

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Л. Й. Івченко, В. Ю. Черкун, В. І. Кубіч, В. В. Черкун

**ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ
СЛОВНИК-ДОВІДНИК
З ТРИБОЛОГІЇ, НАДІЙНОСТІ
ТА НАНОТЕХНОЛОГІЙ**

*за загальною редакцією доктора техн. наук, професора
Івченка Л. Й.*

Запоріжжя ЗНТУ 2016

УДК 621.891.004.15(03)
ББК 34.413я2+34.414я2+30.600.3я2
Т 35

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Запорізького національного технічного університету
(Протокол №11 від 25.04.2016 р.)*

Рецензенти:

Волков В. П. – доктор техн. наук, проф., проректор Запорізького національного університету;

Качан О. Я. – доктор техн. наук, проф. заступник головного технолога ПАТ «Мотор Січ»;

Саленко О. Ф. – доктор техн. наук, проф., завідувач кафедри процесів і обладнання механічної та фізико-технічної обробки Кременчуцького національного університету

Т 35 Термінологічний словник-довідник з трибології, надійності та нанотехнологій / [Івченко Л. Й., Черкун В. Ю., Кубіч В. І., Черкун В. В.]; за заг. ред. Л. Й. Івченка – Запоріжжя : ЗНТУ, 2016. – 116 с.

ISBN 978-617-529-151-1

У словнику надано визначення термінів та короткі відомості, які відносяться до тертя, зношування, мащення, будови поверхневих шарів і методи їх дослідження. Окремими розділами подані основні відомості про надійність технологічних систем, показників надійності, а також викладено класифікацію наноматеріалів, технологій їх отримання, методів дослідження та областей їх застосування на сучасному етапі розвитку.

Для наукових працівників, студентів та інженерно-технічних працівників, які працюють у галузі створення зносостійких матеріалів, конструювання трибовулів, забезпечення надійності і довговічності машин і механізмів.

**УДК 621.891.004.15(03)
ББК 34.413я2+34.414я2+30.600.3я2**

ISBN 978-617-529-151-1

© Івченко Л. Й., Черкун В. Ю.,
Кубіч В. І., Черкун В. В., 2016
© Запорізький національний
технічний університет (ЗНТУ), 2016

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. РОЗДІЛ 1 ТРИБОЛОГІЯ.....	9
2. РОЗДІЛ 2 НАДІЙНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ... ..	64
3. РОЗДІЛ 3 НАНОТЕХНОЛОГІЇ	92
4. ДОДАТОК А.....	103
ПОЯСНЕННЯ ДО ДЕЯКИХ ТЕРМІНІВ РОЗДІЛУ 2... ..	103
ПОЯСНЕННЯ ДО ДЕЯКИХ ТЕРМІНІВ РОЗДІЛУ 3... ..	110
5. ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	114

ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ

внутр. – внутрішній
втом. – втомленість
гол. – головний
грец. – грецький
д. к. н. – динамічне контактне
навантаження
дослід. – досліджувальний
експл. – експлуатаційний
елект. – електричний
електрофіз. – електрофізичний
енерг. – енергетичний
еф. – ефективний
зовн. – зовнішній
ін. – інший
коеф. – коефіцієнт
конт. – контактний
кристаліч. – кристалічний
лаб. – лабораторний
макс. – максимальний
маст. – мастильний

механічн. – механічний
мін. – мінімальний
наз. – називати
напр. – наприклад
ном. – номінальний
норм. – нормальний
окисл. – окислювальний
пит. – питомий
поверхн. – поверхневий
пост. – постійний
пружн. – пружний
рідк. – рідкий
статич. – статичний
тв. – твердий
т. ч. – тому числі
фіз. – фізичний
фізико-хім. – фізико-хімічний
фрик. – фрикційний
х-ка – характеристика
хім. – хімічний

АЛФАВІТ

Аа	Бб	Вв	Гг	Ґґ	Дд	Ее	Єє	Жж
Зз	Ии	Іі	Її	Йй	Кк	Лл	Мм	Нн
Оо	Пп	Рр	Сс	Тт	Уу	Фф	Хх	Цц
Чч	Шш	Щщ	Юю	Яя	Ь			

ВСТУП

Розвиток трибологічних аспектів по забезпеченню параметричної та фізичної надійності об'єктів машинобудування обумовлено володінням відповідної термінології. Безумовно, факт формування того чи іншого терміну та його пояснення пов'язане як з фундаментальними джерелами розвитку світогляду, так і з дослідженнями природи взаємодії тіл між собою та їх наслідками.

Нині наука про тертя, зношування та мащення, яка сформувалася історично, у подальшому розвивається в таких найважливіших напрямках, як трибофізика, трибохімія, трибоматеріалознавство, триботехніка, трибомеханіка, трибофатіка, триботехнології, трибоінформатика, трибоаналіз, трибодіагностика, трибомоніторинг, та має подальший розвиток наукових шкіл з підготовки кандидатів та докторів наук зі спеціальності 05.02.04 – тертя та зношування в машинах.

Так, у сфері трибологічного матеріалознавства, технологічних методів підвищення зносостійкості деталей машин, створення композиційних структур триботехнічного призначення слід відзначити праці В. А. Білого, І. М. Любарського, О. П. Семенова, М. О. Буше, М. М. Дорожкіна, І. М. Федорченка, А. Г. Косторнова, В. І. Тихоновича, М. І. Пашечка, М. В. Кіндрачука, Л. Й. Івценка, В. М. Голубця, В. І. Похмурського, В. Г. Каплуна, П. І. Мельника, В. Ф. Лабунця, В. В. Щепетова, П. Д. Стухляка, Б. А. Ляшенка, О. П. Уманського, А. Л. Майстренка, С. А. Клименка та ін.

Електричні явища в умовах тертя та зношування вивчалися Б. В. Дерягіним, А. С. Ахматовим, Б. І. Костецьким, І. А. Кравцом, І. В. Крагельським, Ф. Боуденом, Д. Тейбором, Г. І. Якуніним, В. Д. Євдокимовичем, Т. Саломоном, Г. О. Прейсом, М. К. Мишкіним та ін. Дослідженнями і розрахунком сил тертя займались Г. Амонтон, Ш. Купон, Б. В. Дерягін, Г. Ернст, М. Мерчент, І. В. Крагельський, Ю. М. Дроздов, А. І. Петрусевич, Ф. Боуден, Д. Тейбар, Г. М. Бартецький, Г. І. Єпіфанов, А. А. Сілін, М. М. Міхін, М. М. Алексєєв, В. Г. Павлов, Є. А. Духовський, В. В. Запорожець, Л. М. Сентюрюхіна, П. В. Назаренко, А. Г. Кузьменко, М. Ф. Семенюк та ін.

Керування процесами тертя і зношування є центральною ланкою у розв'язанні таких національних проблем, як економія енергії, скорочення витрат матеріалів, забезпечення надійності, довговічності

ті та безпеки механічних систем. Багаторічний досвід експлуатації і ремонту технічних засобів показав, що більшість несправностей і відмов виникає унаслідок великої зношеності деталей і вузлів, зумовленого пошкодженням робочих поверхонь. Вони виникають у процесі розвитку схоплювання, фретинг-корозії, кавітації, абразивного, ерозійного, втомного й інших видів зношування.

Питанням абразивного зношування присвячено велику кількість праць як вітчизняних, так і зарубіжних учених. Істотний внесок у вивчення явищ, що перебігають у процесі абразивного зношування, зробили дослідники М. М. Хрущов, І. В. Крагельський, В. Н. Кашеєв, Б. І. Костецький, Н. І. Прочан, В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокін, Н. М. Тененбаум, И. Р. Клейс, Л. І. Погодаєв, Ф. П. Боуден, Г. Уетц, М. М. Бриков та ін.

Багато проблем виникає під час експлуатації машин і механізмів, вузли тертя яких працюють в умовах корозійно-механічного зношування, що є результатом механічного впливу, який супроводжується хімічною або електрохімічною взаємодією матеріалу із середовищем. Розкриттю механізму цього виду зношування, описові заходів щодо зниження його інтенсивності присвячено праці Б. І. Костецького, Г. О. Прейса, Б. Б. Крумана, В. А. Крупиціної, Г. Є. Лазарева, О. І. Некоза, М. А. Сологуба, Л. І. Погодаєва, М. В. Стецишина та ін.

Під час роботи машин і механізмів, вузли тертя яких передають великі навантаження за високих швидкостей ковзання і температур, виникає заїдання – процес виникнення і розвитку пошкоджень поверхонь тертя внаслідок схоплювання і перенесення матеріалу. Вивченню явища схоплювання і методів боротьби з ним присвячено праці В. Д. Кузнєцова, Б. І. Костецького, М. Л. Голєго, І. В. Крагельського, С. Б. Айнбіндера, О. П. Семенова, М. О. Буше, Ю. М. Дроздова, Ф. Боудена та ін. Установлено, що на інтенсивність розвитку процесів схоплювання впливають фізичні, хімічні, механічні властивості матеріалів, геометрія поверхонь тертя, фізико-хімічні властивості середовища. Однак сьогодні немає єдиної думки про природу процесу заїдання, що можна пояснити складністю явища, а також труднощами прямих експериментальних спостережень за його виникненням і розвитком. Процеси схоплювання безпосередньо зв'язані з адгезією і когезією. Адгезія супроводжується перенесенням матеріалу, спостерігається в усіх металів під час контакту їхніх незабруднених поверхонь.

До передчасної втрати працездатності деталей машин, механізмів, устаткування призводить більшість видів ерозійного зношування. Процеси ерозійного зношування класифікують за механізмом зношування (механічний, мікроударний, термічний, електричний), характером розподілу пошкоджень (загальний, локальний) і за умовами перебігу (гідро- і газообразивний, кавітація, абляція, електричний).

Заслужують на увагу дослідження, спрямовані на вивчення фізико-хімічних релаксаційних процесів, зумовлених фретинг-корозією, отримані під час вивчення стабільності фретинг-процесу із застосуванням нового методу, заснованого на вивченні загасань коливань, створюваних у парі тертя за допомогою маятника. Вивченням процесів фретинг-корозії та методів боротьби з ними займалися вчені Томлісон, Уотерхауз, М. Л. Голего, А. Я. Аляб'єв, В. В. Шевеля, Г. С. Калда, С. Г. Костогрив та ін.

Працездатність вузла тертя визначається не тільки зносостійкістю його деталей, а і їхньою втомною міцністю, тому що від умов тертя залежить якість поверхні, фазовий склад, властивості, стан напруження поверхневих шарів. Вплив тертя на втомну міцність металів і сплавів не однозначний. Межа витривалості нормалізованої сталі 45 після оксидного зношування збільшується на 16%, про що свідчать результати дослідження, а в умовах абразивного зношування межа втом зразків знизилася незначно. Вагомий внесок у встановлення закономірностей руйнування поверхонь тертя в результаті дії втоми зробили вчені І. В. Крагельський, В. В. Панасюк, Я. М. Гладкий.

Новий науковий напрямок ідентифікації контактних взаємодій методами теорії випадкових процесів запропонував В. В. Запорожець. Він сформулював і запропонував рішення зворотної задачі трибометрії, вивчив закономірності явищ акустичної емісії при терті та обробці металів. Розроблені нові методи трибодіагностики і засоби оцінки однорідності міцності поверхневого шару. З позиції дисипативної природи тертя комплексні дослідження триботехнічних явищ і реології контактної взаємодії у зв'язку зі зносостійкістю пар тертя проведені В. В. Шевелею і В. П. Олександренком. Для забезпечення надійності, довговічності і працездатності вузлів тертя застосовують різні конструкційні, експлуатаційні і технологічні методи, що докладно описані в спеціальній літературі. В інженерній практиці застосовують як давно відомі і

добре зарекомендувати методи, так і нові напрями розв'язання проблем підвищення зносостійкості деталей машин і механізмів.

Стабілізацію стаціонарного технічного стану трибо систем, а отже, і експлуатаційних властивостей деталей та мастильних середовищ можна забезпечити трибо електрохімічними методами. Завдяки цим методам здійснюється відновлення деталей і мастильних середовищ у процесі зношування з використанням необхідних матеріалів і енергії від зовнішніх джерел енергостабілізації. При цьому контактування поверхонь тертя і мастильних середовищ у цілому, та їхніх атомів і молекул зокрема, у трибо електромеханічних процесах розглядається з позицій електромагнітної взаємодії.

Найновішою галуззю трибології є біотрибологія. Цей термін запровадили у 1973 р. Довсон і Врігт (Велика Британія). До сфери інтересів біотрибології входять, між іншим, суглоби людей і тварин (підшипники) (Довсон, Босма (Голандія)), абразивне зношування зубів, питання транспорту рідини по судинах живих організмів, зокрема крові, зношування неорганічних протезів у кістковій системі і характеристики зношування штучних елементів для забезпечення руху крові.

Рішення науково-технічних, науково-виробничих завдань, наукових проблем трибологічного характеру супроводжується повнотою, глибиною, широтою розкриття особливостей взаємодії структурних складових матеріалів тіл на макро-, мікро-, мезо- і нанорівнях. При цьому при описі процесів і явищ у дослідників виникає необхідність як у введенні нової термінології, так і в розширенні меж розуміння тієї, що склалася, та історично сформувалася. Аналіз джерел інформації, які містять найбільш розповсюдженні терміни та їх визначення, дозволив провести систематизацію термінів, які найбільш поширено використовуються в трибології, надійності і нанотехнології, а також дати пояснення таким термінам, як режим голодування за наявністю мастильного матеріалу, плівкове голодування, мастильне голодування, механізм зношування, трибологічні структури.

Автори висловлюють щиру вдячність співробітникам кафедри «Металорізальні верстати та інструменти» і зокрема Т. В. Зав'язун за активну участь у корегуванні тексту та оформленні словника.

Ми будемо вдячні усім, хто знайде можливість висловити свої зауваження і побажання щодо викладеного матеріалу.

РОЗДІЛ 1 ТРИБОЛОГІЯ

А

Абразивні властивості – сукупність специфічних властивостей, якими характеризуються абразиви.

Абразивна стійкість – здатність матеріалу протистояти стираючій, дряпаючій і ріжучій дії абразивів.

Абразивні частинки – тв. частинки, наявність яких в зоні тертя викликає абразивне зношування і пошкодження деталей машин.

Автомодельність – здатність пари тертя зберігати практично незмінними вихідні фрикційно-зносні характеристики при зміні режиму роботи або деяких властивостей матеріалу (напр., твердості). Зміна режиму роботи і властивостей матеріалу може характеризуватися узагальненими змінними.

Автомодельні параметри – параметри, зміна яких поблизу заданих умов експлуатації практично не впливає на силу тертя та інтенсивність зношування. По своїй суті автоматодельність є виразом певних особливостей фізичного опису процесу.

Адгезія (прилипання) – виникнення молекулярного зв'язку між поверхневими шарами до-

тичних різнорідних (тв., рідких) тіл (фаз). Є результатом міжмолекулярної взаємодії, іонного або металевого зв'язку. Окремий випадок А. – когезія – взаємодія дотичних однакових тіл.

Адгезійна взаємодія (при терті) – виникнення фрикційного зв'язку між плівками на контактуючих поверхнях тертя при чітко вираженій межі розділу контактуючих тіл. А. в. є результатом міжмолекулярної взаємодії тв. тіл (ван-дер-ваальсових сил, іонних або металевих зв'язків). Вона залежить від відстані між контактуючими поверхнями та їх чистоти (наявності або відсутності на них різних адгезійних плівок, у т. ч. забруднень, мастила, води).

Адгезійна здатність – схильність матеріалу до адгезії (схоплюванню) з ін. матеріалами. А. з. – один з основних факторів, що визначає сумісність матеріалів тертя.

Адгезійна складова сили тертя – складова сили тертя, яка пов'язана з подоланням адгезійних зв'язків в контактній зоні. Значною мірою вона залежить від кристалічної будови тіл, які труться. А. с. с. т. пропорційна коефіцієнту, який

враховує тип решітки і валентність металу, кореню квадратному з щільності дислокацій. А. с. с. т. більше у металів з ОЦК решіткою і менше у металів з ГПУ решіткою.

Адсорбція – концентрація рідких або газоподібних речовин (адсорбатів) на поверхнях тв. тіл або рідин (адсорбентів), яка відбувається в результаті взаємодії полів адсорбенту і адсорбату.

Алотропія – існування одного і того ж хімічного елемента у вигляді різних за властивостями та будовою структур.

Антифрикційність – збірна якісна характеристика сукупності властивостей матеріалу тертя, що забезпечують його нормальну роботу в умовах тертя. А. визначається в основному коефіцієнтом тертя, несучою здатністю, зносостійкістю і теплостійкістю матеріалу.

Антифрикційні властивості – функціональні властивості антифрикційних матеріалів. До основних А. в. відносять зносостійкість і коефіцієнт зовнішнього тертя. Їх доповнюють припрацювання, несуча здатність матеріалу (фактори P_v -добуток питомого навантаження на швидкість ковзання і fP_v -добуток коеф. зовнішнього тертя на фактор P_v), гранично

допустимі навантаження, температура та ін.

Антифрикційні матеріали – матеріали тертя, які використовуються для роботи в несучих і напрямних вузлах (підшипниках ковзання).

Б

Бар'єрне покриття – покриття на волокнах і порошках, що запобігає їх взаємодії з навколишнім середовищем, у т. ч. з іншими фазами матеріалу або компонентами шихт і сумішей.

Біотрибологія – розділ трибології, який вивчає фізико-хімічні процеси, пов'язані з біологічними трибосистемами (суглоби, протези, взуття і ін.).

В

Ваговий знос – маса зношеної речовини ΔQ , видаленої з одиниці ном. площі торкання Aa за одиницю шляху тертя L . Обчислюється з виразу

$$I_{\Gamma} = \frac{\Delta Q}{AaL}.$$

Викришування – процес утворення ямок на поверхні тертя в результаті відділення частинок матеріалу при утомному зношуванні. В. – одна з форм катастрофічного зносу матеріалу.

Випотівання – вихід на поверхню тертя розплавленої м'якої структурної складової (МСС) триботехнічного матеріалу (напр., підшипникового сплаву), який складається з твердої матриці і МСС.

Виривання – відторгнення конгломератів матеріалу неправильної форми від поверхні тертя. Одна з форм катастрофічного зносу матеріалу. Зазвичай відбувається при схоплюванні.

Витривалість – здатність матеріалу або конструкції чинити опір дії циклічних навантажень. Характеризується границею витривалості. У техніці термін часто вживають як синонім терміну утомна міцність.

Випробування триботехнічні – випробування систем контактної взаємодії з метою оцінки їх трибо технічних характеристик у різних умовах зовнішніх впливів та навколишнього середовища;

~, **експлуатаційні** – випробування при яких використовуються готові вироби та комплекси, реальні різноманітні умови зношування або типові умові експлуатації з метою визначення ресурсу виробів по параметрам зносостійкості.

Застосовуються для оцінки впливу конструкції виробу і реальних умов експлуатації на зносостійкість;

~, **лабораторні зразків матеріалів** – випробування при яких здійснюється варіація навантаженням і (або) температурою при різних умовах та видах впливів навколишнього середовища з метою оцінки сумісності пар тертя, визначення граничних силових і теплових навантажень та встановлення критичних крапок, після яких спостерігається помітна зміна сила тертя або зменшення зносостійкості. Застосовуються при: дослідженні нових матеріалів; наближеної оцінці області раціонального застосування; аналізу механічних та фізико-механічних процесів в поверхневих шарах;

~, **лабораторні малогабаритних зразків** – випробування при яких здійснюється моделювання зовнішніх впливів, які забезпечують відтворення заданого процесу зношування, та інтенсивності температурно-силового поля, як у натурних трибоз'єднаннях, з метою отримання фрикційно-зносних характеристик парі тертя при заданих умовах. Попередньо визначаються масштабні коефіцієнти переходу. Застосовуються для аналізу зносостійкості матеріалу; дослідження процесу зношування; отриман-

ня вихідних даних для проведення натурних випробувань;

~, **модельні** – випробування, що проводяться на моделях;

~, **полігонні** – випробування, при яких на полігоні моделюються умови, що відповідають одному або декільком зовнішнім факторам впливу з метою визначення показників й значень зносу. Застосовуються для оцінки впливу конструкції одного або декількох зовнішніх факторів впливу на зносостійкість трибоз'єднань;

~, **порівняльні експрес-випробування** – випробування при яких визначається співвідношення інтенсивностей зношування поверхні, що досліджується (відновленої) та еталонної поверхні. Випробування проводяться при заздалегідь встановлених ідентичних умовах;

~, **прискорені на зносостійкість** – випробування, методи та умови проведення яких забезпечують отримання необхідної інформації про зносостійкість елементів виробу у більш стислі терміни, ніж як у передбачених умовах та режимах експлуатації;

~, **стендові** – випробування при яких використовуються натурні зразки трибоз'єднань, складальні одиниці для відтво-

рення на стенді реальних умов експлуатації з метою визначення показників зносостійкості при умовах експлуатації, які змодельовані. Застосовуються для оцінки впливу конструкції трибоз'єднання на фрикційно-зносні характеристики пари тертя; встановлення ресурсу зношування елементів і норм допустимого зносу.

Вібраційне проковзування – різновид багаторазових реверсивних відносних, мікрозміщень контактуючих тіл, що призводить до механічного (або механо-хімічного) зношування.

Вібропереміщення – відносне, переміщення елементів пари тертя при накладанні вібрації.

Вібропоглинач (фрикційної деталі) – пристрій, що оберігає сполучені ланки кінематичного ланцюга від вібрацій і ударних навантажень, які виникають на робочих поверхнях фрикційної деталі.

Відкриті системи – термодинамічні системи, які обмінюються з навколишнім середовищем речовиною, а також енергією та імпульсом (кількістю руху). Трибологічні системи відносяться до одного з видів в. с., оскільки зовні поступають реагуючі речовини (напр., окислювачі, абразиви, а

продукти зношування і теплота відводяться).

Відновлення (деталі, з'єднання, машини) – комплекс конструктивних та технологічних заходів, спрямованих на зміну або геометричних розмірів до номінальних, або ремонтних, або роботоспроможності до нормативних показників.

Відносний знос – лінійний знос або обсяг продуктів зносу дослідної пари тертя, співвіднесений з аналогічними x -ками пари тертя, прийнятої за еталон, при однаковій кінематиці процесу випробування.

Відносна площа контакту (при терті) – безрозмірна x -ка, що показує, яку частину ном. площі контакту становить фактична площа або контурна площа торкання.

Відносне прослизання – відношення різниці швидкостей дотичних поверхонь до швидкості однієї з них:

$$\Delta l = \frac{V_1 - V_2}{V_2} \cdot 100\%.$$

Застосовується при оцінці зношування пар тертя (колесо-рейка, шина-дорога і т. п.)

Відносна потужність тертя – безрозмірна величина, що дорівнює відношенню поточного значення питомої потужності тертя до макс. пит. потужності

$$\text{тертя} \frac{N_a}{N_{\text{МАКС}}}.$$

Відносний момент тертя – безрозмірна величина, що характеризує ставлення поточного значення моменту сил тертя до моменту сил тертя при ном. режимі. Напр. у фрикційній муфті – це відношення моменту на початку проковзування до моменту при повному ковзанні. Використовується в триботехнічних розрахунках.

Відносний час тертя – безрозмірна одиниця часу, що характеризує ставлення поточного значення часу t до його кінцевого значенню tT (напр., тривалості процесу тертя). Обчислюється за ф-лою:

$$\tau = \frac{t}{tT}.$$

Використовується в триботехнічних розрахунках.

Відшарування – процес відділення від поверхні тертя матеріалу у вигляді лусочок при втомному зношуванні. В. можна віднести до видів норм. зношування.

Внутрішньозеренне руйнування, внутрішньокристалітне руйнування, транскристалітне руйнування – вид руйнування полікристалічного матеріалу при якому поверхня

руйнування проходить по тілу зерен (кристалітів).

Внутрішнє тертя – явище опору відносно, переміщення частин одного і того ж тіла.

Вторинні структури (при терті) – нові фази (тонкоплівковий об'єкт), які спонтанно утворюються при терті в результаті взаємодії поверхневих шарів твердих тіл, мастильних матеріалів і газового середовища. В. с. мають екстремальні фрикційні і міцнісні властивості, які нормалізують тертя і зношування. Тонкі плівки В. с. ($\delta = (2 \dots 8) \cdot 10 \text{ нм}$) за складом, будовою і властивостями істотно відрізняються від вихідних матеріалів пар тертя.

В'язкість динамічна – внутрішнє тертя або властивість рідини здійснювати опір переміщенню її часток під дією на них зовнішніх сил. Вона характеризує несучу здатність і прокачування рідини. Вимірюється за допомогою віскозиметрів і позначається в Па·с або пуазах.

В'язкість кінематична – показує залежність між динамічною в'язкістю і густиною рідини. Її визначають в капілярних віскозиметрах шляхом вимірювання часу протікання відомого об'єму рідини через невеликий калібрований отвір при

заданій температурі. Кінематичну в'язкість позначають в $\text{мм}^2/\text{с}$ або сантистоксах (сСт).

В'язкість руйнування – здатність матеріалу чинити опір поширенню в ньому тріщин.

