

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

Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни
«Експлуатаційна надійність технологічних систем паливозабезпечення»
вибіркових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Технології робіт та технологічне обладнання аеропортів

за темою № 3 - Фізичні основи надійності машин

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, спеціаліст вищої категорії Давітая О.В.
2. викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, Копичко Р.Р.
3. викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, спеціаліст першої категорії Нальотова Н.І.

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. Причини втрати машиною працездатності.
2. Зношування. Закони тертя.
3. Зношування деталей насосів та гідроприводів

Рекомендована література

1. Канарчук В. Є., Полянський С. К., Дмитрієв М. М. Надійність машин : підручник. Київ : Либідь, 2003. 424 с.
2. Надійність гідромашин і гідроприводів : конспект лекцій / укладач В. Ф. Герман. Суми : Сумський державний університет, 2014. 84 с.
3. Лозинський О.Ю., Марущак Я.Ю., Костробій П.П. Розрахунок надійності електроприводів: підручник . Львів: ДУ «Львівська політехніка», 1996. 234 с.

Текст лекції

1. Причини втрати машиною працездатності

Навіть за найдосконалішої конструкції та ретельного обслуговування фізичне спрацювання машин неминуче. Фізичне зношування можна розглядати як функцію від часу $f(t)$.

Основною причиною, яка призводить до втрати працездатності більшості машин, є зношення сполучених деталей. Стійкість матеріалу проти зношування залежить не лише від властивостей вибраного матеріалу, а й від технології виготовлення деталей, припрацювання їх у початковий період експлуатації та багатьох інших факторів.

На працездатність машини впливають усі види енергії:

- механічна,
- теплова,
- електромагнітна,
- хімічна та інші.

Механізм втрачання машиною працездатності досить складний і залежить від комплексу процесів, що відбуваються під час експлуатації машини. При цьому пошкодження деталей машин поділяють на допустимі і недопустимі.

Допустимі пошкодження виникають, як правило, за нормальних умов експлуатації машини. Це руйнування від зношування, утомлюваності і старіння матеріалу. Процесом старіння називають необоротну зміну властивостей або стану матеріалу виробу внаслідок дії різних факторів. Допустимі пошкодження усувають, як правило, під час планових ремонтів машин.

Недопустимі пошкодження мають аварійний характер, ці пошкодження або відмови виникають унаслідок недостатньої міцності матеріалу чи від

утомлюваності. Це теплові тріщини, викришування частинок із поверхонь тертя тощо. Відмови деталей через недопустимі пошкодження усувають під час непланових ремонтів.

2. Зношування. Закони тертя

2.1. Зношування

При контакті двох спряжених поверхонь деталей та їх відносному переміщенні в поверхневих шарах виникають механічні та молекулярні взаємодії, які призводять до руйнування поверхонь, тобто зношення.

Зношення – це результат зношування. Під зношуванням розуміють процес відокремлення матеріалу з поверхні твердого тіла при терті.

Тертя – це опір, який виникає при взаємному переміщенні тіл, що стикаються. Відповідно до молекулярно-механічної теорії У. В. Крагельського і Б. В. Дерягіна тертя складається із двох опорів, з них перший – це результат механічної взаємодії, при якому виступи однієї поверхні потрапляють у западини іншої (фрикційний зв'язок), а другий – це наслідок молекулярної взаємодії поверхонь тертя.

Залежно від кінематики відносного переміщення тіл у машинах та механізмах відбуваються два види тертя: тертя ковзання і тертя кочення. На межі контакту деталей можуть відбуватися пружні та пластичні деформації і молекулярне зчеплення.

Залежно від наявності або відсутності мастила розрізняють такі види тертя:

- а) сухе – виникає між поверхнями тертя за відсутності мастила;
- б) рідинне – виникає у випадку повного розділення поверхонь шаром мастила;
- в) граничне – поверхні тертя розділені тонким шаром рідини (не більше 0,1 мкм).

2.2. Закони тертя

Залежно від кінематики відносного переміщення тіл і наявності мастил розрізняють і закони тертя.

1 Закон сухого тертя ковзання. Залежність сили сухого тертя ковзання від нормального тиску N установив Г. Амонтон (1699 р.).

Згідно з цим законом сила тертя пропорційна вазі вантажу G (силі тиску N) і не залежить від величини площі дотику:

$$F_k = f \cdot N$$

де $f = F_k / N$ – коефіцієнт тертя.

Л. Ейлер провів додаткові випробування ковзання тіла по похилій площині (рис. 1) та одержав рівняння для визначення коефіцієнта тертя:

$$f = \operatorname{tg} \alpha - (2l / gt^2 \cos \alpha)$$

де α – кут нахилу; l - шлях, який пройшло тіло; g - прискорення вільного падіння; t - час переміщення на відстань l .

