5 - запресований підшипник, 6 - вісь, 7 - стійка шасі, 8 - корпус гальма, 9, 10 - диски, 11 - гідроциліндр, 12 - поршень привода гальма.

## 8. Механізми прибирання шасі

Звичайно на вертольотах застосовується гідравлічна система прибирання й випуску шасі. Вона містить у собі джерела енергії (насоси), розподільні, захисні й синхронізуючі пристрої, виконавчі механізми. Прибирання й випуск шасі провадяться подачею рідини в силові циліндри. У випущеному й прибраному положеннях стійки фіксуються замками. Прибране шасі закривається стулками, що приводяться в дію окремими силовими циліндрами або за рахунок кінематичного зв'язку зі стійкою шасі. У кабіні екіпажа передбачається світлова або механічна сигналізація прибраного й випущеного положення стійок шасі, установлених на замках.

Носові (хвостові) стійки вбираються у фюзеляж « нагору-уперед» або « нагору-назад». Схема прибирання « нагору-уперед» забезпечує випуск стійки під дією сили ваги й швидкісного напору навіть при відмовах бортових джерел енергії. У деяких випадках у такий же спосіб можуть випускатися й головні стійки шасі. Схеми випуску й прибирання головних стійок шасі відрізняється більшою розмаїтістю й може супроводжуватися навіть поворотом стійки.