Г

Газоерозійне зношування – зношування під впливом високошвидкісного потоку газу або пари.

Гаряче заїдання – процес схоплювання (при терті), що виникає внаслідок розм'якшення матеріалу або фазових переходів, пов'язаних з розігрівом останнього.

Геометричний комплекс трибоз'єднання – узагальнена геометрична характеристика, що визначає межі розповсюдження в матеріалі трибоз'єднань тепла і деформації. При моделюванні входить в комплекс геометричних розмірів $K_g = Aa / S$, де Aa – номінальна площа тертя, S – характерний розмір, що є відношенням вільної (яка не знаходиться в контакті) поверхні елемента пари тертя до обсягу цього елемента. При нестационарних трибологічних процесах враховуються розміри, обмежені глибиною проникнення тепла (або деформації).

Геомодифікатор (РВС – технологія) – спеціальна мікро- або нанодобавка в паливно-мастильні матеріали та технологічні середовища на основі мінералів геологічного походження, які можуть взаємодіяти з контактуючими ділянками деталей і формувати металокерамічний шар, який частково відновлює дефекти поверхонь тертя.

Геотрибологія – розділ трибології, який вивчає фізико-хімічні процеси, пов'язані з застосуванням різного роду мінералів і інших сполучень геологічного (рідше штучного) походження.

Гетерогенна структура, гетерофазна структура – структура матеріалу, що складається з різних фаз.

Гетерофазні матеріали – матеріали, що складаються з двох і більше фаз, тобто матеріали з гетерогенною структурою.

Гідроабразивна зносостійкість – здатність матеріалів чинити опір зношуванню потоком рідини, яка містить в собі частинки твердих тіл.

Гістерезис (у триботехнічних системах) – фіз. явище, яке полягає в тому, що реакція системи (або її елементу) на деякі зовнішні впливи різна в залежності від того, чи піддавалася система раніше даному впливу

або піддається йому вперше.

Гомогенна структура – структура, що складається з однорідних елементів.

Голодування мастильне – режим тертя, що спостерігається при гідродинамічному і змішаному режимах тертя, при яких зміни у кількості мастильного матеріалу, що подається в зону тертя, та характеру прояву його експлуатаційних властивостей не забезпечують рідинне (гідро динамічне) і змішане (гідродинамічне, еластогідродинамічне, граничне) мащення зони взаємодії тіл.

~, **плівкове** – режим тертя, який спостерігається при граничному мащенні, при якому в умовах контактної взаємодії поверхонь на номінальній площині не забезпечується формування граничної плівки з мастильного матеріалу.

~, **режим голодування (за наявністю мастильного матеріалу)** – режим тертя, при якому в трибоз'єднаннях умови змазування поверхонь його елементів погіршуються в напрямку від входу до виходу області їх контакту, яка розглядається у конкретному випадку.

Гradient механічних властивостей – вектор, який характеризує зміну механічних властивостей елемента пари тертя по

нормалі до поверхні тертя. Позитивним напрямком г. прийнято вважати напрямок в бік зменшення величини, яка вивчається. При позитивному градієнті механічних властивостей виникає зовнішнє тертя, при негативному – заїдання, схоплювання, глибинне виривання.

Граничні шари (масляної плівки) – шари, що виникають в результаті адсорбції полярних молекул вуглеводню на поверхні тв. тіл (металів) під впливом поля тв. фази.

Д

Десорбція – процес, зворотний адсорбції, – виділення з адсорбенту поглинутих їм речовин.

Деструкція – порушення або руйнування нормальної структури речовини.

Дефекти (структури матеріалів) – порушення суцільності і (або) регулярності структури матеріалів.

Деформаційна складова сили тертя – сумарний опір ковзанню, обумовлений деформуванням поверхневого шару менш жорсткого тіла.

Динамічні випробування (матеріалів тертя) – випробування в умовах довільного або закономірного змінення пара-

метрів процесу (швидкості, навантаження, температури та ін.).

Динамічні навантаження – навантаження, зміна значення, напрямку або програми якого відбуваються дуже швидко, у зв'язку з чим в елементах конструкції виникають значні інерційні сили.

Дисипація – процес незворотнього розсіювання (або повернення) енергії, яка отримана системою, при різних процесах, наприклад при терті.

Дисипативні системи – системи, повна механічна енергія яких (тобто сума кінетичної і потенційної енергії) зменшується при русі, переходячи в інші форми енергії, напр., у тепло, внаслідок наявності різних сил опору (тертя).

Диспергування (при терті) – тонке подрібнення твердих або рідких тіл, напр., мастильних матеріалів, у процесі тертя.

Діаметр плями зносу – усереднений діаметр плям зносу на чотирьох кульках, отриманих за годинні випробування при еталонному навантаженні на чотирьох кульковій машині тертя.

Допоміжні параметри трибосистеми – параметри, які впливають на силу тертя та інтенсивність зношування тільки при достатньо сильних відхи-

леннях від заданих експлуатаційних умов (теплоємність, та ін.)
Дряпання – процес утворення поглиблень на поверхні у напрямку ковзання під впливом виступів тв. тіла або тв. частинок. Зазвичай супроводжує абразивне зношування і зношування при заїданні.

Е

Експлуатаційні випробування – випробування вузлів тертя, що проводяться в умовах експлуатації. При Е. в. визначається взаємовплив. Різних трибовузлів механізму та оцінюється надійність і довго тривалість механізму в цілому.

Еластогідродинамічна теорія – теорія, що вивчає реологічний плин тонких шарів в'язкої рідини між тв. тілами, які деформуються.

Електронографічні дослідження (поверхні тертя) – структурний аналіз поверхонь тертя, заснований на дифракції електронів в кристалічній решітці. В основі застосування методу лежать наступні закономірності відображення і розсіювання електронних променів від поверхні тв. фаз: 1) кут відбиття падаючого на речовину пучка електронів визначається міжплощинними

відстанями в кристалічній решітці, які строго визначені для кожної речовини. Тобто, міжплощинна відстань, обчислена за кутом віддзеркалення, дозволяє ідентифікувати речовину. Дані про міжплощинні відстані характеризують різні речовини, наявні у спец. таблиці; 2) фази з різною структурою дають різний набір дифракційних кілець на електронограмах, за якими може бути визначена кристалічна решітка цих фаз; 3) наявність дефектів у кристалічній структурі викликає розмиття дифракційної картини на електронограмах, що дозволяє робити висновок про розмір блоків і напруженнях у матеріалі. Для прискорення електронів зазвичай використовуються електр. поля, напруги яких складають 30–100 кВ, при цьому довжина хвилі дорівнює 0,007–0,004 нм, проте необхідно дотримуватися макс. обережності, щоб уникнути забруднення поверхні або спотворення структури поверхн. шару. Для зняття жирових, гідроксидних і оксидних плівок та ін. сторонніх забруднень застосовують електролітичне полірування і промивання в різних середовищах. Не допускається перебування підготовленого до дослідження шліфа на повітрі

більш ніж декілька хвилин. Розмір зразка повинен забезпечувати можливість ковзання пучка електронів по поверхні шліфа на довжині 5–10 мм. При знімках «на віддзеркалення» глибина проникнення електронів у речовину не перевищує 3–5 нм. Точність періодів кристаліч. решітки за електронограмою менше, ніж та, що досягається при рентгеноструктурному аналізі. Перевагою електронографії є можливість отримання різких і інтенсивних рефлексів при набагато менших розмірах кристалітів, ніж це можливо у рентгенографії.

Електронно-мікроскопічне дослідження (поверхонь тертя) – вивчення структурно-фазових перетворень в найтоншому поверхн. шарі і топографії поверхонь тертя за допомогою електронного мікроскопа.

Електропластичний ефект (при терті) – ефект пластифікації поверхн. шару одного з контактуючих металів під впливом електр. струму. Передбачається, що електр. імпульси сприяють миттєвій розрядці дислокаційної структури матеріалу, у результаті чого на поверхню виходять десятки і сотні тисяч дислокацій, що полегшує деформацію кристалів.

Електрохімічні явища (при терті) – сукупність процесів, що відбуваються при терті і різанні металів в електропровідних середовищах.

Елемент пари тертя – один з елементів (або матеріалів), що беруть участь у терті. Кожен Е. п. т. має свою назву. Звичайно один наз. матерілом тертя (деталлю тертя), а ін. – контртілом.

Еліпсометрія – оптичний метод за допомогою якого вимірюють товщину і коефіцієнт заломлення тонких плівок. Використовується для дослідження процесів адсорбції, корозії, мікронеоднорідностей на поверхнях (за допомогою променя лазера), складу анізотропних поверхонь та плівок.

Енергетичний баланс трибосистеми – описується рівнянням: $W_t = Q + \Delta E$, де Q – енергія термообміну з середовищем; ΔE – змінення внутр. енергії, яка складається з енергії нагрівання та енергії, що йде на змінення структури матеріалу $\Delta E = \Delta E_Q + \Delta E_e$.

Енергія вільна надлишкова – енергія, що виникає внаслідок наявності некомпенсованих молекулярних сил у частинок поверхневого шару в порів-

нянні з аналогічними частинками, які знаходяться в об'ємі.

Енергія вільна поверхнева питома – енергія вільна надлишкова, яка віднесена до одиниці поверхні.

Ерозія – руйнування поверхні шарів матеріалу внаслідок впливу електр. розрядів або механіч. впливу.

Ерозійне зношування – механіч. зношування у результаті дії потоку рідини і (або) газу.

Ерозійний пітінг – вид мікроударного механізму зношування у результаті дії потоку газів, рідин або твердих частинок. Частинки виробляють локальні імпульсні удари, енергія яких достатня, щоб викликати пластичну деформацію, структурні або фазові перетворення у мікрооб'ємах, результатом яких є викришування (вид втомного зношування).

Етап руху без контакту поверхонь – політ повзуна над рухомою основою при ковзанні внаслідок динамічної взаємодії мікрошорсткостей в нормальному до поверхонь напрямку. В цьому випадку у контакті сили дорівнюють нулю, тобто $N=0$ і $F_T=0$.

Ефект аномально низького тертя – ефект зменшення коефіцієнта тертя на два порядки під дією потоку атомів гелія (і деяких інших елементів) на

поверхню поліетилена та пропилену при терті у вакуумі. А. А. Сілін, Е. А. Духовський і інш. показали, що для поліетилена коефіцієнт тертя, попередньо дорівнюючий 0,10–0,13, при включенні атомного пучка (густиною 10^{13} атомів/см²·с з енергією 2 кев) до значення 0,0015. Після припинення опромінювання коефіцієнт тертя відновлювався до початкового значення.

Ефект беззношування (вибіркове перенесення при терті) – виникає в результаті хімічних та фізичних процесів на поверхні контактуючих тіл, які приводять до створення на них систем, які самоорганізуються, товщиною біля 100 нм, забезпечуючи автокомпенсацію зносу та зниження коеф. тертя.

Ефект вібраційного тертя (металів) – ефект, що виявляється в руйнуванні захисних адсорбованих і оксидних плівок у зоні контакту без макроскопічної деформації за рахунок їх зношування і трибодеструкції.

Ефект вм'ятини – деформування абразивною часткою контактуючих поверхонь, що взаємно переміщуються, пропорційно їх твердості.

Ефект Гарді – наявність законного зв'язку між коефіцієнтом тертя та молекулярною

масою (довгого вуглецевого ланцюга) рідкого мастильного матеріалу. Коефіцієнт тертя є лінійно спадальною функцією молекулярної маси і відповідно довжини вуглецевого ланцюга.

Ефект Д. М. Толстого – ефект зниження сили тертя внаслідок динамічної взаємодії мікрошорсткостей в нормальному до поверхонь напрямку. Інтерферометричними вимірюваннями Д. М. Толстой показав, що підскоки повзуна в нормальному до поверхні тертя при ковзанні складають 0,15–0,6 мкм.

Ефект поля – змінювання коефіцієнта тертя та інтенсивності зношування під впливом магнітних, теплових, акустичних, електричних, радіаційних та інш. полів.

Ефект пружного відновлення доріжки тертя – явище, яке виникає при ковзанні впроваджених нерівностей, що проорюють поверхн. шар менш жорсткого матеріалу і утворюють доріжку тертя. Матеріал доріжок тертя, який є наступним за мікронерівностями, виявляється в розвантаженому стані і частково відновлюється.

Ефективний радіус тертя – радіус дії умовної еф. сили тертя, яка є рівнодіючою всіх елементарних сил опору.

Ефект Ребіндера – явище адсорбційного пониження міцно-

сті поверхн. шару матеріалів під впливом поверхневоактивних речовин (ПАР) рідк. середовища.

Ефективна товщина елементу пари тертя – ефективна глибина передачі теплоти за час тертя, тобто відстань від поверхні тертя по нормалі, на якій підвищення температури за час тертя, складає, менше 5% від середньої температури на номінальній поверхні тертя.

3

Задирика – пошкодження поверхні тертя у вигляді широких і глибоких борозен у напрямку ковзання. Задирика є одним з видів катастрофічного зносу.

Заїдання – процес виникнення і розвитку пошкоджень поверхні тертя внаслідок схоплювання і переносу матеріалу.

Закон в'язкої течії Ньютона – сила внутрішнього тертя F_T для ламінарного режиму прямо пропорційна похідній $\frac{dV_x}{dz}$ і

площі зсуву A : $F_T = \eta A \frac{dV_x}{dx}$, де

η – динамічна густина. Цей же закон можна подати у вигляді:

$\tau = \eta \frac{dV_x}{dz}$, де τ – дотичне на-

пруження (напруження зсуву) на площадці усередині середовища, яке рухається.

Заліковування дефекту (стосовно макродефектів на поверхні тертя) – явище з'єднання при терті матеріалів тіл, що труться, при якому відбувається перенесення матеріалу з поверхні одного тіла на поверхню іншого.

Зворотно-обертальний рух – обертання з періодичною зміною напрямку. Застосовується при випробуваннях матеріалів тертя для спеціальних вузлів. Цей вид руху, характерний для шарнірних вузлів, використовується у випробувальних установках.

Зворотно-поступальний рух – переміщення тіла паралельно самому собі з періодичною зміною напрямку. Використовується при випробуваннях матеріалів тертя для спеціальних вузлів, зокрема в деяких трибометрах.

Змащування – підведення і (або) нанесення мастильного матеріалу до (на) поверхні тертя;

~, **зануренням** – змащування при якому поверхня тертя повністю, або частково, постійно, або періодично занурена у ємність з рідким мастильним матеріалом;

~, **кільцем** – змащування при якому мастильний матеріал

підводиться до поверхонь тертя кільцем, якого тягне вал при обертанні;

~, **крапельне** – змащування при якому до поверхні тертя підводиться рідкій мастильний матеріал у вигляді крапель;

~, **мастильним туманом** – змащування при якому мастильний матеріал підводиться до поверхні тертя у вигляді легкого, або густого туману, який звичайно створюється шляхом введення мастильного матеріалу у струю повітря, або газу;

~, **набивною** – змащування при якому рідкій мастильний матеріал підводиться на необхідну частку поверхні за допомогою матеріалу, який змащується та стикається з нею та має капілярні властивості;

~, **одноразове проточне** – змащування при якому мастильний матеріал періодично або безперервно підводиться до поверхні тертя і не повертається в систему змащування;

~, **під тиском** – змащування при якому мастильний матеріал підводиться до поверхні тертя під тиском;

~, **ресурсне** – одноразове змащування на ресурс вузла перед початком його роботи;

~, **ротапринтне** – змащування, при якому на поверхню деталі

наноситься твердий мастильний матеріал, який відокремлюється від спеціального твердого тіла, яке змащує та натискається на поверхню;

~, **твердим покриттям** – змащування, при якому на поверхні тертя до роботи деталі наноситься мастильний матеріал у вигляді твердого покриття;

~, **фітільне** – змащування, при якому рідкій мастильний матеріал підводиться до поверхні тертя за допомогою гніту;

~, **циркуляційне** – змащування при якому мастильний матеріал після проходження по поверхням тертя знову підводиться до них у механічний спосіб;

Змішаний знос – форма зносу, при якому одночасно проявляється не менше двох видів зносу.

Зміна поверхневих шарів – зміна структури, щільності, електро-і теплопровідності, мікрогеометрії, яка відбувається під дією значних деформацій і тепла, що виділяється при терті.

Знакозмінне тертя – тертя при малих вільних або вимушених коливаннях фрикц. елемента механіч. системи, які система робить поблизу положення стійкої рівноваги.

Знос – результат процесу зношування, що визначається у встановлених одиницях.

Зносостійкість – властивість матеріалу чинити опір зношуванню в певних умовах тертя. Оцінюється величиною, зворотною швидкості зношування чи інтенсивності зношування.

Зносостійкі матеріали – матеріали, що відрізняються підвищеною зносостійкістю при роботі в конкретних умовах.

Зносостійкі покриття – захисні покриття із зносостійких матеріалів

Зношування – процес руйнування та відокремлення матеріалу від поверхні твердого об'єкта та (чи) нагромадження в ньому залишкових деформацій під час тертя, який виявляється у поступовому змінюванні розмірів і (чи) форм об'єкта.

~, **абразивне** – механічне зношування матеріалу в результаті ріжучої або драпальної дії тв. тіл або часток, що знаходяться в закріпленому або вільному стані. Розрізняють гідро-і газоабразивне зношування – залежно від того, захоплюються абразивні частки потоком рідини чи газу, а також зношування закріпленим і вільним абразивом;

~, **адгезійне** – зношування в наслідок локального з'єднання двох твердих тертьових тил та глибинного виривання матеріалу з їхніх поверхневих шарів;

~, **водневе** – процес руйнування металевого елемента пари тертя внаслідок поглинання металом водню;

~, **газоерозійне** – зношування під впливом високошвидкісного потоку газу або пари;

~, **гідроабразивне (газоабразивне)** – зношування в результаті впливу тв. тіл або частинок, захоплених потоком рідини (газу);

~, **гідроерозійне (газоерозійне)** – зношування в результаті дії потоку рідини, або газу;

~, **електрокорозійне** – характеризується підвищеним зносом і відбувається при проходженні через контакт третьових поверхонь електричного струму. Зношуванню підлягають контакти ковзання електричних машин і зварювальних апаратів, струмомічачі транспортних та під'ємнотранспортних машин, пристроїв та інш. Фактори, що зумовлюють підвищення зносу при проходженні електричного струму різноманітні. При навантаженні контакту струмом різко посилюються окислювальні процеси. Електрохімічний характер окислювальних процесів найбільш потужно проявляється на анодно-поляризованих поверхнях. Електричне поле в зазорі спри-

яє руху кисню в напрямку поверхні, а виникнення в зоні контакту окиснених твердих частинок зносу приводить до інтенсифікації абразивного зношування. Проходження струму через контакт викликає значне тепловиділення і пришвидшення окислювальних процесів;

При іскро- і дугоутворенні має місце електроерозія. Наявність в зоні контакту композитних матеріалів електричне поле сприяє переносу композита на метал або металізації композита;

~, **кавітаційне** – механічне зношування при русі тв. тіла відносно рідини, при якому бульбашки газу захоплюються поблизу поверхні, що створює місцевий високий ударний тиск або високу температуру;

~, **кавітаційно-ерозійне зношування** – складний корозійно-механічний процес, що є наслідком мікроударного впливу рідини на поверхню деталей;

~, **корозійно-механічне** – зношування в умовах одночасного впливу механічних навантажень і агресивних середовищ;

~, **крихких матеріалів**. Характерною ознакою зношування крихких матеріалів є велика швидкість росту тріщин розташованих перпендикулярно напрямку руху деталей, і які виникають в зоні розтягуючих напружень. В крихких матеріа-

лах руйнування може відбуватися у площині максимальних дотичних напружень також шляхом зсуву без помітного пластичного деформування. Такому виду руйнування схильні кристали з іонним або ковалентним зв'язком (мінерали, неорганічні солі, крихкі інтерметалічні з'єднання в сплавах, керамічні матеріали, карбіди металів). У забруднених металах мають місце шари крихких складових (наприклад в чавуні), руйнування яких відбувається шляхом зрізування;

~, **механічне** – зношування в результаті механіч. впливів. До м. з. можуть бути віднесені всі види абразивного зношування, а також ерозійне зношування, кавітаційне зношування;

~, **механо-хімічне** – зношування матеріалу в наслідок механічних впливів під час тертя, що супроводжуються хімічною (чи) електрохімічною взаємодією матеріалу з середовищем;

~, **окислювальне** – зношування при наявності на поверхнях тертя захисних плівок, що утворилися в результаті взаємодії матеріалу з киснем або окисл. Середовищем;

~, **полімерних матеріалів**. Специфічна будова п. м. зумовляє їх фізичну природу руйнування та змащування. Для деталей тертя застосовують полімери у висо-

копластичному і склоподібному станах. Особливість високопластичного стану – в'язкопружні деформації при порівняно малих навантаженнях. Склоподібний стан характеризується більшою жорсткістю і значно меншою здібністю до пластичних деформацій. В основі руйнування найбільш навантажених молекул лежить термофлуктуаційний механізм, при якому деякі зруйновані зв'язки відновлюються, але зі зростанням навантаження число актів руйнування перевищує число відновлень (рекомбінацій). Опір руйнуванню залежить від швидкості деформування та температури. Для склоподібного стану полімерів характерні механізми руйнування крихких тіл;

~, **при динамічному контактному навантаженні**. Д. к. н. характеризується наявністю в парах тертя з зазором сил тертя і осцилюючих ударних навантажень. Сила тертя виникає як наслідок коливального відносного переміщення, а питомі навантаження прикладаються при відносних рухах перпендикулярно поверхні тертя. Накладання удара на систему ковзання викликає специфічні процеси в зоні контакту, які приводять до підвищеного зно-

су поверхонь і дуже часто до порушення загальноприйнятих закономірностей зношування; Такий вид зношування має місце, наприклад, в бандажних полицях робочих лопаток турбіни газотурбінних двигунів, антивібраційних полицях вентиляторних лопаток ГТД, в поступальних площинних парах ІУ класу з періодичним ударним розривом контакту (типу «напрямна – ланцюг»);

~, **при заїданні** – зношування у результаті схоплювання, глибинного виривання матеріалу, перенесення матеріалу з однієї поверхні тертя на ін., і впливу виниклих нерівностей на сполучену поверхню;

~, **при припрацьовуванні** відбувається стабілізація режимів тертя та зношування; змінюється мікрогеометрія поверхонь (проходить перехід від нерівноважної шорсткоті до рівноважної); відбувається більш рівномірний розподіл навантаження по контурним площам контакту; іде створення нової квазістаціонарної структури поверхневих шарів «третього тіла» з фізико-механічними властивостями, які відрізняються від об'ємних; відбувається трансформація пластичних деформацій в пружні;

~, **при схоплюванні** – проявляється за відсутності змащувальних плівок та поверхневих структур, які локалізують лінії пластичної течії в тонких поверхневих шарах. В цих випадках площини максимальних напружень розповсюджуються в більш глибокі від поверхні контакту шари і суттєво збільшують об'єм деформованого матеріалу. Руйнування матеріалу відбувається на значній глибині від поверхні, а частина відділеного матеріалу налипає на поверхню спряженої деталі. Якщо сила зсуву досягає рівня рушійних сил, то відносний рух деталей припиняється; відбувається задирка спряженої пари. Такий вид зношування є катастрофічним, який приводить до швидкого виходу зі строю вузла тертя;

~, **при фретингу** – механіч. зношування тіл при коливальному відносному мікрозміщенню;

~, **при фретинг-корозії** (див. зношування корозійно-механічне) – корозійно-механіч. зношування дотичних тіл при малих коливальних відносних переміщеннях;

~, **ударно-абразивне** – вид зношування на динаміч. контакті взаємодіючих поверхонь при наявності між ними часток,

твердість яких більше твердості зношуваних поверхонь, здатних при певній енергії одиночного удару впроваджуватися в метал, утворюючи заглиблення у вигляді лунок;

~, **усталене** – зношування, при якому швидкість руйнування третьових поверхонь (або швидкість зношування) V_p не перевищує швидкості процесу, що визначає вид зношування, $V_{опр}$; $V_p < \text{копр}$;

~, **утомне** – зношування поверхні тертя або її ділянок у результаті повторного деформування мікрооб'ємів матеріалу, що приводить до виникнення тріщин і відділення частинок матеріалу.

Зовнішнє тертя – опір, який виникає при відносному переміщенні притиснутих один до одного тіл в площині їх дотику. Супроводжується дисипацією енергії.

I

Імпульсний характер процесів тертя – особливості процесів взаємодії складових системи тертя при короткочасному елементарному акті контактування мікронерівностей сполучених поверхонь тертя, коли протягом дуже короткого проміжку часу (10^{-6} – 10^{-7} с) мікронерівності піддаються динамічним, електричним і тепловим ударам.

Інтенсивність зношування – відношення зносу до зумовленого шляху, на якому відбулося зношування, або до обсягу виконаної роботи. Розрізняють лінійну об'ємну, вагову, енергетичну інтенсивності зношування;

~ **при ударі** – диференціальна х-ка процесу зношування, отримана з припущення, що вся кінетична енергія взаємодіючих тіл витрачається.