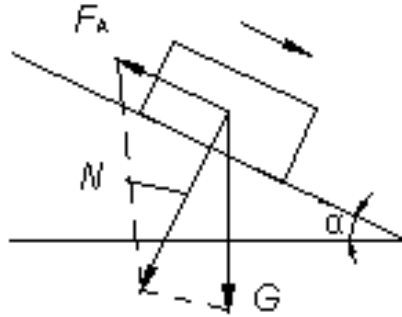


Рис. 1 – Тертя ковзання

2 Закон тертя кочення. Винайшов закон тертя кочення Ш. Кулон у 1799 році. Згідно з цим законом сила тертя кочення прямо пропорційна нормальному тиску та обернено пропорційна радіусу котка:

$$F_{\text{коч}} = f_{\text{коч}} \cdot (N / R)$$

де N – нормальна сила; $f_{\text{коч}}$ - коефіцієнт тертя кочення.

3 Закон рідинного тертя. За цим законом сила рідинного тертя F_p прямо пропорційна коефіцієнту рідинного тертя f_p і навантаженню N :

$$F_p = f_p \cdot N$$

Коефіцієнт рідинного тертя f_p залежить від виду мастила, швидкості взаємного переміщення і товщини шару мастила.

2.3. Види зношування деталей

Зношування у машинах згідно з ГОСТ 30479-97 «Забезпечення зносостійкості виробів. Методи встановлення граничного зносу, що забезпечує необхідний рівень безпеки. Загальні вимоги» поділяють на механічне, корозійно-механічне і зношування внаслідок дії електричного струму. Розглянемо механічне зношування.

Механічне зношування – це зношування внаслідок механічної дії. Механічне зношування, в свою чергу, поділяють на абразивне, гідроабразивне, гідроерозійне та внаслідок утомлюваності.

Абразивне зношування – це механічне зношування матеріалу внаслідок різальної або дряпаючої дії твердих тіл чи частинок. Абразивні частинки

можуть бути мінерального походження, металевими, продуктами окиснення поверхонь деталей та ін.

Основне джерело потрапляння абразивних частинок у сполучення машин – довкілля. Більшість частинок мають розмір 5–120 мкм, тобто співрозмірні із зазорами в сполученнях машин. Швидкість абразивного зношування залежить від кількості абразивних частинок та їх твердості.

Для зниження абразивного зношування твердість робочої поверхні деталі повинна бути в 1,3 раза вищою за твердість абразиву.

Різновидом абразивного є гідроабразивне зношування. Це абразивне зношування внаслідок дії твердих тіл або твердих частинок, що виносяться потоком рідини. Таке зношування характерне для гідравлічних машин і гідроприводів.

Ерозійне зношування внаслідок дії потоку рідини називається гідроерозійним. Ерозія металів – комплексний фізичний та фізико-хімічний процес, що відбувається внаслідок впливу довкілля, окиснення, наклепу, температурних напружень та від утомлюваності. Прикладом ерозійного зношування машин є зношування розподільників гідравлічної апаратури.

Різновидом гідроерозійного зношування є кавітаційне.

Кавітаційне зношування – це механічне зношування під час руху твердого тіла відносно рідини, за якого пухирці газу лопаються поблизу поверхні, що створює місцевий ударний тиск.

Зношування від кавітації характерне для гідравлічних машин, коли в потоці рідини утворюються пухирці пари та газу, при переході в зону високих тисків відбувається конденсація пари і створюються умови для місцевого гідравлічного удару. При цьому дія тиску на поверхню буває настільки значною, що виникають глибокі каверни, які можуть зливатися і утворювати навіть наскрізний отвір (рис. 2.3).



Рис. 2 – Кавітаційне зношення робочого колеса

На рис. 3 наведені місця зношування від дії перекачуваної води на робочі колеса відцентрових насосів, встановлених на водопровідній насосній станції.