Інженерія поверхні – галузь науки і технології, яка включає традиційні та інноваційні процеси обробки поверхні об'єктів (деталей і матеріалів), що створюють на ній композиційний матеріал із властивостями, котрі відрізняються від властивостей основного матеріалу або чистої поверхні. І. п. базується на наукових і технологічних засадах одержання поверхневих шарів з необхідними властивостями безпосередньо в основному матеріалі, а також нанесення на нього різними методами міцно з ним зв'язаних шарів іншого матеріалу, тобто покриттів.

К

Кавітаційне зношування – механічне зношування при русі тв. тіла відносно рідини, при якому бульбашки газу закриваються поблизу поверхні, що створює

місцевий високий ударний тиск або високу температуру.

Кавітаційно-ерозійне зношування – складний корозійно-механіч. процес, що є наслідком мікроударного впливу рідини на поверхню деталей.

Катастрофічний знос – результат інтенсивного руйнування поверхні тертя, що виражається у пластичній деформації поверхневих шарів, виникненні місцевих металевих зв'язків на тертьових поверхнях і руйнуванні цих зв'язків з відділенням частинок металу або налипанні їх на поверхню тертя.

Кластер – сукупність двох або більше однорідних елементів (атомів або молекул), яка може розглядатися як самостійна одиниця, що має певні властивості.

Кластерний аналіз – призначений для групування (кластеризації) сукупності, елементи якої визначаються багатьма признаками, і отримання однорідних груп (кластерів). Кластерний аналіз дозволяє об'єднувати в одні групи різні признаки за допомогою деякої метрики, наприклад евклідової відстані. К. а. застосовується в задачах трибології.

Клас зносостійкості – показник якості деталей рухомих з'єднань машин. Установлено 10 класів зносостійкості, які

представляються рядом інтенсивностей зношування від 10^{-13} ~ до 10^{-3} ~ і охоплюють практично весь діапазон зносостійкості, що зустрічається при експлуатації.

Ковзання (чисте без кочення і обертання) – рух двох тіл відносно одне одного, при якому їх швидкості на спільній ділянці поверхні контакту різні за значенням або напрямками.

Когезія (зчеплення) – молекулярна взаємодія частинок тв. тіла, при якому відбувається з'єднання з найбільшою міцністю.

Когезійний відрив матеріалу – вид порушення фрикційного зв'язку, що виявляється у тих випадках, коли міцність останнього більше міцності ніжчезрозташованого матеріалу, і при схоплюванні. Знос при цьому, як і у випадку мікрорізання, відбувається після перших же актів взаємодії.

Коефіцієнт взаємного перекриття – відношення добутку контурних площ тертя контактуючих елементів пари тертя до квадрату умовної контурної площі тертя, одержаної пересуванням цих елементів навколо центру обертання. Для розрахунків використовується ви-

$$\text{раз } K_{B3} = \frac{A_{C1} A_{C2}}{A_{C_{\text{УМ}}}^2},$$

де A_{C_1} і A_{C_2} відповідно контурні площі тертя елементів пари тертя, а $A_{C_{\text{ум}}}$ – умовна контурна площа тертя.

Коефіцієнт зносу – безрозмірне число, що показує втрату матеріалу тв. тіла, віднесено до роботи на контакті тв. тіл.

Коефіцієнт зчеплення – відношення неповної сили тертя спокою до норм. складової зовн. сил, що діють на поверхні тертя.

Коефіцієнт стабільності моменту тертя, коефіцієнт стабільності коефіцієнта тертя (при динамічних випробуваннях фрикційних пар) – відношення середнього моменту тертя до макс. Служить для оцінки плавності роботи фрикційних пар і вузлів і виявлення піків в кінці прослизання, фактично визначає співвідношення динамічного коефіцієнта тертя і статичного коефіцієнта тертя.

Коефіцієнт тертя – відношення сили тертя до норм, складової зовн. сил, що діють на поверхні тіл.

Контакт дискретний (поверхонь тертя) – механічний контакт двох шорстких поверхонь, що уявляє собою сукупність точок (плям), через які передається тиск.

Контактна задача – модельна задача про контактну взаємодію двох тіл, вирішення яких

можуть бути застосовані для аналізу напруженого стану тіл, як на мікрорівні (контакт нерівностей), так і на макрорівні (взаємодія зубців шестерен, кулькових та роликів підшипників і ін.).

Контактне змащування, ротапринтне змащування – змащування, при якому на поверхню рухомої деталі наноситься твердий мастильний матеріал, який відокремлюється від спец. змащуючого бруска або олівця, який притискається до поверхні.

Контактна зона (при терті) – геометричне місце розташування контурних поверхонь, через які передається тиск. При терті зазвичай ототожнюється з поняттям деформативної зони.

Контактно-гідродинамічна теорія змащування – теорія, створена в результаті спільного рішення конт. і гідродин. завдань для круглих циліндрів і характеризує роботу масляного шару в умовах важко навантаженого контакту при чистому коченні або коченні з проковзуванням.

Контактні напруження – напруги, які виникають при механіч. взаємодії тв. деформованих тіл на площах їх торкання та поблизу цих площ.

Контакт насичений – контакт, при якому тиск в зоні контакту

дуже великий і у взаємодію вступають усі виступи, які знаходяться на контурній площі, тоді їх число не змінюється при збільшенні навантаження.

Контакт ненасичений – контакт, при якому деформовані мікронерівності не впливають один на одне, оскільки вони знаходяться на досить великій відстані. Такий контакт зазвичай має місце у вузлах тертя.

Контактний тиск – тиск, розподілений по частині поверхні зіткнення твердих тіл, що має сліди місцевої деформації від стиснення.

Контактна фрикційна втома (фрикційно-контактна втома) – зміна стану матеріалу, що приводить до його прогресивного руйнування в зоні, співмірній з зоною взаємного проникнення мікронерівностей взаємодіючих поверхонь, при багаторазовому (циклічному) впливі норм. і тангенціального навантажень.

Контртіло – елемент пари тертя, що працює разом з матеріалом тертя.

Контурна площа торкання – площа, утворена в місцях торкання об'ємним зминанням тіл, обумовленим хвилястістю. На к. п. т. розташовані фактичні площі торкання.

Контурний тиск – навантаження, що припадає на одиничну контурну площу дотику A'_c .

Конструкція робочої поверхні – система регулярних порожнин різної конфігурації, що наносяться на поверхні тертя деталей з метою підвищення їх службових характеристик.

Композиційні матеріали, композити – гетерофазні матеріали, окремі фази яких виконують задані специфічні функції.

Композиційні покриття – покриття, що складаються з різних фаз, які виконують задані специфічні функції. Різновид композиційних матеріалів.

Корозія – процес руйнування поверхні металу як результат дії хімічного або електрохімічного впливу зовнішнього середовища.

Кочення – процес, при якому поверхні дотичних і взаємно переміщуваних без ковзання тіл безперервно змінюють ділянки контакту при повороті одного або обох тіл відносно постійних або миттєвих осей.

Кочення з проковзуванням – різновид кочення двох тіл відносно один одного, коли чисте кочення в окремі проміжки часу супроводжується (переривається) ковзанням.

Критерій антифрикційності – числова x -ка, що враховує ме-

ханіч. властивості фрикційного контакту та геометричні фактори, що зумовлюють виникнення задирок.

$$K. a. = A_{\phi} = R\sigma_s / (h\sigma_s + \tau R),$$

де h – глибина заглиблення індентора, R – радіус індентора, τ – зсувна міцність молекулярного зв'язку, σ_s – межа текучості граничного наклепаного матеріалу основи. Значення A_{ϕ}

та інтенсивність його змінення в залежності від відносного заглиблення характеризує несучу здатність поверхні тертя.

Критерії заїдання – якісні критерії, що характеризують ступінь пошкодження поверхонь, і розрахункові критерії – ф-ції ряду змінних параметрів, які дозволяють прогнозувати початок заїдання.

Критерій макро- і мікрогеометрії контактування – узагальнена змінна, отримана шляхом множення критеріїв подібності, в які входять параметри макро-і мікрогеометрії.

Критерії оцінки триботехнічних характеристик мастильних матеріалів: втрати на тертя (величина моменту тертя, сили тертя або коефіцієнти тертя); навантаження, при яких досягаються критичні умови на поверхні тертя (заїдання, за-

дир) або досягається задана величина сили тертя або температури; знос поверхні тертя, який визначається при нормованих умовах випробувань при навантаженні, швидкості, температури; критична температура, яка характеризує руйнування граничних мастильних шарів і мастильного матеріалу (критична температура руйнування мастильного шару).

Крихкість – властивість матеріалу руйнуватися при механічній дії без помітної пластичної деформації.

Кут тертя – кут φ , який визначається з виразу $f = tg \varphi$, де f – коефіцієнт тертя ковзання. Тв. тіло, що лежить на площині, кут нахилу якої можна поступово збільшувати, знаходиться у спокої до тих пір, поки тангенс кута нахилу площини до горизонту не досягає значення коеф. тертя спокою.

Л

Латентний період граничного тертя – час формування стійких граничних шарів рідкого мастильного матеріалу. Л. п. гр. т. полягає в тому, що за наявності у мастильній речовині полярних молекул, коефіцієнт тертя, починаючи з деякого відносно великого значення, поступово зменшується.

Лінійний знос – висота зношеного шару матеріалу тертя. Зазвичай визначається при вимірюванні об'єкта мікрометричними, оптичними приладами чи інструментами з використанням методів сканування, профілографування і ін. Ресурс вузла тертя визначається гранично допустимим Л. з.

Лінійний питомий знос – відношення середньої глибини впровадження h_v (сер. товщини частинки зносу) до добутку діаметра плями торкання d , на число циклів n , які призводять до відокремлення матеріалу. Л. в.з.

визначається виразом $i_n = \frac{h_v}{dn}$.

М

Макет для випробувань – виріб, що уявляє собою спрощене відтворення пристрою або його частини і призначене для випробувань. Застосовується, на пр., при розробці гальм, фрикційних муфт та ін.

Макро модель (тертя, зношування) – уявлення про тертя (зношування) як інтегральнім процесі, що складається з елементарних процесів. У якості елементарних процесів розглядаються контактування поверхонь, теплопередача, деформування та ін.

Макроструктура – структура металу, видима неозброєним

оком або при невеликому збільшенні за допомогою лупи. Виявляється зломом брусків або травленням відполірованої або тонко відшліфованої поверхні металу в спец. реактивах. При розгляді М. можуть бути виявлені дефекти металів і сплавів – тріщини, усадочні нещільності, раковини і т. д.

Мастильні властивості (масел і мастил) – властивості, що характеризують здатність мастильного матеріалу покращувати працездатність поверхні тертя шляхом макс. зменшення зносу і тертя.

Мастильна дія – прояв мастильної здатності, яка визначається механіч. (реологічними), хім. і поверхн. властивостями мастильних матеріалів.

Мастильна здатність – властивість мастильного матеріалу знижувати знос і силу тертя, незалежно від його в'язкості. М. з. обумовлюється зменшенням адгезійної і механіч. взаємодії тв. тіл при терті, іншими словами, зменшенням сили фрикційного зв'язку.

Мастильний матеріал – матеріал, що вводиться на поверхню тертя для зменшення зносу, пошкоджень поверхні і (або) сили тертя.

Масштабні коефіцієнти переходу (від моделі до натурі), множники перетворення – величини, що застосовуються при

зіставленні або перетворенні аналогічних параметрів модельованих об'єктів. Множник перетворення може бути пост. величиною, незалежно від часу та координат (зазвичай в цих випадках він наз. масштабним).

Масштабний фактор – х-ка, що показує зміну вихідного параметра системи (коефіцієнта тертя, інтенсивності зношування) при зміні прийнятого за відомий вхідного параметра елемента пари тертя (див. також масштабні коефіцієнти переходу). У якості вхідного параметра можуть бути прийняті маса, геометричні х-ки, твердість, швидкість та ін.

Матеріал тертя – матеріал, що використовується або призначений для роботи в умовах тертя, найчастіше ковзання. Цей клас конст. матеріалів включає фрикційні матеріали та антифрикційні матеріали.

Машина тертя – випробувальна установка для дослідження трибологічних характеристик матеріалів тертя.

Мащення – дія мастильного матеріалу, яка призводить до зменшення сили тертя і (або) зносу;

~, **газове** – мащення, при якому розділ поверхонь тертя деталей, що знаходяться у відносному русі, здійснюється газовим мастильним матеріалом;

~, **газодинамічне** – газове мащення, при якому повне розділення поверхонь тертя здійснюється в результаті тиску, що виникає в шарі газу внаслідок відносного руху поверхонь;

~, **газостатичне** – газове мащення, при якому повне розділення поверхонь деталей, що знаходяться у відносному русі або спокої, здійснюється газом, який надходить в зазор між поверхнями під зовнішнім тиском;

~, **гідродинамічне** – рідинне мащення, при якому повне розділення поверхонь тертя здійснюється внаслідок тиску, що виникає в шарі рідини при відносному русі цих поверхонь;

~, **гідростатичне** – рідинне мащення, при якому повне розділення поверхонь тертя деталей, що знаходяться у відносному русі або спокої, здійснюється рідиною, що надходить в зазор між цими поверхнями під зовнішнім тиском;

~, **граничне** – мащення, при якому тертя визначається властивостями тонкого шару компонентів рідкого мастильного матеріалу, що відрізняються від властивостей того ж мастильного матеріалу в об'ємі і зумовленими взаємодією матеріалу поверхонь тертя, мастильного матеріалу і середовища;

~, **еластогідродинамічне** – мащення, при якому тертя і товщина шару рідк. мастильного матеріалу між двома поверхнями, що знаходяться в відносному русі, визначаються пружн. властивостями матеріалів поверхонь тертя і маст. матеріалу, а також реологічними властивостями останнього в зоні зіткнення поверхонь;

~, **змішане** – мащення, під час застосування якого відбувається наприклад, частково гідродинамічне, частково граничне, та еластогідродинамічне мащення, та інші варіативні співвідношення мащень;

~, **рідинне** – мащення, при якому поділ поверхонь тертя деталей, що знаходяться у відносному русі, здійснюється рідким мастильним матеріалом.

Металокераміка – див. печений матеріал.

Металополаковане мастило – мастильний матеріал для створення на поверхнях тертя *тонкого* шару м'якого металу, якій плакує контактуючі поверхні. У якості М. м. використовують металеві порошки, що вводяться у мастильні середовища.

Методологія – сукупність методик і методів проведення досліджень, а також принципів, якими керуються дослідники при обґрунтуванні рішень у

конкретній природничонауковій області. Напр., методологія розробки антифрикційних матеріалів на основі принципів молекулярномеханічної теорії тертя з використанням фізичного моделювання для оцінки фрикційно-зносних характеристик створюваного матеріалу в реальній конструкції підшипника ковзання.

Методи аналізу проб відпрацьованого масла (для діагностування зносу сполучення) – емісійна спектроскопія, нейтронноактиваційний аналіз, феррографія, седиментометрія, ультрамікроскопія, електрооптичний метод і т. п.

Методика випробувань – організаційно-методичний документ, обов'язковий до виконання, що включає опис методу випробувань, засобів і умов випробувань, послідовності відбору проб, алгоритми виконання операцій з визначення однієї або декількох взаємопов'язаних *x-k* властивостей об'єкта (трибосопрямижень, вузла тертя), форми подання даних і оцінювання точності, достовірності результатів, вимог техніки безпеки та охорони навколишнього середовища.

Метод випробування матеріалів на ударно-абразивне зношування – метод імітації

фрикційної взаємодії при повторних ударах зразком через шар тв. абразивних частинок по нерухомому ковадлі із заданими енергією удару, швидкістю і частотою зіткнень. Відносна зносостійкість матеріалу оцінюється шляхом порівняння зносу випробовуваних і еталонних зразків, випробовуваних в ідентичних умовах.

Метод випробування матеріалів при терті об нежорстко закріпленій абразив – метод імітації фрикційної взаємодії, при якій в однакових умовах проводять тертя зразків дослід. і еталонного матеріалів об абразивні частки, що подаються в зону тертя і притискаються до зразка обертовим гумовим роликом. Вимірюють знос зразків випробувального і еталонного матеріалів, а зносостійкість випробувального матеріалу оцінюють шляхом порівняння його зносу із зносом еталонного зразка. Метод стандартизований ГОСТ 23. 208-79.

Метод вугільних плівок – метод визначення фактичної площі контакту тв. тіл, заснований на руйнуванні на плямах торкання тонкого шару отриманої у вакуумі плівки.

Метод групового урахування аргументів (МГУА) – передбачає задання n вхідних змінних x_1, x_2, \dots, x_n та вихідної

змінної y . Пошук триботехнічної функціональної залежності $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ здійснюється у класі поліноміальних функцій, при цьому виконується послідовний перебір вхідних змінних та їх різних комбінацій з метою найбільш оптимальних, які дозволяють найкращим чином описувати експериментальні дані. Успішно застосовується в задачах трибології.

Метод екзоелектронної емісії (ЕЕ) – електрофіз. метод дослідження фізико-хім. і структурних змін в поверхн. шарах тв. тіл при різних впливах на них, заснований на реєстрації електронів, випромінюваних тілом при збудженні.

Метод електронної оже-спектроскопії – метод фіз. дослідження поверхонь тертя, заснований на аналізі енергії електронів, емітованих випробовуваною речовиною під дією пучка первинних електронів, і виділенню із загального енерг. спектру оже-електронів. Енергія оже-електронів обумовлюється структурою атомних рівнів і має певне значення для кожного елемента, а величина амплітуди оже-піку залежить від концентрації цього елемента, що дає можливість отримати данні про хім. склад поверхні тертя.

Метод контактної різниці потенціалів – електрофізичний метод дослідження енергетичних характеристик (роботи виходу електронів) поверхні твердого тіла. Застосовується для оцінки поверхневої енергії твердого тіла, на підставі якої проводяться дослідження адсорбційних явищ, формування граничних шарів мастила і пластифікації поверхневих шарів матеріалу.

Метод вимірювання теплоти адсорбції – метод який заснований використанні явища зниження поверхневої енергії матеріалу твердого тіла при контакті його поверхні з мастильним матеріалом, що супроводжується зміною концентрації молекул поверхнево активної речовини, яка більше на поверхні ніж в обсязі мастильного матеріалу. Процес адсорбції супроводжується зниженням вільної енергії поверхні і ентропії, що свідчить про екзотермічний характер процесу. Теплота адсорбції мастильних речовин зазвичай вимірюється за допомогою мікрокалориметрів проточного типу. Застосовується з метою оцінки властивостей мастильних шарів, які формуються на поверхнях тертя.

Методи нанесення покриття – обробка, яка полягає у ство-

ренні на заготовці поверхн. шару із заданого чужорідного матеріалу (зазвичай – композиції певного складу та структури).

Метод оцінки протизадирних властивостей – метод імітації фрикційної взаємодії, при якій з'являється задирка. Використовують метод контакту сферичного індентора з тонкою смугою і контакту циліндричних зразків. У першому випадку під час переміщення сферичного індентора щодо плоского зразка реєструють норм. і тангенціальні сили, а також величину заглиблення і по ним роблять висновок про протизадирні властивості пари матеріалів у відповідності з рекомендаціями Держстандарту МР 29–81. У другому – циліндричний зразок розміщують між двома обертовими роликками і поступово збільшуючи навантаження реєструють кут їх повороту і зусилля протягування зразка, а також χ -ки шорсткості поверхні і мікротвердість.

Метод оцінки триботехнічних властивостей матеріалів на основі полімерів – метод імітації фрикційної взаємодії, при якій зразок із дослід. матеріалу у вигляді вкладиша або покриття на металевому вкладиші встановлюють на циліндричну поверхню обертового із

заданою швидкістю металевого ролика, і, поступово змінюючи норм. навантаження на зразок і частоту обертання ролика, визначають сукупність комбінацій швидкостей і навантажень, при яких досягається гранич. режим роботи пари тертя по температурі і швидкості зношування.

Метод перенесення речовини – метод визначення фактичної площі торкання тв. тіл, заснований на перенесенні та адгезії активної речовини з одного тв. тіла (негативу) на інше, контактуюче з ним (позитив), в місцях їх фактичного дотику.

Метод поляризації фрикційної системи від зовнішнього джерела – електрофізич. метод дослідження, який полягає в тому, що електродний потенціал системи, виміряний по відношенню до деякого електроду порівняння, зсувається в оптимальну для протікання процесів тертя і зношування область і підтримується на заданому рівні під час роботи пари тертя.

Методи поверхневої активації – фіз. метод дослідження зношування. Полягає у визначенні лінійного зносу по зменшенню активності, наведеної в тонких поверхн. шарах деталей шляхом бомбардування їх зарядженими частинками. Товщина активованого шару або

глибина активації визначаються властивостями опроміненого матеріалу, типом та енергією прискорених заряджених часток і геометрією опромінення, і становить зазвичай десятки або сотні мікрометрів.

Метод прозорих плівок – метод кількісного визначення фактичної площі контакту з настанням моменту втрати прозорості залежно від фактичних тисків в контакт. У якості інформатора застосовують целюлозну плівку вихідної товщини 25 мкм, яка починає темніти при товщині 1 мкм.

Метод протитиску – метод визначення статич. контактного тиску між манжетою і валом. Він полягає у вимірюванні тиску газу в порожнині з тильного боку манжети, який плавно підвищують при проведенні досліду, в той момент, коли виявляють проникнення газу через манжету в робочу порожнину.

Метод радіоактивних індикаторів – див метод радіоактивних ізотопів.

Метод спільного деформування – метод моделювання процесів схоплювання матеріалів, заснований на наданні листовим зразкам матеріалів заданого ступеня деформації за допомогою фігурних пуансонів. Метод дозволяє досліджувати

вплив різних чинників на процес схоплювання.

Метод штучних баз – метод вимірювання лінійного зносу поверхні щодо зміни розмірів заглиблення певного профілю, нанесеного на досліджувану поверхню. Заглиблення повинно мати вісь, норм. до поверхні тертя, уздовж якої відраховується місцевий лінійний знос. Залежно від форми заглиблення розрізняють методи відбитків (використання алмазної піраміди з кутом при вершині 2,38 рад.), накернених відбитків (використання кінцевого керна з кутом при вершині 2,1–2,45 рад) і вирізних лункок (використання різця у вигляді тригранної піраміди).

Метод ямок травлення – метод дослідження дислокаційної картини поверхні тв. тіла, заснований на спостереженні за появою і розвитком специфічних ямок в місцях виходу дислокацій при хім., термічному або електролітичному травленні поверхні шліфа.

Механічна деструкція масла – розриви молекулярних ланцюгів рідкого мастильного матеріалу на ділянках високої енергії зв'язку при механіч. впливі, у т. ч. на площах фактичного контакту матеріалів тертя.

Механізм зношування – прояви в характері явно вираже-

них причино – наслідкових зв'язків між елементами мікро- і макроструктур матеріалів, що знаходяться в певних зв'язках між собою в трибологічній системі, що виражаються в зміні її розмірів і властивостей при порушенні рівноважного стану з підведенням надлишкової енергії.

Мікроконтактно-гідродинамічна теорія мащення – теорія, яка застосовується при розрахунках на надійність і довговічність зубчастих передач.

Мікрометрування – метод визначення зносу, заснований на вимірюванні деталей за допомогою механіч., конт. або будь-яких ін. приладів до і після випробувань на знос.

Мікрорентгеноспектральний аналіз – рентгеноспектроскопія мікрооб'ємів тв. матеріалу. Мін. аналізований об'єм становить 1–10 мкм³ залежно від діаметра сфокусованого пучка електронів, збуджуючого характеристичне рентгенівське випромінювання атомів (іонів) елементів, що входять до складу матеріалу. М. а. може бути як якісним, так і кількісним.

Мікрорентгеноструктурний аналіз – рентгенографія невеликих (з лінійними розмірами порядку десятих часток міліметра) об'ємів матеріалу. Проводиться з використанням камер з голчас-

тими коліматорами, що дозволяють сфокусувати пучок рентгенівських променів в тонку пляму. Термін М. а. – аналог терміна мікрорентгеноспектральний аналіз, проте на відміну від останнього поки не є загальноприйнятим.

Мікроковзання контактних поверхонь – перехідний процес, що протікає між зонами зчеплення і ковзання.

Мікроструктура – кристалічна будова металів і сплавів, яка виявляється за допомогою металографічного мікроскопа, що дозволяє розрізнити розміри, форму і розташування окремих зерен металу, їх внутр. будову при збільшенні до 2 тис. разів.

Мікротріщини – тріщини в тв. тілі, які виявляються за допомогою оптичної мікроскопії.

Міцність адгезійного зв'язку – сила або робота відриву взаємодіючих поверхонь одне від одного, віднесене до одиниці площі контакту.

Моделювання (дослідження модельованого об'єкта) – засноване на подібній йому моделі, включає побудову моделі, її вивчення і перенесення отриманих відомостей на модельований об'єкт. У триботехніці на малогабаритних моделях досліджують зазвичай фрикційно-зносні характерис-

тики і температурні х-ки досить великих (в порівнянні з моделлю) об'єктів;

~, **аналогове** – базується на однаковому для моделей і природи математичному опису і використовується для імітації на основі аналогії фізичної системи по її елементах. При цьому кожному з фізичних елементом природи в моделі відповідає певний еквівалент;

~, **імітаційне** – застосовується до процесів, в ході яких передбачається час від часу втручання дослідника або групи дослідників. Потім приводиться в дію математична модель, яка показує яка очікується зміна обстановки у відповідь на це рішення і до яких наслідків воно призведе згодом. Модель являє собою сукупність взаємодіючих елементів: компонентів (підсистем), параметрів змінних, функціональних залежностей, обмежень, цільових функцій;

~, **математичне** – засновано на математичному подібі та на ізоморфізмі рівнянь, тобто, здатності їх описувати різні за своєю природою явища і виявляти різні функціональні зв'язки, використовуючи здатність рівнянь описувати окремі сторони поведінки системи;

~ **тертя (зношування)** – дослідження тертя (зношування) на об'єктах, що перебувають у відношенні подоби до модельованого об'єкту. Застосовують методи фіз., мат. або функціонального моделювання або їх поєднання;

~, **фізичне** – дослідження фізично подібних процесів на установках, які зберігають фізичну природу явищ, але відтворюють їх в інших розмірах, в сенсі геометричному або фізичному. Вирішуються завдання виявлення залежностей коефіцієнта тертя, інтенсивності зношування і температури тертя від узагальненої інформації про функціонування та властивості трибоз'єднань.

Модель – об'єкт (явище, процес, установка, знакове утворення), що знаходиться у відношенні подоби до модельованого об'єкту. Розрізняють графічні макромоделі та мікромоделі процесів тертя, фіз. М. (зразки і натурні вироби), мат. М. (рівняння або системи рівнянь, напр., теплової динаміки тертя).

Модифікатор тертя – спеціальні антифрикційні присадки до моторних масел, які є ефективними при високих робочих температурах, напр. маслорозчинні з'єднання молібдену.

Молекулярно-гладка поверхня – поверхня тв. тіла, яка не

має шорсткості в молекулярному масштабі.

Молекулярно-механічна теорія тертя (адгезійно-деформаційна) – найбільш поширена в даний час, яка досягла істотного розвитку феноменологічна теорія, побудована на основі певної, заздалегідь заданої моделі контактуючих поверхонь тв. тіл. По І. В. Крагельському, тертя обумовлюється, з одного боку, деформуванням матеріалу упродовженні нерівностями (деформаційна складова сили тертя, механіч. складова сили тертя), а з іншого – подоланням молекулярних (адгезійних) зв'язків в зоні контакту (молекулярна складова сили тертя), тобто утворенням і руйнуванням фрикц. зв'язків. Останнє може мати механіч. (пружне відтискування, пластичне відтискування, мікрорізання) і молекулярний (порушення молекулярних зв'язків на поверхні або в глибині тіла) характер. Ф-ли для триботехнічних розрахунків дозволяють обчислити коефіцієнт тертя та інтенсивність зношування для всіх видів порушення фрикційних зв'язків.

Мономолекулярний шар, моношар – шар поверхнево-активної речовини товщиною в одну молекулу, що утворюється на межі розділу фаз в ре-

зультаті адсорбції або нанесення речовини з летючого розчинника і поверхн. дифузії.

Н

Навантаження (механічне) – вплив на будь-яке тіло, що характеризується прикладеною до нього силою. Розрізняють статичні навантаження, постійні або ті, що повільно змінюються, і динамічні навантаження, що викликаються прискореним рухом самого тіла або тіл, з ним пов'язаних.

Нагар – відходи на поверхні камери згоряння, які складаються в основному з карбонів і здатні викликати зношування деталей циліндро-поршневої групи.

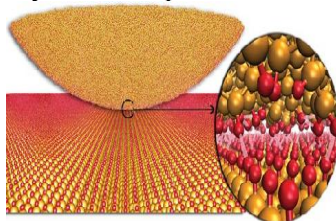
Наклеп (деформаційне зміцнення) – зміцнення матеріалу пластичним деформуванням у разі його навантаження з границею міцності.

Намазування – явище переносу речовини з однією контактуючої при терті поверхні на ін., що супроводжується порушенням норм. роботи фрикційного вузла.

Нанотертя – це тертя, при якому сила тертя пропорційна числу атомів, які взаємодіють між собою з боку обох тертьових поверхонь нанорозміру.

Моделювання показало, що контактна взаємодія матеріалів на nano рівні розмірів відбува-

ється аналогічно тому, як труться один об одного великі предмети з дуже нерівною поверхнею, а зовсім не так, як взаємодіють предмети з гладкими поверхнями і як це вченим уявлялося раніше.



Нанотрибологія – розділ трибології, який вивчає фізико-хімічні процеси в межах нанорозмірів.

Нанотрибологічна система – це безліч нанотіл (наночастинок), які утворюють сукупність трибологічних контактів в середовищі(ах) взаємодії, обмежена переходами зміни енергетичних станів. Середовище може бути неоднорідним, а нанотіла, одночасно знаходяться в системі, не ідентичні. Стан системи в будь-який момент t характеризується функціям розподілу нанотіл і ділянок середовища за параметрами стану (за властивостями). Система відкрита й еволюціонує в результаті припливу речовин і енергії.

Наночастинки 1 – проміжні утворення з атомів (молекул) між малими молекулярними кластерами і макроскопічними твердими тілами.

Наночастинки складаються з атомів одного або декількох елементів і мають характеристичні розміри <100 нм.

2 – являють собою нанорозмірні комплекси взаємозалежних атомів або молекул. До наночасток відносять:

– *нанокластери*, серед яких розрізняють впорядковані нанокластери, що характеризуються наявністю певного порядку в розташуванні атомів і сильними хімічними зв'язками, і невпорядковані нанокластери, що характеризуються відсутністю порядку в розташуванні атомів і слабкими хімічними зв'язками;

– *нанокристали*, що характеризуються впорядкованим розташуванням атомів і сильними хімічними зв'язками подібно масивним кристалам;

– *фулерени*, які складаються з атомів вуглецю (або ін. елементів), що утворюють структуру у вигляді сфероподібного каркаса;

– *нанотрубки*, які складаються з атомів вуглецю (або інших елементів), що утворюють структуру у вигляді циліндричного каркаса;

– *супермолекули*, що складаються з молекули – основи з просторовою структурою, в

порожнині якої міститься стороння молекула;

– *біомолекули*, що уявляють собою складні молекули біологічної природи з полімерною будовою (ДНК, білки);

– *міцели*, що складаються з молекул поверхневоактивних речовин, які утворюють сфероподібну структуру.

Напіврідинне мастило – мастило, при якому рідкий мастильний матеріал, що передає навантаження, частково поділяє поверхні тертя деталей, які знаходяться у відносному русі. По физико-механіч. сутності Н. м. найчастіше відповідає рубіжному режиму гідродинамічного тертя, коли зв'язані поверхні валу покриті мультимолекулярними граничними шарами. Між ними є шар мастила, який вже не зазнає силового впливу поверхонь, що полягає в структуруванні мультимолекулярних граничних шарів, адсорбуючих перпендикулярно до поверхонь.

Насичений контакт – різновид контакту двох шорстких поверхонь, коли число контактуючих нерівностей дорівнює числу нерівностей, розташованих на контурній площі торкання.

Натир – ділянка поверхні тертя, що відрізняється за кольором від прилеглих ділянок і має на собі найбільший тиск.

Натир буває світлим (результат згладжування мікронерівностей поверхні або створювання найдрібніших рисок в напрямку ковзання) і темного кольору (результат місцевих підвищених температур і створення окисних плівок).

Натирання – спосіб нанесення антизадирних покриттів на поверхні тертя валів і втулок. Здійснюється на токарному верстаті шляхом притиснення закріпленого в різцетримачі прутку латуні, міді, бронзи та ін. до обертової поверхні тертя.

Натурне моделювання (роботи фрикційних і антифрикційних пристроїв) – відтворення в лабораторії близьких до експл. умов роботи натурального фрикційного (антифрикц.) пристрою і встановлення на ньому кількісних х-к тертя і зношування для розрахунку надійності і довговічності.

Ненасичений контакт – різновид контакту, що часто зустрічається, двох шорстких поверхонь, коли число контактуючих нерівностей менше числа нерівностей, розташованих на контурній площі торкання.

Не ньютонівські середовища (рідини) – середовища які не відповідають закону Ньютона. До них належать нафтові мастила при низьких температурах, деякі колоїдні розчини і суспензії.

Неруйнуючі випробування – випробування, після яких перевірена продукція залишається придатною до постачання споживачу. У трибології такими є деякі не функціональні випробування (напр., вимірювання твердості), контроль структури, вимірювання магнітних або елект. х-к та інші, а також деякі функціональні випробування (напр., визначення зносостійкості витиранням лунок).

Несуча здатність (вузла тертя) – граничне навантаження, при якому вузол тертя може працювати без відмов.

Несучий шар (деталі тертя) – елемент багатшарової деталі тертя, який сприймає експл. навантаження і визначає службові характеристики виробу. Виготовляється з антифрикційного матеріалу або фрикційного матеріалу, що прикріплюється тим чи іншим чином до основи.

Номінальна питома потужність тертя – відношення середнього або макс. значення потужності тертя $N = fPv$ до ном. площі торкання. Тут f – коефіцієнт тертя, P – норм. навантаження, v – середнє або макс. значення швидкості. Застосовується при силових, тепл. розрахунках і співставленні ефективності конструк-

цій і матеріалів, що працюють при суттєвому тепловиділенні (гальма, муфти, важконавантажені підшипники тощо).

Ньютонівське середовище – середовище, яке підпорядковується закону пропорційності дотичних напружень поперечній похідній швидкості $\left(\frac{dV_x}{dz}\right)$ по нормалі до площадки усередині середовища, яке рухається (закону Ньютона).

О

Обкатка – заключна технологічна операція виготовлення або ремонту двигуна, агрегата або автомобіля в цілому, якісне проведення якої дозволяє зменшити відмови у період експлуатації і підвищити ресурс.

Окислювальне зношування – зношування при наявності на поверхнях тертя захисних плівок, що утворилися в результаті взаємодії матеріалу з киснем або окисл. середовищем.

Оксидна плівка (на поверхнях тертя) – плівка, що складається переважно з оксидів металу і утворюється при терті в результаті взаємодії металу з киснем повітря або змащуючої рідини. Має значну крихкість, яка особ-

ливо інтенсивно проявляється при певній товщині плівки.

Опора ковзання по свіжому сліду – опора, в якій вся номінальна площа поверхні тертя у весь період ковзання знаходиться у контакті, тоді як у контр тіла у контакт вступають весь час нові ділянки поверхні тертя. В таких умовах працюють магнітнорейкові гальма, різні вкладиші по напрямним значної довжини, колеса транспортних машин при юзі і ін.

Оптимальна пара тертя – пара тертя, що забезпечує найбільш еф. експлуатацію вузла в заданих умовах.

Оптимальний мікрорельєф (при терті), оптимальна шорсткість – чистота поверхонь елементів пари тертя, що забезпечує її найбільш еф. припрацювання і досягнення стадії усталеного зносу.

Оптична мікроскопія – метод дослідження мікроструктури з метою якісного визначення фазового складу і кількісного складу фаз, розміру та розподілу структурних складових

Основа деталі тертя – елемент багат шарової деталі тертя, що забезпечує їй необхідну міцність або жорсткість.

Основні параметри трибосистеми – параметри, зміна яких поблизу заданих умов експлуа-

тації впливає на силу тертя та інтенсивність зношування.

П

Параметр оптимізації – величина, що характеризує результати експерименту і підлягає оптимізації шляхом варіювання факторів. У завданнях триботехніки під П. о. найчастіше розуміють несучу здатність пари тертя, її зносостійкість, коефіцієнт тертя.

Параметри процесу – величини, що характеризують будь-яку властивість процесу, явища, системи, техн. пристрою. У триботехніці П. п. є швидкість, навантаження, час і ін.

Параметр трибосистеми – фіз. величина, кількісно характеризує властивості елемента системи або взаємодії елементів складної системи.

Пара тертя, фрикційна пара – система з двох елементів (матеріалів), дотичні поверхні яких у процесі роботи переміщуються (ковзають) відносно один одного. Один елемент системи називають матеріалом тертя (звичайно метал, сплав, неметал, композиція та ін.), а ін. – контртілом (найчастіше чавун або сталь);

~, **пряма** – пара, в якій роль антифрикційного елемента ви-

конує втулка підшипника ковзання. При цьому ресурс трибоз'єднання визначається зносом антифрикційного елемента. У цієї парі по більшій поверхні ковзає більш тверде тіло ($H_1 > H_2, S_1 < S_2$);

~, **зворотна** – пара, в якій на цапфі, що обертається, виконаний антифрикційний елемент (кільцева втулка, тонкий шар мастильного матеріалу). Цапфа є елементом трибоз'єднання, який в більшій мірі ніж нерухома втулка схильний до зносу. У цієї парі по більшій поверхні ковзає більш м'яке тіло ($H_1 < H_2, S_1 < S_2$).

Перенесення матеріалу – переміщення при терті матеріалу або речовини фаз, які входять в цей матеріал, з однієї контактуючої поверхні на ін.. Розрізняють макроперенесення, що виявляється у втом. відділенні частинок від поверхні одного з елементів пари тертя і прилипання їх до контртіла (окремим випадком макроперенесення є наволочення), і вибіркове перенесення, при якому переважають процеси синтезу на активних поверхнях сполук, які утворюються при терті з матеріалу контртіла.

П'єзокоефіцієнт фрикційного зв'язку – величина, що характеризує збільшення (зменшен-

ня) міцності при зрізі зі зростанням норм. тиску.

Питома інтенсивність зношування – розрахунковий параметр, що характеризує процес руйнування на рівні елементарного фрикц. зв'язку (плями торкання): $i_h = \frac{V_d}{n_{кр} A_r d_k}$, де

V_d – деформ. обм'єм зношеного матеріалу, який руйнується після $n_{кр}$ циклів фрикц. взаємодії, а d_k – середній діаметр плями контакту.

Питоме навантаження (у триботехніці) – тиск, в загальному випадку рівний ліміту відношення норм. складової навантаження (сили) до ном. площі контакту, на яку вона діє: $P_a = \lim_{A_a \rightarrow 0} P / A_a (dP / dA_a)_n$.

При рівномірному розподілі сил $P_a = P / A_a$, де P – норм. складова навантаження, A_a – ном. площа тертя.

Питоме ковзання – відношення алгебраїчної різниці швидкостей двох рухомих відносно один одного тіл до суми цих швидкостей. У триботехніці використовується для зіставлення умов роботи різних вузлів тертя.

Підкладка – матеріал на поверхні якого формується покриття. Вибір П. диктується конкре-

тним завданням і умовами нанесення покриття.

Пітинг – будь-яке видалення або переміщення матеріалу, що приводить до утворення на поверхні деталі поглиблень і ямок. Звичайний вид руйнування робочих поверхонь елементів підшипників кочення;

~, **місцева корозія** металічної поверхні внаслідок руйнування граничних шарів мастила, яка обмежена точкою або малою площадкою і має форму каверни; ~, **поверхнєве** викришення при терті кочення.

Плавність (роботи пари тертя) – здатність пари тертя при збільшенні навантаження плавно нарощувати силу тертя без виникнення динамічних навантажень в системі.

Плакування – метод нанесення покриттів за рахунок механіч. або термомеханічного діяння на два або більше матеріалів, що з'єднуються.

Планіметрування – визначення площі будь-якої фігури, що обмежена довільною замкненою лінією, за допомогою механіч. пристрою, найчастіше – полярного планіметра Амслера. Використовується в трибології для обчислення роботи тертя по діаграмі моменту або сили тертя.

Поверхнево-активні речовини (ПАР) – речовини, які здатні концентруватися на поверхні розділення фаз і знижувати поверхневий (міжфазний) натяг.

Поверхня відклику – геометричне зображення ф-ції відклику, геометричний образ процесу в $(n+1)$ – вимірному просторі, де n – число факторів. Поняття використовується при інтерпретації результатів активних експериментів.

Поверхнева енергія – надлишок енергії поверхн. шару тертя (перша фаза) у порівнянні з енергією речовини всередині тіла (друга фаза), обумовлений розходженням міжмолекулярних взаємодій в обох фазах.

Поверхнева плівка – плівка мастила, оксиду або будь-якої речовини, менш міцної, ніж осн. матеріал, на фрикційному контакті, яка забезпечує зовнішнє тертя (правило позитивного градієнта механічних властивостей). Загальним для усіх П. п. є те, що їх опір зсуву зменшується зі збільшенням товщини плівки і зростає зі збільшенням стискуючого зусилля.

Поверхня тертя – поверхні тіл, які беруть участь у терті. П. т. характеризується макрогеометричними властивостями (ном., контурна і фактична площі торкання, частково ком-

плекс геометричних розмірів), мікрогеометричними (висота нерівностей, хвилястість, база-ва довжина, комплекс параметрів шорсткої поверхні), фіз. (щільність, теплопровідність, поверхневий натяг, адсорбція, поверхнева енергія, твердість, мікротвердість), хім. (хемосорбція та ін.).

Поверхневий шар – зовнішній активний шар товщиною від часток мікрметра до десятків мікрметрів, який разом з підповерхневим (товщиною до декількох міліметрів), шаром тісно пов'язані і уявляють спільний механізм фрикційної взаємодії контактуючих тіл. П. ш. незалежно від режимів тертя фізико-механічних властивостей матеріалу зазнає дію пластичної деформації, приймає участь в фізико-хімічних трибо реакціях, та має значну адсорбційну здатність.

Поверхня ювенільна – в трибології прийнято називати поверхні вільні від оксидних плівок і різного роду забруднень, які створюються в результаті контакта (тертя) однієї поверхні об другу і володіючих підвищеним енергетичним потенціалом.

Покриття – шар або декілька шарів матеріалу, штучно одержуваних на поверхні, що покривається (підкладці).

Полімер тертя – органічний продукт, який утворюється при фрикційній взаємодії мастила з середовищем і матеріалами пари тертя.

Попереднє змазування – нанесення мастильного матеріалу на поверхні тертя до роботи деталі.

Попередній зсув – відносне мікропереміщення двох твердих тіл у процесі тертя на межі переходу від стану спокою до відносного руху.

Пористість – наявність порожнин у структурі суцільної речовини, яка виражається відношенням обсягу пор до повного об'єму пористого тіла.

Поріг зовнішнього тертя (по І. В. Крагельському) – сукупність факторів, що визначають умови, за яких зовнішнє тертя переходить у внутрішнє тертя, тобто припиняється обтікання заглибленої нерівності матеріалом контртіла.

Потужність тертя – відношення роботи тертя до часу ковзання. Розраховується за формулою $N=W/t$, де W – робота тертя, t – тривалість ковзання. Визначає інтенсивність тепловиділення на фрикційному контакті, поверхневу температуру і градієнт температури в матеріалі і т. п., експлуатаційні χ -ки матеріалу.

Пошкодження – порушення справності об'єкту або його

складових частин внаслідок впливу зовнішніх факторів, які перевищують рівні, установлені нормативно-технічною документацією на об'єкт.

Передпускове змазування – змазування поверхні тертя перед кожним пуском машини.

Предмет вивчено нанотехнології – сукупність методів і прийомів, що забезпечують можливість контрольованим чином створювати і модифікувати об'єкти, що включають компоненти з розмірами менше 100 нм, що мають принципово нові якості і дозволяють здійснювати їх інтеграцію в повноцінно функціонуючі системи більшого масштабу.

Пристосовуваність – властивість трибосистеми в умовах зовнішнього впливу змінювати і стійко відтворювати свою структуру в енергетично вигідному напрямку.

Припрацьовуваність –

1. здатність тертьових тіл в початковий період тертя поступово покращувати контактування поверхонь за рахунок їх згладжування, що при пост. зовн. умовах супроводжується зниженням коефіцієнта тертя, інтенсивності зношування і зменшенням виділення тепла.

2. властивість матеріалів тертьових тіл в процесі припрацьовування змінювати геометрію повер-

хонь тертя, та фізико-механічні властивості поверхневих шарів, в наслідок чого відбувається зменшення сили тертя і зносу.

Припрацьовування – 1. процес зміни шорсткості поверхонь тертя і фізико-механіч. властивостей поверхн. шарів матеріалу в початковий період тертя, зазвичай виявляється при пост. зовн. умовах у зменшенні роботи тертя і інтенсивності зношування.

2. процес переходу трибосистеми до стаціонарного стану, зумовлений зміною геометрії поверхонь тертя, складу, та фізико-механічних властивостей поверхневих шарів, тертьових тил, а також фізико-хімічних властивостей мастильних матеріалів.

Припрацьовувальні мастила – рідкі мастильні матеріали, що містять присадку, яка прискорює процес припрацьовування пари тертя і захищає поверхню тіл від задирок, схоплювання, можливих при жорстких перевантаженнях неприпрацьованих поверхонь.

Припрацьовувальний знос – знос тертьових тіл за період припрацьовування. Для інтенсифікації пропрацьовування при одночасному зменшенні П. з. на робочу поверхню деталей тертя

іноді наносять спец. припрацьовувальний шар.

Припрацьовувальний шар (підшипника) – шар матеріалу, що наноситься на антифрікц. шар підшипника для поліпшення припрацьовування.

Присадка до мастильного матеріалу – речовина, яка додається до мастильного матеріалу для придання йому нових властивостей, або посилення існуючих;

~, **антикорозійна** – присадка, яка перешкоджає, обмежує корозію змащувальних металевих поверхонь;

~, **депресорна** – присадка, яка знижує температуру застигання рідкого мастильного матеріалу;

~, **диспергуюча** – присадка, до рідкого мастильного матеріалу, яка підвищує дисперсність нерозчинних забруднень і стабільність суспензій переважно при низьких температурах;

~, **протизадірна** – присадка, яка перешкоджає, обмежує або затримує заїдання поверхонь, які труться;

~, **протизносна** – присадка, яка перешкоджає або зменшує швидкість або інтенсивність зношування поверхонь, які труться;

~, **протиокислювальна** – присадка, яка перешкоджає, обмежує та затримує окислення мастильного матеріалу;

~, **протиіінна** – присадка, яка зменшує або перешкоджає створенню стійкої піни у рідкому мастильному матеріалі.

Продукти зносу – частки матеріалу, що відокремлюються в процесі зношування.

Проміжний шар – шар, що вводить між поверхнями тертя з метою забезпечення позитивного градієнта механічних властивостей по глибині.

Протекторний захист при терті – спосіб зменшення корозійно-механіч. зношування завдяки використанню металів цинку, магнію, алюмінію та їх сплавів.

Пружне деформування (відтискування матеріалу виступами контртіла) – один з осн. видів порушення фрикц. зв'язку, який відбувається, коли діюче навантаження і адгезія не призводять до виникнення в зоні контакту напруг, що перевищують ліміт плинності.

Р

Раціональний цикл випробувань – багатоетапна система випробувань, що дозволяє визначити працездатність пари тертя і вплив на її фрикційно-носні характеристики конструктивного оформлення та умов експлуатації.

Режими тертя – умовна градація механізмів тертя поверхонь і тв. тіл, пов'язаних зі зміною параметрів тертя, наявністю або відсутністю мастильного матеріалу, характером фізико-механіч. та фізико-хім. взаємодії контактуючих поверхонь. Перехід від одного Р. т. до ін. зазвичай характеризується зміною значень коефіцієнта тертя. А. С. Ахматов запропонував наступну класифікацію Р. т.: 1) тертя ювенільних поверхонь, коли між тертьовими поверхнями відсутня третя фаза, здатна виконувати мастильну функцію. Коеф. тертя f при такому режимі складає 0,8–6; 2) тертя окислених фізико-хімічно чистих поверхонь ($f = 0,4–0,8$); 3) рубіжний режим граничного тертя, коли над оксидами з'являється мономолекулярний шар адсорбованих молекул мастила ($f = 0,2–0,6$); 4) граничне тертя, коли плівка мастильного матеріалу представляє собою мультимолекулярний шар полярних молекул ($f = 0,1–0,4$); 5) рубіжний режим гідродинамічного тертя, коли над мультимолекулярним шаром полярних молекул з'являється шар неполярних, парал. поверхні тертя ($f = 0,008–0,02$); 6) гідродин. тертя, коли мастильний шар складається не тільки з

мультимолекулярного шару, що має твердокристаліч. структуру, а й з ридиннокристаліч. об'ємної фази. Поведінка таких шарів підкоряється законам гідродинаміки структурно-в'язкої рідини.

Релаксаційні коливання – коливання, зумовлені тертям. Особливість їх полягає в тому, що коливальний процес створюється шляхом накладання двох різних за характером коливань: рівномірного руху при відносному спокої тертьових елементів і нерівномірного відносного їх переміщення. В залежності від відносної тривалості кожного з цих видів графік коливального процесу може бути або пилоподібним, або близьким до синусоїдального. Частота P . к. змінюється в широкому діапазоні: від 8–10 Гц в автомобільному зчепленні до 4000–5000 Гц в тормозах рухомого потяга.

Реологічні явища – релаксація напруг, пружна післядія, повзучість і ін. явища, пов'язані з невідновними залишковими деформаціями матеріалів, які приймають участь у терті.