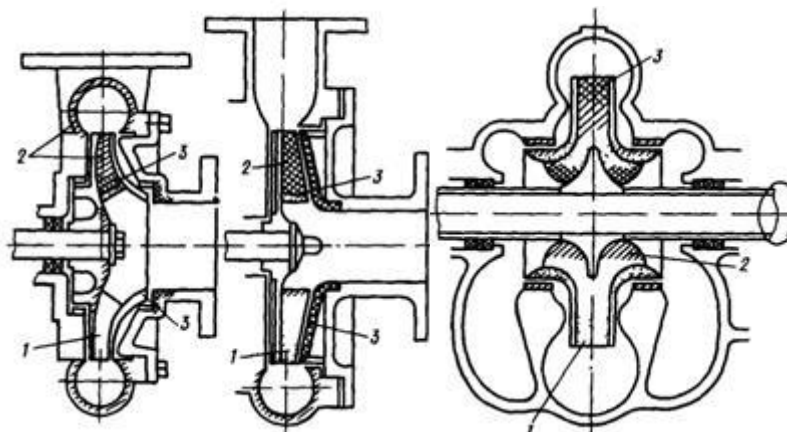


Рис. 3 – Зони зношування робочих органів насосів:

- 1 – область кавітаційної ерозії; 2 – область гідроабразивного зношування;
3 – область спільної дії кавітації та гідроабразивного зношування

Зношування від утомлюваності – це механічне зношування внаслідок руйнування від утомлюваності при повторному деформуванні мікрооб'ємів поверхневого шару. Явище зношування від утомлюваності відбувається при терті кочення і терті ковзання. Основою цього виду зношування є утворення фрикційних зв'язків при прикладенні нормального навантаження в разі відносного ковзання поверхонь тертя.

Зношування від утомлюваності найчастіше спостерігається в умовах високих контактних навантажень при одночасному коченні та проковзуванні однієї поверхні по іншій. За таких умов працюють важко навантажені шестерні та підшипники кочення.

3. Зношування деталей насосів та гідроприводів

Розширення сфери застосування гідромеханізації та гідротранспорту і впровадження їх у різні галузі народного господарства поставили вимогу оснащення будівельних, гірничорудних, металургійних, хімічних та інших підприємств відцентровими насосами для перекачування абразивних гідросумішей (грунтовими, пісковими, шламовими).

Основним експлуатаційним недоліком цих насосів є малий термін служби деталей проточної частини з причини інтенсивного гідроабразивного зношування. За характером зношування всі деталі насосів можна поділити на дві групи.

До першої групи належать робоче колесо і відвід, проточні канали яких зношуються найбільше. Під час перекачування гідросумішей з великими твердими включеннями ці деталі ще й піддаються ударам. Найбільш інтенсивно зношуються лопаті робочих коліс на вході й на виході, внутрішні поверхні їх дисків, поверхні відводу в зоні розрахункового перерізу та вхід в дифузор. Усмоктувальний патрубок зношується значно менше.

До другої групи належать деталі, що зношуються за рахунок перетікання гідросуміші з порожнини під великим тиском в порожнину з меншим тиском: бронедиски, зовнішні диски коліс, деталі ущільнень з боку всмоктування і вузол сальникового ущільнення. Зношування цих деталей збільшується під час транспортування гідросумішей з дрібними твердими включеннями.

В основному зношення деталей визначається абразивністю гідросуміші й твердістю матеріалу деталей. Робочі органи насосів зношуються за рахунок контакту твердих частинок, що рухаються з рідиною, зі стінками каналів проточної частини насоса. На характер та інтенсивність зношування, крім твердості матеріалу, впливають швидкість і концентрація твердих частинок та кути натікання потоку рідини на лопаті робочого колеса.

Чинників зношування гідравлічних пристроїв та гідроприводів дуже багато, це: режим роботи, фізико-хімічні характеристики пар тертя, технологія виготовлення деталей, конструктивні особливості, тип робочої рідини та ін. Кожний з цих чинників спричиняє фізичні, хімічні або структурні зміни в поверхневому шарі зношеної деталі.

Статистична обробка результатів випробувань та експлуатація гідроприводів показали, що найбільш слабкою ланкою є насос, в якому до проблемних відносять деталі розподільчої, рідше поршневої групи.

Для гідроприводів найбільшими є втрати від поступових відмов, тобто зношування деталей під час їх роботи і втрати вузлами машин своїх початкових параметрів. Як правило, зношування гідросистем пов'язують з їх забрудненням. Забруднення можуть бути у вигляді твердих, рідких і газоподібних включень. Кожне з них може значною мірою впливати на зношування деталей.

Для гідравлічних приводів верстатів найбільш небезпечними є нагрів рідини, попадання механічних домішок, води і повітря.

Найбільший вплив на надійність і довговічність гідропривода чинять механічні включення робочої рідини. Внаслідок забруднення робочих рідин з ладу виходить близько 75 % гідроприводів, майже половина аварій в авіації пов'язана із забрудненням робочих рідин, ресурс гідронасосів зменшується в 10–12 разів, 65 % відмов рульового керування також пов'язані із забрудненням рідини.

У гідроприводі робоча рідина – це один із основних елементів: робоче тіло, мастило. Вона відводить тепло, продукти зношування і захищає систему від корозії. Тому її вибору необхідно приділяти особливу увагу.