Ресурс – напрацювання (тривалість або обсяг робіт) об'єкта від початку експлуатації або її поновлення після капітального

ремонту до настання граничного стану.

Рівняння зносу – рівня зв'язку між властивостями матеріалів контактуючих поверхонь, умовами тертя, мікрогеометрією та інтенсивністю

зношування:
$$l_h = \sqrt{\frac{h}{R}} \cdot \frac{P_a}{P_r} \cdot \frac{k}{n},$$

де l_h – інтенсивність зношування, $\frac{h}{R}$ – віднос. глибина

заглиблення, h , R – відповідно висота і радіус одиничної нерівності, P_a , P_r – відповідно ном. і фактичний тиск на контакті, n -число циклів до відділення частинки зносу матеріалу при заданому (відомому) рівні напруг, k -множник приведення.

Робота тертя – енергія, що передається термодинамічною системою (фрикційною парою) навколишньому середовищу і матеріалу елементів пари тертя при зміні зовн. параметрів системи, напр., положення у просторі, опору руху, об'єму, електр. поля та ін.

Робоча поверхня (деталі тертя), поверхня тертя – поверхня деталі, на якій відбуваються процеси, пов'язані з виконанням нею корисної роботи.

Розмазування – явище, при якому видалення матеріалу з однієї ділянки поверхні тертя супроводжується перенесенням матеріалу на ін. її ділянку.

Розтріскування – утворення тріщин на поверхні або по всьому об'єму матеріалу або виробу, що приводить до втрати цілісності.

Руйнування (поверхонь тертя) – процес зношування і деформування контактуючих поверхонь.

С

Самозмащування – властивість пари тертя утворювати між валом і підшипником протизадирні мастильні шари за рахунок мастильних речовин, поміщених в тілі підшипника (валу).

Самозмащувальні матеріали – матеріали тертя, здатні утворювати в процесі експлуатації протизадирну розділювальну плівку за рахунок самого матеріалу або мастила, яке міститься в ньому.

Сила тертя – сила опору при відносному переміщенні одного тіла по поверхні ін. під дією зовн. сили, тангенціально спрямованої до спільної границі між двома тілами.

Сила тертя руху – сила тертя при відносному переміщенні двох тіл.

Сила тертя спокою – сила тертя, відповідна початку відносного руху.

Синергізм – взаємне посилення активності, напр., при спільному застосуванні двох або більше присадок.

Системний аналіз – методологія дослідження триботехнічних (і ін.) об'єктів за допомогою представлення їх у якості систем і аналізу цих систем.

Сімплекс узагальнених змінних – відношення значень однойменних узагальнених змінних, що характеризують трибосистему натурального вузла і трибосистему випробовуваних зразків (моделей).

Сімплекс параметрів – відношення значень однойменних параметрів натурального вузла тертя і випробовуваних зразків (моделей).

Сколювання – процес руйнування крихкого або неоднорідного матеріалу, що викликається дотичними напруженнями. Цей вид руйнування, аналогічний зрізу пластич. або однорідних тіл, відповідає деформації зсуву. Один з видів катастрофічного зносу матеріалів тертя.

Стирання – видалення шарів матеріалу за рахунок його зношування при зовн. терті ковзання.

Стрибокподібний рух (при терті) – рух елементів пари тертя відносно один одного, який характеризується в окремі проміжки часу послідовним збільшенням і зменшенням швидкості ковзання при незмінних зовн. параметрах системи (масі, навантаженні, напрямку руху, середньому значенні швидкості).

Сублімація (при терті) – безпосередній перехід розігрітого матеріалу поверхні тертя з твердого стану в газоподібний (не проходячи рідинну фазу) при переміщенні тіла в газоподібному стані.

Субмікрошорсткість – шоркість, на якій створюються ще більш мілкі нерівності. С. поки ще не нормована. В теперішній час розроблені досить надійні засоби її оцінки, але не створені прилади, які були б придатними для інженерної практики. Електронно-мікроскопічні дослідження поверхонь показують, що С. створюється нерівностями, які мають висоту 2–20 нм.

Сумісність – здатність двох або декількох матеріалів виконувати спільно задані функції;

~, **антифрикційного матеріалу** – властивість антифрикційного матеріалу працювати без схоплювання з матеріалом вала при терті. С. а. м. оцінюють за гранично допустимим навантаженням, швидкостям, температурам в зоні тертя, перевищення яких призводить до схоплювання;

~, **мастильних матеріалів** – здатність двох або декількох мастильних матеріалів змішуватися без погіршення їх службових характеристик при використанні і зберіганні. Розрізняють часткову і повну С. м. м. (останню – в будь-яких пропорціях);

~, **фрикційна (пар тертя)** – міра опору комбінації матеріалів заїданню і зношуванню. Забезпечується при виконанні правила позитивного градієнта механічних властивостей. Виявляється зазвичай при знятті фрикційно-зносних характеристик або розрахунках. Несумісні фрикційні пари тертя мають стабільність коефіцієнта тертя нижче 0,7.

Стенові випробування – випробування повнорозмірних вузлів або агрегатів, що проводяться на спец. випробувальних установках – стендах, що дозволяють імітувати умови експлуатації.

Стенд фрикційний, стенд (для триботехнічних випробувань) – випробувальна установка для дослідження натурних вузлів тертя в умовах, які імітують експлуатаційні.

Структурно-енергетична теорія тертя – теорія, що вивчає особливості структурно-енергетичної пристосовуваності матеріалів системи тертя з урахуванням природи самоорганізації у результаті кінетичних фазових переходів.

Структурні ефекти – зміна триботехнічних x -к під впливом вторинних структур: анізотропія сил тертя внаслідок орієнтації субмікроскопічного мікрорельєфу, понаддифузія і понадпластичність при терті, інверсія впливу окислювачів на інтенсивність зношування, екранування дії ПАР і т. п.

Схоплювання – місцеве з'єднання двох тв. тіл завдяки адгезії, яка відбувається при терті. В результаті С. створюється режим роботи вузла тертя, що приводить до заїдання і катастрофічного зносу контактуючих матеріалів. Схильність матеріалів до С. залежить як від їх складу і структури, так і від стану їх поверхонь, режиму навантаження, конструкції вузла та ін. Найбільш поширеними прийомами боротьби зі С. є:

введення до складу матеріалів протизадирних добавок і твердих мастильних матеріалів, модифікація конструкції вузла або режиму його роботи, нанесення покриттів на робочі поверхні деталей та ін.;

~, **I роду (холодний задир)** – неприпустимий процес пошкодження поверхонь тертя, що розвивається в результаті пластичної деформації поверхонь, виникнення локальних металевих зв'язків, їх деформації і руйнування з відділенням частинок металу і / або налипанням на поверхні тертя. Виникає при терті ковзання з малими швидкостями відносного переміщення ($v=0,0025$ м/с) і великими питомими навантаженнями, що перевищують межу текучості на ділянках фактичного контакту при відсутності шарів мастильного матеріалу, що розділяють поверхні, або захисних вторинних структур. Глибина шару, який деформується 100–150 мкм, мікротвердість досягає 4500 МПа, температура контакту 60–180 °С, коефіцієнт тертя 0,6–1,1. Представляє один з найбільш небезпечних видів пошкодження деталей машин.

~, **II роду (гарячий задир)** – неприпустимий процес пошко-

дження поверхонь тертя, обумовлений пластичною деформацією нагріванням, розм'якшенням поверхонь та створенням і руйнуванням локальних металевих зв'язків. Супроводжується намазуванням, переносом метала та відокремленням частинок з поверхонь тертя. Виникає при терті ковзання з великими швидкостями ($v=1-5$ м/с) відносного переміщення ювенільних поверхонь. Мікротвердість у шарах дорівнює 4500–10500 МПа, температура контакту 1000–1100 °С, має місце рекристалізація, гарт, відпуск, формування вторинних структур.

Т

Температурний спалах – стрибок температури при терті на фактичній плямі торкання.

Теорія диференційного проковзування – полягає в тому, що причиною відносного проковзування точок на поверхнях взаємодіючих тіл при терті коченні є різниця миттєвих швидкостей ковзання на окремих ділянках контакту. Наприклад, при коченні кульки по жолобу в зоні контакту існують лінії з нульовою відносною швидкістю ковзання, які розділяють зони, в котрих здійснюється різнонаправлене проковзування.

Теорія зносу відшаруванням – утом. теорія, запропонована Н. П. Су, будується на гіпотезі, що дефекти решітки матеріалу при неодноразовому ковзанні по його поверхні контртіла накопичуються не безпосередньо в поверхн. шарі, а на деякій відстані від поверхні.

Теорія подібності – теорія, що дозволяє встановити наявність подібності або розробити способи отримання його, у т. ч. для триботехнічних систем. Для тертя і зношування особливо важливі наступні теореми: 1) у подібних явищ (процесів) індикатори подібності рівні одиниці або критерії подібності чисельно рівні; 2) всіяке повне рівняння фіз. процесу, записане в певній системі одиниць, може бути представлене у вигляді залежностей між критеріями подібності, тобто безрозмірних співвідношень, складених з параметрів, які входять до рівняння; 3) подібні ті явища, які мають подібні умови однозначності та однакові визначальні критерії подібності.

Теорія тертя (зношування) – система уявлень про осн. закономірності процесу тертя (зношування), що базується на його ідеалізації і виділенні

провідного механізму взаємодії тіл, що труться.

Теплова динаміка тертя – метод розрахунку вихідних x - k фрикційних вузлів, які працюють в нестационарному режимі тертя, що дозволяє зв'язати динаміку процесу з безперервно змінюваними фрикційними x -ками матеріалів пари тертя.

Тепловий знос – процес руйнування поверхонь деталей машин при терті ковзання, обумовлений нагрівом зони тертя до темп-ри розм'якшення металу, десорбцією і різкою зміною властивостей мастила.

Термоелектричні ефекти (при терті) – група елект. ефектів, що виявляються одночасно та впливають на вихідні x -ки фрикційної пари.

Термоелектричні явища (при терті) – виникнення електро-рушійних сил в замкнутому ланцюзі систем вал-підшипник, оброблювана деталь-різець та ін. при наявності градієнта температури.

Тертя, зовнішнє тертя – опір, що виникає при відносному переміщенні двох дотичних тіл в площині їх торкання;

~, **внутрішнє** – явище опору відносно, переміщення частин одного і того ж тіла;

~, **руху** – тертя двох тіл, що рухаються одне відносно одного;

~, **кочення** – тертя руху двох дотичних тв. тіл, при якому їх швидкості в точках торкання однакові за значенням і напрямком;

~, **кочення з проковзуванням** – тертя руху двох дотичних тіл при одночасному коченні і ковзанні;

~, **спокою** – тертя двох тіл за відсутністю їх руху одне відносно одного;

~, **ковзання** – тертя руху, під час якого швидкості тіл в точках дотику відрізняються за величиною і (чи) напрямком.

~, **без мастильного матеріалу** – тертя двох тіл за відсутності на поверхні тертя будь якого підведеного мастильного матеріалу.

~, **з мастильним матеріалом** – тертя двох тіл за наявності на поверхні тертя будь – якого підведеного мастильного матеріалу.

~, **гідродинамічне** – вид рідинного тертя, при якому шар мастила, що розділяє поверхні тертя утворюється за рахунок форми і швидкості відносно переміщення цих поверхонь. Характеризується малими коефіцієнтом тертя і інтенсивністю зношування матеріалів.

~, **гідростатичне** – вид рідинного тертя, при якому шар мастила, що розділяє поверхні тертя, утворюється за рахунок зовнішнього тиску. Характеризується малими ко-

ефіцієнтами тертя і інтенсивністю зношування матеріалів.

~, **граничне** – тертя двох тв. тіл при наявності на поверхнях тертя шару рідини, що має властивості, відмінні від властивостей в об'ємі.

~, **нестационарне** – режим роботи з короткочасними навантаженнями, при якому вузол тертя періодично поглинає кінетичну енергію протягом обмеженого часу. Н. т., характерне, напр., для муфти зчеплення і гальм. пристроїв, супроводжується зазвичай нестационарним температурним полем.

Топографія поверхонь тертя – х-ки фіз. рельєфу поверхонь до і після тертя. Геометричні параметри поверхні під впливом пластич. деформації, виникнення вторинних структур і руйнування поверхонь при терті істотно змінюються. Тобто, вихідна Т. п. т., обумовлена технологією обробки, перетворюється в експл.

Третє тіло, робочий шар – назва зони фрикційної взаємодії контактуючих тіл, в якій розташовані фрикційні зв'язки, а також заповнююче простір між ними мастило (забруднення) і продукти зношування.

Трибоелектрична дефектоскопія – дефектоскопія, засно-

вана на вимірюванні елект. зарядів, що виникають при зовнішньому терті двох різномірних матеріалів.

Трибоелектрика – явище виникнення елект. зарядів при терті.

Трибоінформатика – розділ трибології, що описує теоретичні основи рішення проблеми отримання, зберігання та використання інформації про триботехнічні властивості (фрикційно-зносні характеристики) матеріалів.

Трибологія, трибоніка – наука про тертя, знос, мащення і взаємодію контактуючих поверхонь при їх взаємному переміщенні.

Трибометр – лаб. вимірювальна установка для дослідження і вимірювання величин, які характеризують тертя матеріалів.

Трибометрія – розділ трибології, що вивчає методи проведення випробувань на тертя і зношування, метрологічні вимоги до цих випробувань, обладнання (напр., адгезіометри, твердоміри, профілометри, лаб. машини тертя, які іноді наз. трибометрами, випробувальні стенди, типові системи триботехнічних випробувань на натурних об'єктах), датчики, підсилювачі, реєструючі прилади та методи оцінки похибки експериментів і випробувань.

Трибосистема – складна термодинамічна система, утворена при

взаємодії тіл, що труться, а також проміжного середовища і частини навколишнього середовища.

Трибоспектральний аналіз – метод оцінки деформаційно-міцнісних властивостей поверхневого шару матеріалу заснований на безперервному переміщенні індентора вздовж по поверхні і в її глибину при вдавлюванні. Метод дозволяє при вдавлюванні: проводити випробування на мікротвердість в діапазоні малих і надмалих (нано) навантажень; вивчати особливості мікрдеформації матеріалів по кінетиці впровадження індентора; ресструвати мікроповзучість матеріалів; вимірювати градієнт властивостей по глибині впровадження; відчувати матеріали з поганою відбивною здатністю (зокрема полімерні матеріали), а також матеріали, у яких відбиток сильно змінює розміри після зняття навантаження; вимірювати крихкість матеріалів по діаграмі заглиблення; вимірювати пружність матеріалів (модуль Юнга). При переміщенні: оцінювати середню міцність поверхневого шару на трасі сканування; оцінювати розкид і неоднорідність міцнісних властивостей; моделювати елементарні акти процесів тертя й

зношування (микрорезання, микроскольження тощо).

Метод покладений в основу роботи приладу «Мікрон-гамма».

Трибоз'єднення – складна термодинамічна система, в якій відбувається перетворення енергії механіч. руху в ін. види, в основному менш впорядковані, – тепло, коливання і т. д. – і передача перетвореної енергії зовн. середовищу.

Триботехніка – розділ трибології, який охоплює кінцеву стадію процесу створення трибосполучень (вузлів, деталей і елементів пар тертя) з урахуванням досягнень трибоаналізу, трибоматеріалознавства і триботехнології. Принципи Т. знаходять відображення в методах розрахунку і конструювання, виготовлення, випробування, змащування, експлуатації, діагностики та ремонту вузлів тертя і зношування.

Триботехнічне матеріалознавство – розділ трибології, що вивчає поведінку матеріалів при терті (зміна структурно-фазових особливостей поверхн. шарів тертя металів, сплавів, полімерів та ін. під впливом сили тертя, швидкості, темп-ри тертя, навколишнього середовища та ін. похідних від них

факторів), з урахуванням закономірностей тертя і зношування.

Триботехнологія – розділ трибології, що вивчає триботехнічні аспекти формоутворення деталей, обробки матеріалів руйнівними і деформуючими способами, можливості досягнення необхідних властивостей поверхонь тертя, вузлів і деталей за рахунок зміцнюючих впливів і нанесення спец. покриттів, тощо.

Трибоаналіз – розділ трибології, що охоплює проблеми накопичення та систематизації наукової інформації про фундаментальні дослідження основних фрикційних процесів з метою прогнозування результатів конт. взаємодії тв. тіл в заданих умовах. Розділами Т. є трибомеханіка, трибофізика, трибохімія, а також трибобіологія.

Трибомеханіка – вивчає механічну контактну взаємодію поверхонь в умовах тертя. Вона розглядає закони розсіювання енергії, імпульсу, а також механічну подібність, релаксаційне коливання, реверсивне тертя, рівняння гідродинаміки та процеси зношування і змащування.

Трибодіагностика – сукупність методів і засобів безперервного контролю і керування станом фрикційно-зносних характеристик деталей і вузлів тертя. Най-

більш розвинуті акустоемісійні, радіоактивні, електрофізичні, температурні, віброакустичні, аерографічні методи.

Трибофізика – вивчає фізичні аспекти взаємодії контактуючих поверхонь під час їх взаємного переміщення.

Трибохімія – вивчає взаємодію поверхонь, що контактують з хімічно активним середовищем. Вона досліджує проблеми корозії в умовах тертя, хімічні основи вибіркового перенесення і взаємодію з поверхнею деталей хімічно активних речовин, які виділяються під час тертя внаслідок деструкції полімерів або мастильного матеріалу.

Трибологічні структури – самоутворення (кристалічні будови, фази, плівки, моно-, полімолекулярного шари органічного та неорганічного походження), що відрізняються за можливою непостійністю властивостей в тимчасовому діапазоні, які формуються з компонентів матеріалів, що беруть участь в протіканні комплексу фізико-механічних, термодинамічних процесів в трибоз'єднаннях при їх контактній взаємодії.

Трибограф – лаб. вимірювальна установка для дослідження і запису на стрічці самописного

приладу величин, що характеризують тертя матеріалів.

Трибомоніторинг – розділ трибології, що включає трибометрію і трибодіагностику. Трибометрія охоплює методи та засоби вимірювання осн. параметрів фрикційної взаємодії: сили тертя, зносу, темп-ри, шорсткості, контурної і фактичної площі торкання, конт. деформації, електрич. провідності – і є основою всіх видів експериментальних (модельних, натурних, експл.) досліджень (випробувань) у триботехніці. Трибодіагностика – сукупність методів і засобів безперервного контролю та управління станом фрикційно-зносних характеристик деталей і вузлів тертя. Найбільш розвинені акустоемісійні (акустоелектричні), радіоактивні, електрофізичні (за інтенсивністю і амплітудно-частотному спектру трибоЕРС і ЕРС, магнітної індукції), температурні, віброакустичні, феррографічні і т. д.

Тріщиноутворення (при терті) – багатостадійний процес утомного руйнування матеріалу.

У

Удар – сукупність явищ, що відбуваються при зіткненні

двох рухомих або рухомого і нерухомого тіл. За дуже малий проміжок часу (порядку 1–100 мкс) відбувається значна зміна швидкостей тіл, що ударяються.

Ударно-абразивне зношування – вид зношування на динамич. контакті взаємодіючих поверхонь при наявності між ними часток, твердість яких більше твердості зношуваних поверхонь, здатних при певній енергії одиничного удару впроваджуватися у метал, утворюючи заглиблення у вигляді лунок.

Усталене зношування – зношування, при якому швидкість руйнування третюх поверхонь (або швидкість зношування) $V_{руйн}$ не перевищує швидкості процесу, що визначає вид зношування, $V_{визн}$;
 $V_{руйн} < V_{визн}$.

Утомленість – явище руйнування матеріалу під дією змінних напруг, що не перевищують границю міцності.

Утомна зносостійкість антифрикційного матеріалу – властивість підшипникового антифрикційного матеріалу чинити опір утворенню тріщин і викришуванню при повторних змінних напругах.

Утомна міцність – здатність матеріалу сприймати, не руйнуючись, циклічні навантаження.

Утомна тріщина – тріщина, що виникає у результаті дії на матеріал знакозмінних або пульсуючих навантажень.

Ф

Фази – хімічно і термодинамічно однорідні частини гетерогенної системи, що відокремлюються одна від одної видимими межами розділу.

Фактична площа (контакту) – сума фактичних малих площадок контакту поверхні тіл. Ф. п. є ф-цією геометричного обрису кожної окремої нерівності, навантаження, що припадає на неї, механіч. властивостей матеріалу, з яких найбільш суттєвими є модуль пружності, межа плинності і χ -ки зміцнення матеріалу.

Факторний експеримент – експеримент, що складається з одночасного варіювання усіх факторів і перевірі достовірності результатів математико-статистичними методами.

Фактори – незалежні змінні, варійовані експериментатором при вивченні об'єкта дослідження.

Фізичне моделювання (процесів тертя) – моделювання, при якому реалізується фіз. подібність.

Фізичні процеси в нанотрибоконтактах – ефект прилипання – ковзання;

– адгезійні ефекти;

– хімічні ефекти;

– утворення вм'ятин і подряпин при наноіндентуванні, знос матеріалу зразка і зонда;

– граничне мащення і зсувне упорядкування плівкових структур;

– металеві наноконтакти;

– трибоемісія частинок, електромагнітних і акустичних хвиль.

Флукуаційно-

електромагнітні сили тертя – рухомий диполь, що коливається, індукує на поверхні електричні струми, джоулеве загарявання яких є кінцевим результатом тертя.

Фрактал – структура, нескінченна самоподібна геометрична фігура (структура), кожний формат якої повторюється при зменшенні масштаба.

Фретингостійкість – опір

фретингу за рахунок створення на контактуючих поверхнях тертя таких систем оксид-метал, для яких в даних температурних умовах відношення твердості оксиду до твердості металу $\eta \leq 1$.

Фретинг-корозія – корозія при терті, яка характеризується виникненням пошкоджень на контактуючих номінальних поверхнях, здійснюючих мікроскопічні періодичні відносні зміщення зсуву. Цей процес має

місце у різних болтових, шліцьових, замкових, заклепкових і ін. з'єднаннях. Контактуючі поверхні при ф.-к. ніколи не роз'єднуються. Корозійні процеси можуть мати хім. або електрохім. природу, а швидкість ф.-к. визначається природою металічних пар, корозійною активністю середовища, амплітудою проковзування, контактним тиском, числом і частотою циклів відносного змішування контактуючих деталей, щільністю контакту, температурою в зоні контакту.

Фретинг-процес – руйнування поверхонь тертя деталей машин, що виявляється в різко інтенсифікованому (динаміч.) окисненні або схоплюванні. Відбувається при тертіковзанні з дуже малими коливаннями і прикладенням динамічного навантаження.

Фретинг-фактор – х-ка ступеня локального пошкодження поверхні тертя при вібраційному переміщенні (проковзуванні) $\Phi = H/h$, де H - локальний знос, h – середнє значення зносу поверхні. Φ -ф. залежить від режиму термообробки, амплітуди ковзання і т. п.

Фрикційна взаємодія – процес безперервного формування плям торкання при терті під дією норм. і тангенціальних сил. У цьому процесі беруть участь виступи з покриваючи-

ми їх плівками і прилеглий до цих виступів матеріал, який деформується при порушенні фрикц. зв'язків (пружне відтискування, пластичне відтискування, мікрорізання, глибинне виривання та ін.).

Фрикційне зміцнення – аномальне підвищення межі пластичності матеріалу поблизу поверхні тертя (1–2 мкм), яке характеризується особливо високою щільністю дислокацій в приповерхневому шарі матеріалу.

Фрикційно-зносні характеристики – х-ки пари тертя або вузла тертя, одержані у результаті випробувань, і характеризують експлуатаційні властивості об'єкта випробувань. До них відносяться залежності коефіцієнта тертя і інтенсивності зношування від темп-ри (швидкості) і (або) навантаження, стабільність коеф. тертя і його коливання, припрацьовуванність.

Фрикційні матеріали – матеріали тертя, призначені або використовуються для роботи у вузлах, що передають або розсіюють кінетичну енергію (гальмах, муфтах, зчепленнях, демпферах та ін.).

Фрикційний контакт – контакт елементів пари тертя, що має дискретний характер. Визначається ном. контурною та фактичною площами торкання

(див. відповідні статті) та реологічними властивостями дотичних матеріалів.

Х

Характеристики зовнішнього тертя: сила тертя; найбільша сила тертя; попереднє зміщення; швидкість ковзання; коефіцієнт тертя; поверхня тертя; коефіцієнт зчеплення.

~, **зношування** – граничний знос; місцевий знос; епюра зносу; швидкість зношування; інтенсивність зношування;

~, **мастильних матеріалів** – сумісність; консистенція; в'язкість; мастильна здатність; індекс в'язкості;

~, **триботехнічні твердих матеріалів** – сумісність при терті; прилегаємость при терті; здібність поглинати тверді частки; припрацьовуваність; зносостійкість матеріалу; відносна зносостійкість.

Хемосорбція (при терті) – механізм утворення сполук на поверхнях тертя в результаті поглинання газів, пару та розчинених речовин рідк. або тв. сорбентами з утворенням на поверхнях розділу нової фази або компонента.

Хімотологія – наука про властивості, якість та раціональне використання паливо-мастильних матеріалів і спец. рідин в техніці.

Холодне заїдання – процес заїдання, що виникає в умовах, коли темп-ра фрикц. розігріву не викликає істотних змін властивостей поверхн. шарів тертьових тіл (але не мастильного матеріалу). Характеризується високими стрибками, мінливими значеннями сили тертя і інтенсивним руйнуванням поверхонь у вигляді борозен, виривів і наростів.

Ч

Число подібності, критерій подібності (для задач тертя) – алгебраїчний вираз, чисельні значення якого у подібних системах тертя однакові.

Чисте кочення – ідеальний вид кочення, тобто кочення без взаємного проковзуння окремих ділянок поверхонь.

Ш

Шарувата структура – кристалічна структура, що складається з шарів, в яких атоми пов'язані один з одним сильніше, ніж атоми будь-якого шару з атомами сусіднього.

Шаржування – впровадження абразивних частинок в поверхню виробу.

Швидкість зношування – відношення значення зносу до інтервалу часу, протягом якого він виник.

Шлях тертя – шлях, який проходить тіло від початку попереднього зміщення до повної зупинки. Знаходить застосування при розрахунку роботи тертя і інтенсивності зношування. При розрахунках зношування визначають шлях, пройдений тілом між двома послідовними вимірами об'єму зношеного матеріалу.

Шум (при терті) – акустичні коливання, викликані фрикц. коливаннями при взаємодії елементів пари тертя. Частота цих коливань складає 20–20 000 Гц. Коливання частотою вище 20 000 Гц називають ультразвуковими.

Ю

Юз – самовільний перехід від кочення до ковзання у вузлах тертя, призначених для кочення.

Я

Явище переносу – явище, яке характеризується спільністю закономірностей протікаючих процесів з переносу маси, кількості руху і енергії. Я. п. вивчаються в металах за допомогою кінетичної енергії електронів. Загальну феноменологічну теорію Я. п., яка застосовується до довільної системи

(газоподібної, рідкої або твердої), дає термодинаміка незворотних процесів. З неї виходить, що найбільш швидко Я. п. протікають в газах, повільніше – в рідинах та ще повільніше – в твердих тілах.

Ядерний магнітний резонанс (ямр) – фіз. метод визначення складу, будови, міжмолекулярної взаємодії речовин в тв., рідк. або газоподібних станах. В хімотології ЯМР дозволяє вивчати структуру мастильних матеріалів, визначати будову молекул органічних речовин і інш. Метод базується на резонансному поглинанні електромагнітних хвиль речовиною, розміщеною в сильному магнітному полі при накладанні значно більш слабкого змінного радіочастотного магнітного поля, яке збуджує процесію ядер – носіїв магнетизму. За допомогою ЯМР було виявлено наявність механічної деструкції мастила в процесі тертя.

Якість поверхні – комплекс властивостей, які набуває поверхня в результаті її обробки. Я. п. характеризується макро-і мікрогеометрією поверхні, хвилястістю, структурою, зміцнюванням та залишковими напруженнями.

РОЗДІЛ 2 НАДІЙНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

А

Активний ремонт – частина непланового ремонту, яка складається з операцій, що їх виконують на об'єкті вручну.

Аналіз видів, наслідків та критичності несправностей – якісний метод аналізу безвідмовності, який містить аналіз видів і наслідків несправностей з урахуванням імовірності їх виникнення та упорядкування за ступенем важливості.

Аналіз видів та наслідків несправностей – якісний метод аналізу безвідмовності, який полягає у вивченні видів можливих несправностей кожної складової частини об'єкта і визначенні впливу наслідків несправностей кожного виду на інші складові частини та на необхідні функції об'єкта.

Аналіз відмов – логічне та систематичне дослідження об'єкта, що відмовив, для ідентифікації та аналізу особливостей виникнення відмов, їх причин та наслідків.

Аналіз графа несправностей – аналіз видів несправностей складових частин об'єкта або зовнішніх подій чи їх комбінацій, які спричиняють установлен-

ний вид несправності об'єкта, зображений у формі деревоподібної структури.

Аналіз навантажень та впливів – визначення фізичних, хімічних та інших навантажень на об'єкт у заданих умовах експлуатації.

Аналіз надійності – систематизоване дослідження з метою визначення впливу на надійність об'єкта особливостей конструкції, технологічних процесів виробництва, умов експлуатації, технічного обслуговування та ремонту, а також визначення досягнутого рівня надійності при виконанні запланованих заходів щодо забезпечення і підвищення надійності та оцінка ефективності цих заходів.

Аналіз несправностей – логічне та систематичне дослідження об'єкта для ідентифікації та аналізу імовірностей виникнення, причин та наслідків потенційних несправностей.

Б

Безвідмовність – властивість об'єкта виконувати потрібні функції в певних умовах протягом заданого інтервалу часу чи наробітку.

Безпека – властивість об’єкта забезпечувати відсутність ризику нанесення шкоди здоров’ю людей, майну та навколишньому середовищу.

Блок-схема аналізу безвідмовності – структурна схема складного об’єкта для одного або декількох видів його функціонування, що пояснює, яким чином несправності складових частин об’єкта, як елементів структури, або їх поєднання спричиняють несправність, об’єкта в цілому.

В

Вивантажувальне резервування – резервування, при якому використовується здатність елементів об’єкта сприймати додаткові навантаження поверх номінальних.

Вид відмови – форма прояви відмови. (*Видами відмови є, наприклад, обрив чи закорочення кола, зміна коефіцієнта підсилення тощо*).

Вид несправності – один з можливих станів несправного об’єкта для деякої заданої функції.

Визначення надійності – визначення кількісних значень показників надійності об’єкта.

Визначення надійності методом статистичного моделювання – спосіб визначення числових значень показників надійності об’єкта, який проєк-

тують на ЕОМ, шляхом моделювання процесів функціонування об’єкта, виникнення та усунення відмов.

Визначальні випробування на надійність – випробування, для визначення показників надійності з заданою точністю та вірогідністю.

Визначення несправності, діагностування – операції, які виконують для встановлення наявності несправності, місця несправності та визначення причин її виникнення.

Виконавець у технологічній системі – людина, що виконує в технологічній системі трудову діяльність щодо безпосередньої зміни і (чи) визначення стану предметів виробництва, технічного обслуговування чи ремонту засобів технологічного.

Вимушена відмова (технологічної системи) – відмова технологічної системи внаслідок порушення регламентованих для цієї системи умов виробництва.

Випробування на надійність – випробування, які виконують для визначення чи контролю показників надійності в заданих умовах.

Виробнича відмова – відмова, спричинена невідповідністю виготовлення об’єкта до його проєкту чи до норм виробничого процесу.

Виробнича несправність – несправність, спричинена невідповідністю ходу виробництва проекту об'єкта чи установленим виробничим процесам.

Виявлення місця несправності – операції, які виконують для ідентифікації несправної складової частини чи складових частин на відповідному рівні розукрупнювання об'єкта.

Виявлення наявності несправності – подія виявлення факту наявності несправності.

Відмова – подія, яка полягає у втраті об'єктом здатності виконувати потрібну функцію, тобто у порушенні працездатного стану об'єкта. (*«Відмова» є подія, на відміну від «несправності», що є станом та причиною відмови*);

~, **деградовна** – відмова, спричинена процесами деградації в об'єкті при дотриманні усіх установлених правил і (або) норм його проектування, виготовлення та експлуатації;

~, **конструкційна** – відмова, спричинена недосконалістю чи порушенням встановлених правил і (або), норм проектування та конструювання об'єкта.

~, **критична** – відмова, що за оцінками може привести до травмування людей, значних матеріальних збитків чи до інших неприйнятних наслідків.

~, **невраховувана** – відмова, яку належить вилучити з пояснювальної записки до наслідків випробувань чи експлуатації або з розрахунків величини показника безвідмовності. (*Повинні бути встановлені критерії вилучення відмови*).

~, **незалежна** – відмова об'єкта, не спричинена прямо чи непрямо відмовою або несправністю іншого об'єкта.

~, **параметрична (технологічної системи)** – відмова технологічної системи, за якої зберігається її функціонування, але відбувається вихід значення одного чи декількох параметрів технологічного процесу за межі, які установлені в нормативно-технічній і (або) конструкторській документації;

~, **повна** – відмова, що призводить до повної неспроможності об'єкта виконувати жодну з потрібних функцій;

~, **повторювальна** – самоусувна відмова одного й того ж характеру, що виникає багаторазово;

~, **поступова** – відмова, спричинена поступовими змінами значень одного чи декількох параметрів об'єкта. (*Поступову відмову можна передбачити попередніми дослідженнями чи технічним оглядом, інколи її можна підвернути заходами технічного обслуговування*);

~, **прихована** – відмова, що не виявляється візуально чи штатними методами і засобами контролю та діагностики, але виявляється під час проведення технічного обслуговування чи спеціальними методами діагностики;

~, **раптова** – відмова, яку неможливо передбачити попередніми дослідженнями чи технічним оглядом;

~, **ресурсна** – відмова, внаслідок якої об'єкт досягає граничного стану;

~, **систематична** – відмова, однозначно пов'язана з певною причиною, яку можна усунути лише тільки після модифікації проекту чи виробничого процесу, правил експлуатації, документації або інших чинників, що враховуються;

~, **технологічної системи** – подія, внаслідок якої припиняється функціонування технологічної системи, що не передбачено регламентованими умовами виробництва чи вимогами конструкторської документації;

~, **(технологічної системи) за витратами** – відмова технологічної системи, внаслідок якої значення принаймні одного параметра матеріальних чи вартісних витрат не відповідають значенням, які встановлені в технічній документації.

~, **(технологічної системи) за параметрами продукції** – відмова технологічної системи, внаслідок якої значення принаймні одного параметра чи показника якості виготовлюваної продукції не відповідає вимогам, які встановлені в нормативно-технічній і (чи) конструкторській та технологічній документації;

~, **(технологічної системи) за продуктивністю** – відмова технологічної системи, внаслідок якої значення принаймні одного параметра продуктивності технологічної системи не відповідає значенням, які встановлені в нормативно-технічній і (або) конструкторській документації;

~, **ураховувана** – відмова, яку належить заносити у пояснювальну записку до наслідків випробувань чи експлуатації або у розрахунок величини показника безвідмовності. *(Повинні бути встановлені критерії врахування відмови);*

~, **часткова** – відмова, що призводить до неспроможності об'єкта виконувати частину з заданих функцій;

~, **через неміцність** – відмова, спричинена неміцністю самого об'єкта, коли дія навантаження на об'єкт не перевищує встановлену спроможність об'єкта.

(Неміцність може бути властива об'єктові чи запозичена);

~, **через неправильне поводження** – відмова, спричинена неправильним чи небережним поводженням з об'єктом;

~, **через перевантаження** – відмова, спричинена дією під час використання об'єкта навантажень, що перевищують його встановлену спроможність;

~, **явна** – відмова, що виявляється візуально чи штатними методами і засобами контролю та діагностування під час підготовки об'єкта до використання чи в процесі його використання за призначенням.

Відмовостійкість – властивість об'єкта зберігати працездатність при наявності відмов його складових частин. *(Відмовостійкість закладається при проектуванні об'єкта з метою недопущення критичних відмов і збереженні безпеки).*

Відновлення – подія, яка полягає в тому, що після несправності об'єкт знову відновлює здатність виконувати необхідну функцію.

Відновлюваний об'єкт – ремонтний об'єкт, який після відмови та усунення несправності знову стає здатним виконувати задані функції з необхідними кількісними показниками надійності.

Відсоток зданої продукції з першого подання технологічної системи процесу (виробничого підрозділу, підприємства) – середнє значення у відсотках частки зданої з першого подання продукції, виготовленої за даний календарний проміжок часу технологічною системою процесу (виробничого підрозділу, підприємства).

Власна відмова (технологічної системи) – відмова технологічної системи внаслідок порушення працездатного стану її елементів і (або) функціональних зв'язків між ними.

Втомленість (матеріалу) – процес поступового накопичування пошкоджень матеріалу під дією змінних напружень, який призводить до зміни властивостей, появи тріщин, їх розвитку та руйнування матеріалу.

Г

Гамма-відсоткове напрацювання на відмову – напрацювання, протягом якого відмова об'єкта не виникне з імовірністю γ , вираженою у відсотках.

Гамма-відсотковий показник надійності – значення величини напрацювання, терміну збереженості, тривалості відновлення, протягом якого подія (відмова, досягнення гранич-

ного стану, відновлення) не виникає з імовірністю γ , визначеною у відсотках.

Гамма-відсотковий ресурс – сумарне напрацювання, протягом якого об’єкт не досягне граничного стану з імовірністю γ , вираженою у відсотках.

Гамма-відсотковий термін збережуваності – термін збережуваності, що його досягає об’єкт із заданою імовірністю γ , вираженою у відсотках.

Гамма-відсотковий термін служби – календарна тривалість експлуатації, протягом якої об’єкт не досягне граничного стану з імовірністю γ , вираженою у відсотках. *(При використанні показників довговічності слід вказувати початок відрахунку та вид дії після настання граничного стану, наприклад, гамма-відсотковий ресурс від другого капітального ремонту до списання. Показники довговічності, які відраховуються від введення об’єкта в експлуатацію до повного зняття з експлуатації, називаються: середній повний ресурс (термін служби), гамма-відсотковий повний ресурс (термін служби)).*

Гамма-відсоткова тривалість відновлення – інтервал часу, протягом якого відновлення працездатності об’єкта здійсниться з імовірністю γ , вираженою у відсотках.

Готовність – властивість об’єкта, бути здатним виконувати необхідні функції, в заданих умовах у будь-який час чи протягом заданого інтервалу часу за умови забезпечення необхідними зовнішніми ресурсами. 1. *Ця властивість залежить від поєднання властивостей безвідмовності, ремонтпридатності та забезпечення технічного обслуговування і ремонту.* 2. *Необхідні зовнішні ресурси, що не належать до ресурсів технічного обслуговування та ремонту, не впливають на властивість готовності об’єкта).*

Граничний стан – стан об’єкта, за яким його подальша експлуатація неприпустима чи недоцільна, або відновлення його працездатного стану неможливе чи недоцільне. *(Граничний стан настає, наприклад, тоді, коли параметр потоку відмов стає неприйнятним та (чи) об’єкт стає неремонтпридатним внаслідок несправності).*

Граф несправностей – логічна схема, що відображає види несправностей складових частин об’єкта або зовнішніх подій та їх комбінації, які спричиняють певний вид несправності.

Граф технічного обслуговування та ремонту – логічна схема, що відображає допустимі альтернативні послідовності одиничних операцій технічного обслуговування об’єкта та умови їх вибору.

Д

Дані випробувань – дані, які спостерігаються при випробуваннях.

Деградація, деградаційний процес – дія одного, або сукупності природних процесів старіння, корозії, зношування, втоми та руйнування.

Дефект – кожна окрема невідповідність об'єкта установленним вимогам.

Діаграма станів та переходів – схема, що відображає множину можливих станів об'єкта та імовірних однокрокових переходів між ними.

Дієздатність, стан нормально-го функціонування – стан об'єкта, в якому він виконує задану функцію.

Довговічність – властивість об'єкта виконувати задані функції до переходу у граничний стан при установленій системі технічного обслуговування та ремонту.

Дублювання – резервування з кратністю резерву один до одного.

Е

Експлуатаційні випробування на надійність – випробування, що проводяться в умовах експлуатації об'єкта.

Експлуатаційні методи забезпечення надійності – мето-

ди забезпечення надійності, які застосовуються на етапі експлуатації об'єкта.

Експлуатаційний показник надійності, спостережений показник надійності – показник надійності, точкову чи інтервальну оцінку якого визначають за наслідками експлуатації.

Експериментальний метод визначення надійності – метод, що базується на статистичному обробленні даних, одержаних у випробуваннях або при експлуатації об'єкта.

Експериментальний показник надійності, оцінювальний показник надійності – показник надійності, точкову чи інтервальну оцінку якого визначають за даними випробувань.

Екстрапольований показник надійності – показник надійності, отриманий шляхом екстраполяції чи інтерполяції для наробітку та (або) умов, що відрізняються від тих, у яких отримано спостережений або оцінювальний показник надійності.

Елемент технологічної системи – частина технологічної системи, яку умовно приймають неподільною на даній стадії її аналізу. (*Прикладами елементів технологічної системи є: машина, пристрій, інструмент*).

Ж

Живучість – властивість об'єкта зберігати обмежену працездатність в умовах зовнішніх діянь, що призводять до відмов його складових частин. *(Живучість характеризує властивість об'єкта протистояти розвитку критичних відмов при будь-яких умовах експлуатації, включаючи і ті, що не передбачені документацією).*

З

Заданий показник надійності – числове значення нормованого показника надійності, встановлене у технічному завданні на розроблюваний виріб.

Зайнятий стан – стан об'єкта, в якому він виконує необхідну для споживача функцію і тому недоступний для інших споживачів.

Залежна відмова – відмова об'єкта, спричинена прямо чи непрямо відмовою або несправністю іншого об'єкта.

Залишковий ресурс – сумарне напрацювання об'єкта від моменту контролю його технічного стану до переходу у граничний стан. *(Аналогічно запроваджуються поняття залишкового наробітку до відмови, залишкового терміну служби та залишкового терміну зберігання).*

Збережуваність – властивість об'єкта зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати потрібні функції, під час і після зберігання та (чи) транспортування.

Збій – самоусувна відмова або одноразова відмова, яку незначним втручанням усуває оператор.

Значна несправність – несправність, що порушує хоча б одну з заданих функцій об'єкта.

Зношування – процес руйнування та відокремлення матеріалу від поверхні твердого об'єкта та накопичування в ньому залишкових деформацій під час тертя, який виявляється у поступовому змінюванні розмірів і (або) форм об'єкта.

Зносостійкість – властивість матеріалу чинити опір зношуванню за визначених умов тертя, яка оцінюється величиною, зворотною швидкості зношування чи інтенсивності зношування.

Зпрогнозований показник надійності – показник надійності, який розраховано на основі спостережених оцінювальних чи екстрапольованих показників надійності для частин об'єкту у заданих умовах експлуатації з врахуванням

особливостей конструкції об'єкта.

Зростання безвідмовності, підвищення безвідмовності – процес прогресуючого покращення показників безвідмовності об'єкта з часом.

I

Імовірність безвідмовної роботи технологічної системи за параметрами продукції (параметрами продуктивності, витратами) – імовірність того, що в межах заданого напрацювання не станеться відмови технологічної системи за параметрами виготовлюваної продукції (параметрами продуктивності, витратами).

Імовірність безвідмовної роботи; $R(t_1, t_2)$ – імовірність того, що протягом заданого напрацювання відмови об'єкта не виникне. *(Звичайно вважають, що на початку інтервалу часу чи напрацювання об'єкт у змозі виконувати задані функції).*

Імовірність виконання (технологічною системою) завдання – імовірність того, що обсяг випуску технологічною системою придатної продукції та витрати на її виготовлення за розглядуваний інтервал часу будуть відповідати вимогам нормативно-технічної і (або)

конструкторської та технологічної документації.

Імовірність виконання (технологічною системою) завдання за обсягом випуску – імовірність того, що обсяг випуску технологічною системою придатної продукції за розглядуваний інтервал часу буде не меншим від заданого.

Імовірність відновлення; $M(t)$ – імовірність того, що час відновлення працездатного стану об'єкта не перевищить заданого значення.

Імовірність дотримання нормативу браку – імовірність того, що значення коефіцієнта браку не перевищить нормативного (техніко-економічно обгрунтованого) значення.

Імовірність дотримання нормативу дефектності технологічної системи операції (процесу, виробничого підрозділу, підприємства) – імовірність того, що значення коефіцієнта дефектності технологічної системи операції (процесу, виробничого підрозділу, підприємства) не перевищить нормативного (техніко-економічного обгрунтованого) значення.

Імовірність дотримання нормативу зданої продукції з першого подання – імовірність того, що значення відсотку зданої продукції з першого

подання буде не менше нормативного (техніко-економічно обгрунтованого) значення.

Імовірність дотримання нормативу повернення продукції – імовірність того, що коефіцієнт повернень не перевершить нормативного (техніко-економічного обгрунтованого) значення.

Імовірність успішного переходу на резерв – імовірність того, що перехід на резерв відбудеться без відмови об'єкта, тобто відбудеться за час, який не перевищує допустимого значення перерви у функціонуванні та (або) без зниження якості функціонування.

Інтенсивність відмов; $\lambda(t)$ – умовна густина імовірності виникнення відмови об'єкта, яка визначається за умови, що до цього моменту відмова не виникла. *(Інтенсивність відмов є показником безвідмовності неремонтуємих і невідновлюваних об'єктів).*

Інтенсивність відновлення; $\mu(t)$ – умовна густина імовірності відновлення працездатності об'єкта, визначена для одного моменту часу, за умовою, що до цього моменту відновлення не завершилося.

Істинний показник надійності – ідеальне значення показника надійності, яке одержано за відсутністю похибок вимі-

рювань та нескінченної сукупності об'єктів спостереження.

(1. *Поняття істинних значень виникає з припущення про можливість опису реалій за допомогою відповідного математичного моделювання. Істинні значення являють собою характеристики такої моделі. 2. Істинні значення можна розглядати як такі, що можна було б одержати з повної сукупності. В цьому випадку істинні значення називають значеннями генеральної сукупності. 3. В практичних умовах істинні значення ніколи не можуть бути одержані під час спостережень. Експлуатаційні, експериментальні показники, що спостерігаються, є тільки оцінками істинних показників надійності.*)

К

Керування надійністю – цілеспрямована діяльність щодо обгрунтування, планування, забезпечення, підвищення та підтримки характеристик безвідмовності, ремонтпридатності, довговічності та збережуваності об'єктів, що розглядаються.

Коефіцієнт браку технологічної системи операції (процесу, виробничого підрозділу, підприємства) – відношення обсягу продукції з неусувними критичними дефектами до об-

сягу всієї продукції, виготовленої за розглядуваний календарний проміжок часу технологічною системою операції (процесу, виробничого підрозділу, підприємства).

Коефіцієнт використання технологічної системи – відношення математичного сподівання сумарного часу перебування технологічної системи у працездатному стані до математичного сподівання сумарного часу перебування технологічної системи у працездатному стані та простоїв, зумовлених технічним обслуговуванням і ремонтом за певний період експлуатації.

Коефіцієнт витрачання i -го виду матеріальних чи вартісних ресурсів – відношення середнього витрачання i -го виду матеріальних чи вартісних ресурсів на виготовлення продукції за розглядуваний інтервал часу до його номінального значення, обчисленого за умови, що відмови технологічної системи не виникають.

Коефіцієнт виходу придатної продукції (технологічної системи) – відношення середнього значення обсягу придатної продукції технологічної системи до обсягу всієї продукції, виготовленої нею за розглядуваний інтервал часу. *(При визна-*

ченні обсягу виготовленої продукції слід враховувати продукцію, відбракovanу на всіх операціях, які виконуються технологічною системою).

Коефіцієнт готовності; $A(t)$ – імовірність того, що об'єкт виявиться працездатним у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачено.

Коефіцієнт дефектності технологічної системи операції (процесу, виробничого підрозділу, підприємства) – середнє значення коефіцієнта дефектності продукції, виготовленої за розглядуваний календарний проміжок часу технологічною системою операції (процесу, виробничого підрозділу, підприємства). *(Під коефіцієнтом дефектності продукції розуміють середню зважену кількість дефектів, що припадає на одиницю продукції).*

Коефіцієнт збереження ефективності – відношення значення показника ефективності використання об'єкта за призначенням за певну тривалість експлуатації до номінального значення цього показника, розрахованого за умови, що відмови об'єкта протягом того ж періоду не виникають.

Коефіцієнт зберігання продуктивності (технологічної сис-

теми) – відношення середнього значення обсягу випуску технологічною системою придатної продукції за розглядуваний інтервал часу до його номінального значення, обчисленого за умови, що відмови технологічної системи не виникають.

Коефіцієнт неготовності, коефіцієнт простою $U(t)$ – імовірність того, що об'єкт виявиться неприцездатним у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачено. *(Кількісна оцінка «коефіцієнта неготовності» є доповненням до «коефіцієнта готовності»).*

Коефіцієнт оперативної готовності – імовірність того, що за винятком тих запланованих періодів», протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачено, він у довільний момент часу виявиться у працездатному стані і надалі протягом заданого інтервалу часу.

Коефіцієнт повернень технологічної системи операції (процесу, виробничого підрозділу) – відношення обсягу продукції, яка має дефекти, що усуваються, поверненої на доопрацювання з наступних технологічних систем операцій (процесів, виробничих підрозділів), до обсягу всієї продук-

ції, виготовленої за розглядуваний календарний проміжок часу.

Коефіцієнт прискорення інтенсивності відмов – відношення інтенсивності відмов, одержаних під час прискорених випробувань, до інтенсивності відмов, одержаних під час нормальних випробувань на надійність. *(Обидві інтенсивності відмов належать до одного й того ж періоду терміну служби об'єктів, що випробовуються).*

Коефіцієнт прискорення напруцювання – відношення двох значень часу, необхідного для одержання однакового числа відмов або відхилення параметрів у двох виборок однакового обсягу при двох різних рівнях навантажень та збереженні незмінними характеру виникнення відмов, видів несправностей та їх відносного переважаання

Коефіцієнт прискорення параметра потоку відмов – відношення одержаних при двох різних рівнях зовнішніх діючих чинників кількостей відмов відновлюваного об'єкта, який випробовують протягом інтервалу часу, встановленого залежно від фіксованого терміну служби об'єкта.

Коефіцієнт технічного використання – відношення мате-

матичного сподівання сумарного часу перебування об'єкта у працездатному стані за деякий період експлуатації до математичного сподівання сумарного часу перебування об'єкта в працездатному стані та у простоях, зумовлених технічним, обслуговуванням і ремонтом за той самий період.

Комплекс (технологічний) – сукупність функціонально взаємозв'язаних засобів конструкторській та технологічній документації. *(До параметрів продуктивності відносяться: номінальна та циклова продуктивність, час виготовлення однієї штуки продукції тощо).*

Комплексний показник надійності – показник надійності, що характеризує декілька властивостей, із тих, які в сукупності складають надійність об'єкта.

Конструктивні методи забезпечення надійності – методи забезпечення надійності, які застосовуються на етапі проектування об'єкта.

Конструкційна несправність – несправність, спричинена не досконалістю проекту об'єкта.

Контрольні випробування на надійність – випробування, які виконують для контролю за показниками надійності.

Контроль надійності – перевірка відповідності об'єкта до заданих вимог щодо надійності.

Корозія – процес руйнування металевої поверхні об'єкта внаслідок хімічної чи електрохімічної взаємодії з активним середовищем (агресивна атмосфера, розчин кислот, лугів, солей тощо).

Корозієстійкість – властивість матеріалу (металу) чинити опір корозійній дії середовища.

Кратність резерву – відношення кількості резервних елементів до кількості резервованих ними елементів, виражене нескоротним дробом.

Критерій відмови – ознака чи сукупність ознак порушення працездатного стану об'єкта, встановлені у нормативній та (або) конструкторській (проектній) документації.

Критерій граничного стану – ознака чи сукупність ознак граничного стану об'єкта, встановлених нормативною та (або) конструкторською (проектною) документацією. *(Залежно від умов експлуатації для одного й того ж об'єкта можуть бути встановлені два або більше критеріїв граничного стану).*

Критерій критичного стану – ознака чи сукупність ознак критичного стану об'єкта, вста-

новлених нормативною та (або) конструкторською (проектною) документацією.

Критична несправність – несправність, що може призвести до травмування людей, значних матеріальних збитків чи інших неприйнятних наслідків.

Критичність відмови – сукупність ознак, що характеризують наслідки відмови. *(Класифікацію відмов за критичністю, наприклад, за рівнем прямих та непрямих втрат, пов'язаних з появою відмови, чи трудомісткістю відновлення після відмови встановлюють в нормативній та (або) конструкторській (проектній) документації за згодою з замовником на підставі техніко-економічних міркувань і вимог до забезпечення безпеки).*

Критичний стан – стан об'єкта, що може призвести до травмування людей, значних матеріальних збитків чи інших неприйнятних наслідків. *(1. Критичний стан не завжди є наслідком критичної несправності. 2. Для конкретного об'єкта повинні бути встановлені критерії критичного стану).*

Л

Лабораторні випробування на надійність – випробування об'єкта на надійність, що проводяться в лабораторних умовах.

М

Маскована несправність – несправність складової частини об'єкта, яка не може бути виявлена через особливості об'єкта чи маскується іншою несправністю цієї або іншої складової частини об'єкта.

Механізм відмови, характер виникнення відмови – фізичний, хімічний або інший процес, що привів до відмови.

Міцність – властивість матеріалу чинити опір навантаженням без руйнування. *(Міцність матеріалу оцінюють мсжою міцності (тимчасовим опором) – максимальним умовним напруженням, яке витримує зразок).*

Модель безвідмовності – математична модель, яку використовують для прогнозування чи оцінювання показників безвідмовності об'єкта.

Модель навантажень – математична модель, прийнята для опису впливів прикладених навантажень на показники безвідмовності чи на інші властивості надійності об'єкта.

Модель ремонтпридатності – математична модель, яку використовують для прогнозування чи оцінювання показників ремонтпридатності об'єкта. *(Прикладом моделі є граф технічного обслуговування та ремонту).*

Н

Навантажений резерв – резерв, що містить один чи декілька резервних елементів, які перебувають у режимі основного елемента.

Надійність – властивість об'єкта зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування. (1. *Надійність є комплексною властивістю, що залежно від призначення об'єкта і умов його застосування, може містити в собі безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збережуваність чи певні поєднання цих властивостей.* 2. *Наведений термін використовують лише для загального не кількісного опису вказаних властивостей*).

Напрацювання – тривалість чи обсяг роботи об'єкта. (*Напрацювання може бути як неперервною величиною (тривалість роботи в годинах, кілометрах пробігу тощо), так і цілочисельною величиною (кількість робочих циклів, запусків тощо)*);

~, **напрацювання до відмови** – напрацювання об'єкта від початку експлуатації до виникнення першої відмови;

~, **напрацювання до критичної відмови** – сумарний напрацювання об'єкта від початку його експлуатації до виникнення критичної відмови;

~, **напрацювання між відмовами** – напрацювання об'єкта від завершення відновлення його працездатного стану після відмови до виникнення наступної відмови.

Наслідки відмови – явища, процеси, події та стани, зумовлені виникненням відмови об'єкта.

Невідновлюваний об'єкт – об'єкт, ремонт якого неможливий або не дозволяє відновити працездатність із заданими кількісними показниками, надійності. (*Невідновлюваний об'єкт може бути як ремонтним так і неремонтним*).

Недієздатність, простій – стан об'єкта, в якому він не виконує потрібну функцію.

Незначна несправність – несправність, що не порушує жодної з потрібних функцій об'єкта. (*Дефект або несправність, викликані порушенням допоміжної функції внаслідок ушкодження*).

Невантажений резерв – резерв, що складається з одного чи декількох резервних елементів, які перебувають у невантаженому стані до початку виконання ними функцій основного елемента.

Необслуговуваний об'єкт – об'єкт, для якого проведення технічного обслуговування не передбачено нормативно-технічною документацією та (або) конструкторською (проектною) документацією.

Необхідна тривалість працездатності, необхідний наробіток – інтервал часу (наробіток), протягом якого споживач вимагає, щоб об'єкт був спроможний виконувати задану функцію.

Неплановий ремонт – технічне обслуговування та ремонт, що їх виконують після виявлення несправності для повернення об'єкта в стан, у якому він здатний виконувати задану функцію.

Непрацездатний стан, непрацездатність – стан об'єкта, за яким він нездатний виконувати хоч би одну з заданих функцій;

~, **технологічної системи** – стан технологічної системи, за якого вона не в змозі виконувати хоч би одну з заданих функцій;

~, **технологічної системи за витратами** – стан технологічної системи, за якого значення принаймі одного параметра матеріальних і (або) вартісних витрат не відповідає вимогам, які встановлені в технічній документації. *(До параметрів матеріальних і вартісних витрат*

відносять: витрати сировини, матеріалів, енергії, інструментів, вартість технічного обслуговування та ремонту тощо);

~, **технологічної системи за параметрами продукції** – стан технологічної системи, за якого значення принаймі одного параметра і (або) показника якості виготовлюваної продукції не відповідає вимогам, які встановлені в нормативно-технічній і (або) конструкторській та технологічній документації;

~, **технологічної системи за продуктивністю** – стан технологічної системи, за якого значення принаймі одного параметра продуктивності технологічної системи не відповідає вимогам, які встановлені в нормативно-технічній і (або) конструкторській та технологічній документації. *(До параметрів продуктивності відносяться: номінальна та циклова продуктивність, час виготовлення однієї штуки продукції тощо).*

Неремонтовний об'єкт, неремонтопридатний об'єкт – об'єкт, ремонт якого неможливий чи непередбачений нормативною, ремонтною та (або) конструкторською (проектною) документацією.

Несправність – стан об'єкта, за яким він нездатний виконувати хоч би одну із заданих

функцій об'єкта. *(Несправність чисто є наслідком відмови об'єкта, але може бути й без неї):*

~, **повна** – несправність, що характеризується повною нездатністю об'єкта виконувати усі задані функції;

~, **повторювальна несправність, нестабільна несправність** – несправність об'єкта протягом обмеженого проміжку часу, після закінчення якого об'єкт відновлює здатність виконувати потрібну функцію без проведення поточного ремонту. *(Така несправність може часто повторюватися);*

~, **прихована несправність** – несправність, яка існує, але ще не виявлена;

~, **систематична несправність** – несправність об'єкта, що спричинена певною причиною, яка може бути усунена тільки шляхом модифікації проекту чи виробничого процесу, правил експлуатації, документації або інших чинників, що враховуються;

~, **часткова несправність** – несправність, що викликає нездатність об'єкта виконувати частину потрібних функцій.

~, **через зношування та (або) старіння** – несправність спричинена відмовою, викликаною природними процесами старіння та (або) зношування, що відбуваються всередині об'єкта;

~, **через невміле поводження** – несправність, спричинена неправильним чи необережним поводженням з об'єктом;

~, **через неміцність** – несправність, спричинена недостатньою міцністю самого об'єкта, який перебуває під навантаженнями, що не перевищують можливостей об'єкта, встановлених відповідною документацією;

~, **через перевантаження** – несправність, викликана прикладанням під час використання об'єкта навантажень, що перевищують його встановлені можливості.

Нестационарний показник надійності – значення змінного у часі показника надійності у заданий момент часу.

Нормальні випробування на надійність – випробування на надійність, методи та умови проведення яких забезпечують необхідний обсяг інформації в той самий термін, що й у передбачених умовах експлуатації.

Нормування надійності – встановлення у нормативній та (або) конструкторській (проектній) документації кількісних і якісних вимог до надійності. *(Нормування надійності включає: вибір номенклатури нормованих показників надійності; техніко-економічне обґрунтування значень показників надійності об'єкта та*

його складових частин; задання вимог до точності та вірогідності вихідних даних).

Нормований показник надійності – показник надійності, значення якого регламентовано нормативною, та (або) конструкторською (проектною) документацією на об'єкт. *(Нормованими показниками надійності можуть бути використані один чи декілька показників, залежно від призначення об'єкта, ступеню його відповідальності, умов експлуатації, наслідків можливих відмов, обмежень на витрати, а також від співвідношення витрат на забезпечення надійності об'єкта та витрат на його технічне обслуговування і ремонт. За узгодою між замовником та виробником (виготовлювачем) допускається нормувати інші показники надійності. Значення нормованих показників надійності враховують, зокрема, при визначенні ціни об'єкта, гарантійного терміну та гарантійного наробітку).*

О

Об'єкт – система, споруда, машина, підсистема, апаратура, функційна одиниця, пристрій, елемент або будь яка їх частина, що розглядається з погляду надійності як самостійна одиниця. *(1. Об'єкт може включати технічні засоби, технічний персонал чи будь-які їх поєднання.*

2. Сукупність об'єктів, об'єднаних спільним призначенням і метою функціонування, може розглядатися як об'єкт);

~, обслуговуваний – об'єкт, для якого проведення технічного обслуговування передбачено нормативно-технічною документацією та (або) конструкторською (проектною) документацією.

Обсяг випробувань на надійність – характеристика плану випробувань на надійність, яка включає кількість випробовуваних зразків, сумарну тривалість випробувань в одиницях напрацювання та (або) кількість серій випробувань.

Одиничний показник надійності – показник надійності, що характеризує одну із тих властивостей, які в сукупності складають надійність об'єкта.

Оперативна тривалість непланового ремонту – частина оперативної тривалості технічного обслуговування та (або) ремонту, протягом якої виконують на об'єкті операцію непланового ремонту.

Оперативна тривалість технічного обслуговування (ремонт) – частина тривалості технічного обслуговування та (або) ремонту, протягом якої автоматично чи вручну на об'єкті виконують операцію технічного обслу-

говування та (або) ремонту, за винятком тривалості затримок через незабезпеченість матеріальними ресурсами. *(Операцію технічного обслуговування можуть проводити і під час виконання об'єктом потрібної функції).*

Операція технічного обслуговування та ремонту – послідовність елементарних технологічних дій з технічного обслуговування та ремонту, які проводять із заданою метою. *(Прикладом є визначення несправності, встановлення місця несправності, контроль функціонування чи їх поєднання).*

Опір утомі – властивість матеріалу протистояти утомі.

Оптимальний показник надійності – значення нормованого показника надійності, визначене з урахуванням утрат через відмови та витрат на підвищення надійності чи за іншим критерієм.

Основний елемент – елемент об'єкта, необхідний для виконання заданих функцій без використання резерву.

Основна функція, задана функція – функція або сукупність функцій об'єкта, виконання якої розглядають як необхідну умову відповідності об'єкта його призначенню. *(Всі функції об'єкта можна умовно розподі-*

лити на основні та допоміжні. Допоміжні функції-функції, виконання яких не порушує відповідності об'єкта його призначенню).

II

Параметр потоку відмов – відношення математичного сподівання кількості відмов відновлюваного об'єкта за досить мале його напрацювання до значення цього напрацювання.

Період припрацювання – можливий початковий період напрацювання об'єкта, протягом якого спостерігається стала тенденція до зменшення параметра потоку відмов, що зумовлено наявністю, поступовим виявленням та усуненням прихованих дефектів.

Період сталого параметру потоку відмов – період терміну служби відновлюваного об'єкта з приблизно сталим параметром потоку відмов. *(Період постійності параметра потоку відмов відновлюваного об'єкта системи настиве, коли в об'єкті будуть замінені хоч один раз практично всі складові елементи на аналогічні (нові)).*

Підсистема (технологічної системи) – технологічна система, яка виділяється за функціональною чи структурною

ознакою з технологічної системи вищого рівня.

Р-квантиль показника надійності – значення величини напруцювання терміну збережаності, тривалості відновлення, протягом яких відмовить (досягне граничного стану, буде відновлена) визначена частка, що складає (р%) об'єктів у вибірці. *(Зв'язок між гамма-відсотковим значенням (T_γ) та р-квантілю (T_p) показника надійності $T_\gamma = T_p(1-p/100)$; $T_p = T_\gamma(1-\gamma/100)$).*

Ця примітка стосується всіх гамма-відсоткових показників (напруцювання до відмови, ресурсу, тривалості відновлення, збережаності тощо).

План випробувань на надійність – сукупність правил, що встановлюють обсяг вибірки, порядок проведення випробувань, критерії їх завершення та прийняття рішень за результатами випробувань.

Плановий простій, вільний стан – простоювання у працездатному стані заплановане заздалегідь.

Повнота виявлення несправностей – відсоток несправностей об'єкта, які можуть бути виявлені за певних умов.

Повнота ремонту – відсоток несправностей об'єкта, які можуть бути успішно усунені.

Показник надійності – кількісна характеристика однієї чи декількох із тих властивостей, які в сукупності складають надійність об'єкта.

Полегшений резерв – резерв, що складається з одного чи декількох резервних елементів, які перебувають у режимі меншого навантаження порівняно з основним елементом.

Помилка – оцінка логічного твердження або висновок про щось, невірне, хибне. *(Помилкою, наприклад, є: спотворення кодового сигналу інформації при невірному, хибному відображенні значення елемента кодової послідовності сигналу одиниці чи нуля; визначення відмови як дії, що не відбулась (хибна відмова); незнайдення відмови (невиявлена відмова):*

~, **оператора** – дія людини, яка призвела до ненавмисного наслідку.

Похибка – різниця між розрахованим, спостережуваним або вимірним значенням величини чи параметру та дійсним, установленим або теоретично правильним значенням величини чи параметру:

~, **інструментальна** може бути викликана несправним б'єктом, наприклад, похибка обчислення, допущена несправним засобом обчислювальної техніки; ~, **методична** може бути ви-

кликана використанням тієї чи Іншої теоретичної функції розподілу випадкової величини напрацювання параметра, кількості відмов;

~, по характеру появи похибка може бути систематичною, або випадковою.

Початкові дані – дані, які за спільною згодою можна використовувати як стандартні чи як основні для прогнозування та (або) для порівняння з даними, що спостерігаються.

Пошкодження – подія, яка полягає у порушенні справного стану об'єкта коли зберігається його працездатність.

Працездатний стан, працездатність – стан об'єкта, який характеризується його здатністю виконувати усі задані функції.

Працездатний стан технологічної системи – стан технологічної системи, який характеризується її здатністю виконувати задані функції за умови забезпечення зовнішніми ресурсами.

Призначене напрацювання (технологічного комплексу) до підлагодження – напрацювання технологічного комплексу, після досягнення якого повинно бути проведено підлагодження засобів технологічного оснащення.

Призначений ресурс – сумарне напрацювання, при досягненні якого експлуатацію об'єкта належить припинити незалежно від його технічного стану.

Призначений термін зберігання – календарна тривалість зберігання, після досягнення якої зберігання об'єкта належить припинити незалежно від його технічного стану. *(Після закінчення призначеного ресурсу (терміну служби, терміну зберігання) об'єкт належить вилучити з експлуатації та повинно бути прийняте одне з рішень, передбачених відповідною нормативною документацією: скерувати на ремонт, списати, знищити, перевірити та встановити новий призначений ресурс тощо).*

Призначений термін служби – календарна тривалість експлуатації, при досягненні якої експлуатацію об'єкта належить припинити незалежно від його технічного стану.

Проектне оцінювання надійності – визначення сподіваних числових значень показників надійності проектного об'єкта на підставі даних про надійність його складових частин і структури об'єкта.

Програма забезпечення надійності – документ, що встановлює комплекс взаємообумовлених організаційно-технічних

вимог та заходів, які належить проводити на певних етапах життєвого циклу об'єкта і спрямованих на забезпечення заданих вимог до надійності та (або) на підвищення надійності.

Програмно-виявна несправність – несправність, яку виявляють внаслідок виконання деякої певної послідовності операцій згідно з інструкцією.

Припрацювання – процес підвищення показників надійності, довговічності, який чередує період у нормальній роботі:

~, для **ремонтпридатного об'єкта** – процес підвищення показників безвідмовності об'єкта, який використовує функціонування кожного виробу в належних навколишніх умовах з його успішним неплановим ремонтом після кожної відмови, протягом періоду ранніх відмов;

~, для **неремонтпридатного об'єкта** – процес підвищення показників безвідмовності об'єкта, який використовує його функціонування у заданих умовах.

Прискорені випробування на надійність – випробування, в яких рівень діючого навантаження вибирають вищим, ніж рівень навантаження у початкових умовах, щоб скоротити час, необхідний для спостереження характеристики наван-

таження об'єкта чи для її підсилення за заданий час. (*Вірно обгрунтоване прискорене випробування не повинно змінювати основні види несправностей та характер виникнення відмов або їх відносну перевагу*).

Причина відмови – обставини під час проектування виробництва чи використання об'єкта, які привели до відмови.

Р

Резервування – спосіб забезпечення надійності об'єкта за рахунок використання додаткових засобів та (або) можливостей, надлишкових відносно мінімально необхідних для виконання потрібних функцій:

~, **загальне** – резервування, в якому резервується об'єкт в цілому;

~, **заміщувальне** – резервування, в якому функції основного елемента передаються резервному тільки після відмови основного елемента;

~, **змішане** – поєднання різних видів резервування в одному об'єкті;

~, **з відновленням** – резервування, в якому відновлення основних і (або) резервних елементів у випадку їх відмови, технічно можливе без порушення працездатності об'єкта

в цілому та передбачено експлуатаційною документацією;

~, **без відновлення** – резервування, при якому відновлення основних і (або) резервних елементів у випадках їх відмови технічно неможливе без порушення працездатності об'єкта в цілому та (або) не передбачене експлуатаційною документацією;

~, **інформаційне** – резервування з застосуванням резервів інформації;

~, **ковзне** – заміщувальне резервування, в якому група основних елементів резервується одним чи декількома резервними елементами, кожний з яких може замінити будь-який з елементів цієї групи у випадку його відмови;

~, **почасове** – резервування з застосуванням резервів часу;

~, **роздільне** – резервування, в якому резервуються окремі елементи об'єкта об'єкта чи їх групи;

~, **стале, паралельне** – резервування, в якому використовують навантажений резерв і в якому, якщо відмовляє будь-який елемент в резервованій групі, виконання об'єктом заданих функцій забезпечується без перемикань рештою елементів;

~, **структурне** – резервування з застосуванням резервних елементів структури об'єкта.

~, **функціональне** – резервування, при якому використовується здатність елементів об'єкта виконувати додаткові функції.

Резерв – сукупність додаткових засобів і (або) можливостей, що використовуються для резервування.

Резерований елемент – 1. основний елемент, на випадок відмови якого в об'єкті передбачені один або декілька резервних елементів. 2. елемент, призначений для виконання функцій основного елемента в разі його відмови.

Ремонт – комплекс операцій для відновлення справного стану чи працездатності об'єкта та відновлення ресурсів об'єктів або їх складових частин.

Ремонтovníй об'єкт, ремонтнопридатний об'єкт – об'єкт, ремонт якого можливий та передбачений нормативною, ремонтною та (або) конструкторською (проектною) документацією.

Ремонтнопридатність (властивість) – властивість об'єкта бути пристосованим до підтримання та відновлення стану, в якому він здатний виконувати потрібні функції за допомо-

гою технічного обслуговування та ремонту.

Ресурс, технічний ресурс – сумарне напрацювання б'єкта від початку його експлуатації чи поновлення після ремонту до переходу в граничний стан:

~, **середній ресурс** – математичне сподівання ресурсу.

Розрахунково-експериментальний метод визначення надійності – метод, коли показники надійності всіх чи деяких складових частин об'єкта визначають за результатами випробувань і (або) експлуатації, а показники надійності об'єкта в цілому розраховують за математичною моделлю.

Розрахунковий метод визначення надійності – метод, який ґрунтується на розрахунку показників надійності за даними довідників з надійності компонентів і комплектувальних елементів об'єкта, за даними про надійність об'єктів-аналогів, за даними про власливості матеріалів та іншої інформації, наявної на час проведеного розрахунку.

Розрахунковий показник надійності – показник надійності, значення якого визначають шляхом розрахунку.

Руйнування – розділення матеріалу об'єкта на частини з

повною втратою його міцності та працездатності.

С

Середня інтенсивність відмов – середнє значенню інтенсивності відмов у заданому інтервалі часу.

Середня інтенсивність відновлення – середнє значення інтенсивності відновлення в заданому інтервалі часу.

Середній коефіцієнт готовності – середнє значення нестационарного коефіцієнта готовності у заданому інтервалі часу.

Середній параметр потоку відмов – середнє значення параметра потоку відмов у заданому інтервалі часу.

Середній термін служби – математичне сподівання терміну служби.

Середній термін зберезуваності – математичне сподівання строку зберезуваності.

Середня тривалість відновлення – математичне сподівання часу відновлення працездатного стану об'єкта після відмови.

Середня трудомісткість технічного обслуговування (ремонту) – математичне сподівання трудомісткості технічного обслуговування та (або) ре-

монту, виражене в людино-годинах.

Середній показник надійності – значення, отримане у вигляді математичного сподівання випадкової змінної величини (напрацювання до відмови або до граничного стану, терміну збережуваності, тривалості відновлювання) чи середнє значення напрацювання до відмови (до граничного стану) всіх об'єктів у виборці при заданих умовах.

Середнє напрацювання до відмови – математичне сподівання наробітку об'єкта до першої відмови.

Середнє напрацювання між відмовами; середнє напрацювання на відмову – відношення сумарного напрацювання відновлюваного об'єкта до математичного сподівання числа його відмов протягом цього напрацювання.

Середній час активного ремонту – математичне сподівання тривалості активного ремонту.

Середня оперативна тривалість непланового ремонту – математичне сподівання оперативної тривалості непланового ремонту.

Середня тривалість затримки з організаційних причин – математичне сподівання часу затримки з організаційних причин.

Середня тривалість затримки через незабезпеченість матеріальними ресурсами – математичне сподівання тривалості затримки через незабезпеченість матеріальними ресурсами.

Стан неготовності – стан об'єкта, в якому він нездатний виконувати задану функцію з будь-якої причини.

Стан неготовності через зовнішні причини – різновид стану неготовності об'єкта, коли він перебуває у працездатному стані, але відсутні, необхідні зовнішні ресурси чи вік працездатний внаслідок планових заходів, окрім технічного обслуговування та ремонту.

Стан чергування, перебування в резерві – простій у працездатному стані протягом заданої тривалості працездатності.

Старіння – поступове незворонте змінювання властивостей об'єкта, спричинене хімічними та (або) фізичними процесами, що самочинно протікають в матеріалах.

Стационарний коефіцієнт готовності – значення коефіцієнта готовності, визначене для умов роботи об'єкта, коли середній параметр потоку відмов і середня тривалість відновлення залишаються сталими.

Стационарний показник надійності – значення змінного у

часі показника надійності, яке він приймає в умовах роботи об'єкта, коли параметри його характеристик залишаються незмінними.

Стратегія технічного обслуговування та ремонту – система принципів організації й проведення технічного обслуговування та ремонту.

Структурна схема надійності – структурна схема складного об'єкта, що подає його у вигляді сукупності певним чином сполучених у сенсі надійності його складових частин.

Справність – стан об'єкта, за яким він здатний виконувати усі задані функції об'єкта.

Стабільна несправність – несправність об'єкта, що може бути усунена тільки за допомогою ремонту.

Система технологічна – сукупність функціонально взаємозв'язаних засобів технологічного оснащення, предметів виробництва та виконавців для здійснення в регламентованих умовах виробництва заданих технологічних процесів чи операцій. (1. *До предметів виробництва відносяться: матеріал, заготовка, напівфабрикат та виріб, що перебувають відповідно до виконаного технологічного процесу в стадії зберігання, транспортування, формотворен-*

ня, оброблення, складання, ремонту, контролю та випробування).

2. *До регламентованих умов виробництва відносяться: регулярність надходження предметів виробництва, параметри енергопостачання, параметри навколишнього середовища тощо.*

3. *Розрізняють чотири ієрархічні рівні технологічних систем: операцій, процесів, виробничих підрозділів і підприємств).*

Т

Термін збережуваності – календарна тривалість, зберігання та (або) транспортування об'єкта, протягом якої значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати задані функції, перебувають у заданих межах

Термін служби – календарна тривалість експлуатації об'єкта від початку або її поновлення після ремонту до переходу в граничний стан.

Технічне обслуговування – комплекс операцій або операція для підтримки справного стану або працездатності об'єкта при використанні його за призначенням, під час простою, зберігання та транспортування.

Технічне обслуговування та ремонт – сукупність усіх технічних та організаційних дій, в тому числі й технічного нагля-

ду, спрямованих на підтримку чи повернення об'єкта в стан, в якому він здатний виконувати потрібну функцію.

Тривалість активного ремонту – частина оперативної тривалості непланового ремонту, протягом якої на об'єкті виконують операції активного ремонту.

~, **відновлення** – інтервал часу, протягом якого об'єкт перебуває в непрацездатному стані через відмову;

~, **діагностування несправності** – час, протягом якого виконують діагностування несправності;

~, **затримки непланового ремонту з організаційних причин** – сумарна тривалість затримок виконання операцій непланового ремонту несправного об'єкта з організаційних причин;

~, **затримки через незабезпеченість матеріальними ресурсами** – сумарна тривалість затримок виконання операцій технічного обслуговування та ремонту через необхідність одержання ресурсів для технічного обслуговування та ремонту, за винятком тривалості будь-якої затримки з організаційних причин. *(Затримки через незабезпеченість матеріальними*

ресурсами можуть бути зумовлені, наприклад, переміщенням до устаткування, яке не обслуговується, очікуванням прибуття запасних частин, спеціалістів та контрольного обладнання чи необхідної інформації та припустимих навколишніх умов);

~, **контролю, перевірки** – частина оперативної тривалості непланового ремонту, протягом якої здійснюють контроль функціонування;

~, **неготовності** – інтервал часу, протягом якого об'єкт перебуває у стані неготовності;

~, **непланового ремонту** – частина тривалості технічного обслуговування та ремонту, протягом якої проводять неплановий ремонт об'єкта, включно з тривалістю затримок з технічних причин та тривалістю затримок через незабезпеченість матеріальними ресурсами в даних умовах непланового ремонту;

~, **непрацездатності** – інтервал часу, протягом якого об'єкт перебуває в непрацездатному стані;

~, **працездатності** – інтервал часу, протягом якого об'єкт перебуває в працездатному стані;

~, **пошуку несправності** – частина оперативної тривалості непланового ремонту, під час якої визначають місце несправності;

~, **перебування у резерві** – інтервал часу, протягом якого об'єкт перебуває у стані чергування;

~, **технічного обслуговування (ремонт)** – інтервал часу, протягом якого виконується вручну чи автоматично операція технічного обслуговування та (або) ремонту об'єкта, включно з тривалістю затримок через незабезпеченість матеріальними ресурсами.

~, **технічного обслуговування** – частина тривалості технічного обслуговування та ремонту, протягом якої проводять технічне обслуговування об'єкта, враховуючи тривалість затримок з технічних причин та тривалість затримок через незабезпеченість матеріальними ресурсами, притаманних технічному обслуговуванню;

~, **усунення несправності** – частина оперативної тривалості непланового ремонту, протягом якої здійснюють усунення несправності;

Технічний огляд – захід, який виконується ручним чи автоматичним способом з метою спостереження за станом об'єкта. *(Автоматизований нагляд проводять за допомогою засобів, внутрішніх або зовнішніх відносно до об'єкта).*

Технологічні методи забезпечення надійності – методи забезпечення надійності, які застосовуються на етапі серійного виготовлення об'єкта.

Трудомісткість технічного обслуговування (ремонт) – сумарна тривалість індивідуальних операцій технічного обслуговування та (або) ремонту об'єкта, подана в годинах та втрачена всім обслуговуючим персоналом для цього виду операцій технічного обслуговування та (чи) ремонту в інтервалі визначеного часу. *(Трудомісткість вимірюють у людино-годинах).*

У

Усунення несправності – операції, які виконують після виявлення місця несправності для відновлення здатності об'єкта виконувати потрібну функцію.

Ф

Функція (об'єкта), задана функція (об'єкта) – виконання в об'єкті процесу, що відповідає його призначенню, виявлення заданої умови чи властивості об'єкта відповідно вимогам нормативної та (або) конструкторської (проектної) документації.

РОЗДІЛ 3 НАНОТЕХНОЛОГІЇ

А

Апарат поверхневих сил – атомно-гладкі пластини, закріплені на торцевих поверхнях циліндрів, покриваються шаром досліджувального матеріалу в рідкому або твердому стані. За рахунок силових приводів забезпечується додаток нормальних і латеральних контрольованих сил, а також зазору між ними. При цьому площа контакту і відстань вимірюють оптичним або ємнісним методом. Дозволяє вивчати молекулярні властивості рідин зокрема для дослідження ком-пресійних властивостей риди-нних мастильних матеріалів.

Асемблер (наноасемблер, конструктор) – кібернети-чний пристрій манометричних масштабів, здатній за заданою програмою створювати (збирати) з набору атомів молекули шляхом механохімії. А. включає в себе потужний нанокомп'ютер, комплекс наноманіпуляторів і наносенсорів, тобто це молекулярна машина, яка може бути запрограмована будувати практично будь-яку молекулярну структуру або

пристрій з більш простих хімічних блоків.

Атомно-силова і фрикційна мікроскопія (АСМ) – сили, що діють між гострим зондом, наведеним у близький контакт із зразком і поверхнею останнього, призводять до вимірної деформації консолі (кантилевера), на якій закріплений зонд, при цьому його стан реєструється оптично. Дозволяє виміряти нормальну, латеральну сили взаємодії, отримати топографію поверхні на нанорівні.

В

Вуглецеві нанотрубки – новий клас вуглецевих утворень: протяжні структури у вигляді порожнього циліндра, що складаються з одного або декількох згорнутих в трубку графітових шарів з гексагональною організацією вуглецевих атомів.

Г

Графен – вуглецевий – наномоношар, в якому зв'язки С-С утворюють правильні графітові шестикутники (бджолині соти).

Групи нанопокриттів:

~, **наноструктурні покриття** – на відміну від традиційних,

поєднують в собі підвищену мікротвердість і достатню пластичність. Поведінка нанокристалічних матеріалів з розмірами зерен 10 нм і менш визначається головним чином процесами в приграничних областях, оскільки кількість атомів в зернах порівнянно або менше, ніж в їх межах.

Ця обставина суттєво змінює характер взаємодії між сусідніми зернами, наприклад, гальмує генерацію дислокацій, перешкоджає поширенню тріщин зміцнення границь зерен. При цих умовах дислокації в нанозернах відсутні.

~, **нанокompозитні покриття** – складаються з основної нанокристалічної твердої фази на межах зерен якої розташовується тонкий шар другий нанокристалічною або наноаморфною фази. Таким чином, тверді зерна зміцнюючої фази розділені між собою тонкими прошарками атомів іншої фази. Такі покриття мають високу твердість, мають великі коефіцієнти пружного повернення, високу термостійкість.

~, **наношарові покриття** – мають підвищену тріщиностійкість. Передумови для їх отримання виникли ще 20 років тому, при розробці багатшарових покриттів на основі

TiN/NbN, TiN/VN, (TiAl)N/CrN та ін. з шарами металів або сполук які чергуються. Мають різні внутрішні напруження (модулі пружності) і близькі за величиною коефіцієнти термічного розширення. Товщина окремих шарів повинна бути настільки мала, щоб усередині них не з'являлось джерело дислокацій, а дислокації, які під дією напруг рухалися б до межі розділу з більш м'якого шару, відштовхувалися б силами, тими що створюються пружними напруженнями в більш твердому шарі.

Загальна кількість шарів покриття вибирається залежно від розв'язуваних технологічних завдань і в ряді випадків може досягати двохсот.

Д

Дизасемблер – кібернетичний пристрій манометричних масштабів, здатний за заданою програмою відділяти атоми від молекул, записуючи при цьому їх місцезнаходження на молекулярному рівні. Пара «асемблер – дизасемблер» в змозі створювати копії будь-яких макрооб'єктів.

Е

Еволюційна нанотехнологія – пов'язана з наномеханізмами,

роботи над якими знаходяться в початковому стані. Так з фулеренів, нанотрубок, наноконусів і інших аналогічних структур можуть бути зібрані молекули, які мають форму різноманітних нанодеталей – зубчатих коліс, штоків, деталей підшипників і інших вузлів, роторів молекулярних турбін рухомих вузлів маніпуляторів і т. д. Вироби, створені на основі оптимального збирання атомів і молекул, будуть мати гранично високі характеристики.

«Електронне тертя» – механізм тертя пов'язаний з генерацією електрон-дірчастих пар. При цьому розглядається зв'язок між силою тертя, виникаючих при розсіюванні електронів провідності на атомах адсорбату, що коливаються, наприклад при згасанні латеральних коливань плівок, адсорбованих на металевій підкладці, і зміною опору металу.

З

Золь-гель технологія (гельна технологія) – технологія отримання мікро-і наноструктурних матеріалів з колоїдного розчину під час конденсації і утворення полімерної просторової мережі з рідкою фазою (геле).

І

Інкрементна нанотехнологія

– промислове використання наноструктур, а також специфічних ефектів і феноменів, які є характерними для області переходу між атомним і мезорівнями з метою значного удосконалення існуючих класичних матеріалів. Найбільший розвиток І. н. отримали в галузі створення наноконпозиційних конструкційних матеріалів з різними властивостями нанодисперсних, ультра дисперсних порошкових матеріалів (в томучислі фулерентів, вуглецеві нанотрубки і ін.), захищених самоочищувальних покриттів, препаратів авто хімії і деяких інших.

К

Кантилевр – пружна консоль, на якій закріплений скануючий елемент атомного силового мікроскопа. При взаємодії з елементом поверхні кантилевр деформується у вертикальному напрямку і закручується в осьовому (деформації кручення) відносно рівноважного положення (рис.2 Додаток А).

Квантовий дріт – об'єкт, у якому є розмірне квантування руху носіїв заряду в двох напрямках.

Квантова точка – нанооб'єкт, в якому рух носіїв заряду кван-

тування у всіх трьох напрямках («штучний» атом приблизно сферичної або кубічної форми з розмірами 2...10 нм).

Квантова яма – об'єкт, у якому є розмірне квантування руху носіїв заряду в одному напрямку.

Кластер – це група близько розташованих, тісно пов'язаних один з одним атомів, молекул, іонів, наночастинок.

Класифікація наноматеріалів:

~, за **Глейтером** – матеріали у вигляді нанорозмірних частинок, тонких волокон і плівок, які ізольовані, нанесені на підкладку або заглиблені в матрицю. Матеріали цієї категорії, отримані методами осадження і конденсації, аерозольними методами, що використовуються, наприклад, в напівпровідниковій техніці і як каталізатори;

~, **матеріали**, в яких наноструктура обмежується тонким поверхневим шаром масивного матеріалу. Для отримання такого шару використовуються різні методи, наприклад іонна імплантація та лазерна обробка. Такі властивості поверхні, як корозійна стійкість, твердість і зносостійкість, значно поліпшуються за рахунок створення в них наноструктури;

~, **масивні НМ**, які можна розділити на два класи:

– *клас НМ*, атомна структура та (або) хімічний склад яких

змінюються за обсягом матеріалу на атомному рівні.

До таких матеріалів відносяться стекла, гелі, пересичені тверді розчини або імплантовані матеріали одержувані переважно загартуванням;

– *клас НМ*, що складаються з нанорозмірних блоків (кристалітів), які можуть різнитися атомною структурою, кристалографічною орієнтацією, хімічним складом, і зон між сусідніми блоками (границі зерен);

~, **консолідовані наноматеріали** – компактні твердофазні матеріали, що складаються з наночастинок, які мають фіксоване просторове положення в об'ємі матеріалу і жорстко зв'язані безпосередньо одна з одною.

До консолидованих наноматеріалів відносять:

– *нанокристалічні матеріали*, що складаються з нанокристалів, які зазвичай називають нанокристалітами;

– *фуллерити*, що складаються з фулеренів;

– *фотонні кристали*, що складаються з просторово впорядкованих елементів, які можна порівняти за розміром з половиною довжини світлової хвилі;

– *шаруваті нанокмпозити* (надрешітки), що складаються з шарів різних матеріалів нанорозмірної товщини;

– *матричні наноконпозити*, що складаються з твердофазної основи-матриці, в обсязі якої розподілені наночастинки;

– *нанопористі матеріали*, що характеризуються наявністю нанопор;

– *наноаерогелі*, містять прошарки нанорозмірної товщини, що розділяють пори.

~, **наноконпозити** – об'єкти, отримані введенням наночастинок в які-небудь матриці, в яких міжчастинчаті взаємодії стають сильними і маскують властивості ізолюваних частинок.

Л

Латеральні сили – бічні сили, що призводять до деформації кручення кантилевера відносно рівноважного положення.

«**Лотос-ефект**» – ефект самоочищення листя та квітів лотоса, яке протікає в їх наноструктурованих поверхневих областях.

М

Методи експериментальних досліджень у нанотрибології:

– атомно-силова і фрикційна мікроскопія (АСМ);

– апарат поверхневих сил;

– техніка кварцового кристалічного мікробаланса;

~, **метод кварцового кристалічного мікробаланса** – реалі-

зується шляхом вимірювання зсуву резонансної частоти кварцового осцилятора, що залежить від маси адсорбованої плівки, а також від сил тертя між нею і підкладкою. Дозволяє оцінювати товщини адсорбованих плівок в процесі їх росту, фазові перетворення в них.

~, **метод PVD** – метод фізичного нанесення нанопокриття (PVD – метод), при якому матеріал покриття в глибокому вакуумі різними способами переводиться з твердого стану в парову фазу (напр., нагріванням), а потім конденсується на поверхні підкладки (фізичне паро фазне осаджування»).

~, **метод CVD** – метод хімічної модифікації (CVD – метод), тобто «хімічне парофазне осаджування» матеріала на задану поверхню.

Мікроскоп тунельний растровий – прилад, в основі якого лежить виникнення тунельного струму між поверхнею провідника та металічним вихрем, віддаленим від неї на відстані близько 0,1 нм. При скануванні за рахунок змінення цієї відстані можливо отримати рельєф зразка з точністю до розмірів атомів і молекул. Тунельний растровий мікроскоп – основна інструментальна база сучасних нанотехнологій.

Н

Нано – 10^{-9} м, приставка для позначення порядку величини.

Наноасемблер – кібернетичний пристрій манометричних масштабів, здібний за заданою програмою збирати з набору атомів молекули шляхом механохімії. Наноасемблер містить в собі нанокомп'ютер, комплекс наноманіпуляторів і наносенсорів, тобто це молекулярна машина, яка може бути запрограмована будувати практично будь-яку молекулярну структуру або пристрій з більш простих хімічних блоків.

Нанодіагностика – сукупність методів дослідження структурних, фізико-хімічних, механічних та інших характеристик наноматеріалів, аналіз складу і метричних параметрів наноречовин.

Нанодисперсії – являють собою дисперсні системи з нанорозмірною дисперсною фазою. До нанодисперсій відносять матричні нанокомпозити та нанопористі матеріали, а також:

– *нанопорошки*, що складаються з дотичних одна з одною наночастинок;

– *наносуспензії*, що складаються з наночастинок, вільно розподілених в об'ємі рідини;

– *наноземлюльсії*, що складаються з наночапель рідини, вільно розподілених в об'ємі іншої рідини;

– *наноаерозолі*, що складаються з наночастинок або наночапель, вільно розподілених в об'ємі газоподібного середовища.

Зразки різних наноструктурних матеріалів можуть бути об'ємними і характеризуються мікро- або макророзмірами, в той час як складаючі їх структурні елементи є нанорозмірними.

У різних наноматеріалах можуть мати місце ті або інші особливості прояву ефектів, пов'язаних з малими розмірами складаючих їх структур.

Так, у нанокристалічних і нанопоруватих матеріалах різко збільшується питома поверхня, тобто частка атомів, що знаходяться в тонкому (~ 1 нм) приповерхневому шарі. Це призводить до підвищення реакційної здатності нанокристалів, оскільки атоми, що знаходяться на поверхні, мають ненасичені зв'язки на відміну від атомів в об'ємі, які пов'язані з оточуючими їх атомами. Розмірна залежність поверхневої енергії нанокристалів визначає відповідну залежність температури плавлення, яка для нанокристалів стає нижче, ніж для макрокристалів. В цілому, в нанокристалах спостерігається помітна зміна теплових властивостей, що пов'язано зі зміною характеру теплових коливань атомів. У феромагнітних наночастинках при змен-

шенні розміру нижче деякого критичного значення стає енергетично не вигідним розбиття на домени. В результаті наночастинки перетворюються з полідоменних в однодоменні, набуваючи при цьому особливі магнітні властивості, що виражаються в суперпарамагнетизмі.

Наноелектроніка – область фізики напівпровідників, що оперує штучними пристроями, розміри яких або період їх надструктури дорівнюють або менше 100 нм.

Наноенергія – кількість енергії (теплоти), необхідної для нагрівання одного грам-атома наноструктури від температури абсолютного нуля (-273°C) до повного випарування (сублімації) при температурі кипіння.

Нанознос – це особливо малі втрати геометричних розмірів.

Наноінженерія поверхні – науково-практична діяльність людини по конструюванню, виготовленню та використанню нанорозмірних об'єктів або структур (поверхонь) з заданими (міцностними, триботехнічними, самоочищувальними і ін.) властивостями або аналогічних об'єктів чи структур, створених методами нанотехнологій.

Наноіндентування – інакше індентування – випробування матеріалу методом індентування (вдавлювання в поверхню зразка спеціального інструмен-

ту – індентора), застосовуване до нанооб'ємів матеріалу (тонкі плівки і покриття, мікро- і наноструктури).

Наноіндустрія – вид діяльності по створенню продукції на основі нанотехнологій, наноматеріалів та наносистемної техніки.

Нанокристал – аналог наночастинки, що має кристаллографічну будову.

Нанокристалічні матеріали – компактні та дисперсні матеріали, що складаються з нанокристалів.

Нанокристалічний або наноструктурований стан речовини – це стан в якому характерні геометричні розміри структурних елементів порівнянними з тим чи іншим характерним масштабом фізичного явища, що призводить до якісної зміни властивостей речовини.

Нанолітографія – створення «правильних» груп атомів і молекул на підкладці зі звичайної речовини. Це крок до розробки та конструюванню перших деталей наномашин, в тому числі і асемблера.

Наноматеріали – матеріали, що містять структурні елементи, геометричні розміри яких хоча б в одному вимірі не перевищують 100 нм, і мають якісно нові властивості, функ-

ціональні експлуатаційні характеристики.

Функціональні властивості визначаються нанорівнем їх структур. Розрізняють такі наноматеріали:

- матеріал з нанопористими структурами;
- наночастинки;
- нанотрубки і нановолокна;
- нанодисперсії (колоїди);
- наноструктуровані поверхні і плівки;
- нанокристали та нанокластери.

Нанонаука – система знань, заснована на описі, поясненні та передбаченні властивостей матеріальних об'єктів з нанометровими характеристичними розмірами.

Нанооб'єкти – багаточастинкові системи, що складаються з окремих, ізольованих наночастинок розміром приблизно від 1 до 100 нм. До нанооб'єктів відносять як нуль-, так і одно- та двовимірні структури.

Наносистема – об'єкт у вигляді впорядкованих і пов'язаних між собою елементів нанометрового розміру, кооперація яких забезпечує виникнення якісно нових властивостей, пов'язаних з проявом наномасштабних факторів.

Наносистемна техніка – повністю або частково створені на основі наноматеріалів і нанотехнологій функціонально закінчені системи і пристрої,

характеристики яких кардинальним чином відрізняються від аналогічних систем і пристроїв, створених за традиційними технологіями.

Наноструктура – це сукупність нанорозмірних об'єктів штучного або природного походження, властивості якої визначаються не тільки розміром структурних елементів, але і їх взаємним розташуванням у просторі з наявністю функціональних зв'язків.

Наноструктурні матеріали – являють собою ансамблі наночастинок. У таких матеріалах наночастинки відіграють роль структурних елементів.

Наноструктурні матеріали поділяються за характером взаємозв'язку наночастинок на консолідовані наноматеріали і нанодисперсії.

Наноструктурний рівень матеріалу – це рівень між макрорівнем матеріалу, що описується континуальними теоріями суцільного середовища, і атомним рівнем, що підпорядковується законам квантової механіки.

Нанотвердість – це твердість нанорозмірних об'єктів або окремих нанорозмірних елементів, що входять до складу нанокомпозиту або наноструктурованого матеріалу.

Нанотвердість вимірюється шляхом наноіндентування при

глибині ідентування, що не перевищує 200 нм. Величина нанотвердості може значно відрізнятися від мікротвердості для одного і того ж матеріалу.

Нанотехніка – міждисциплінарна галузь науки, яка вивчає закономірності фізико-хімічних процесів в просторових областях нанометрових розмірів з метою керування окремими атомами, молекулами, молекулярними системами при створенні нових молекул, наноструктур, нанопристроїв і матеріалів зі спеціальними фізичними, хімічними і біологічними властивостями.

Нанотехнології – сукупність методів і прийомів, що забезпечують можливість контрольованим чином створювати і модифікувати об'єкти, що включають компоненти з розмірами менше 100 нм, що мають принципово нові якості і дозволяють здійснювати їх інтеграцію в повноцінно функціонуючі системи більшого масштабу;

~, **нанотехнологія прикладна** – розглядає завдання і конкретні способи практичного застосування (реалізації) нанотехнологій для потреб людства;

~, **радикальні нанотехнології** – нанороботи (задані конструкції і результати їх використання в теперішній час мають місце тільки у фантастичних розповідях та кінофільмах). Вони здатні до переміщення у

наколишньому середовищі і обладнані боттовою системою керування. Нанороботи можуть бути використані для вирішення широкого кола задач, включаючи діагностику і лікування хвороб, в тому числі боротьбу зі старінням, для перебудови організму людини «по закону», виготовлення надміцних конструкцій і ін.

Наночастинки: 1 – проміжні утворення з атомів (молекул) між малими молекулярними кластерами і макроскопічними твердими тілами.

Наночастинки складаються з атомів одного або декількох елементів і мають характеристическіє розміри <100 нм.

2 – являють собою нанорозмірні комплекси взаємозалежних атомів або молекул. До наночастинок відносять:

– *нанокластери*, серед яких розрізняють впорядковані нанокластери, що характеризуються наявністю певного порядку в розташуванні атомів і сильними хімічними зв'язками, і неупорядковані нанокластери, що характеризуються відсутністю порядку в розташуванні атомів і слабкими хімічними зв'язками;

– *нанокристали*, що характеризуються впорядкованим розташуванням атомів і сильними хімічними зв'язками подібно масивним кристалам;

– *фулерени*, які складаються з атомів вуглецю (або ін. елемен-

тів), що утворюють структуру у вигляді сфероподібного каркаса;

– *нанотрубки*, які складаються з атомів вуглецю (або інших елементів), що утворюють структуру у вигляді циліндричного каркаса;

– *супермолекули*, що складаються з молекули – основи з просторовою структурою, в порожнині якої міститься стороння молекула;

– *біомолекули*, що уявляють собою складні молекули біологічної природи з полімерною будовою (ДНК, білки);

– *міцели*, що складаються з молекул поверхневоактивних речовин, які утворюють сфероподібну структуру.

II

Предмет вивчення нанотрибології – процеси зчеплення-ковзання поверхонь контактуючих тіл, вплив плівки мастила манометрової товщини, електричні та механічні властивості контактів в атомному і молекулярному масштабі та ін. Процеси характеризуються ультрамалими контактними тисками, і їх дослідження, важливе для побудови нано-і мікромеханічних систем.

Р

Реметалізанти – особливий клас препаратів авто хімії, який

базується на аспектах теорії самоорганізації – явищі вибіркового переносу при терті. Механізм їх дії полягає в метало плакуванні третьових поверхонь внаслідок осадження металічних компонентів, які входять в склад реметалізантив в завислому або іонному вигляді. При цьому частково відновляються нано-і мікрodefекти, знижується коеф. тертя, значно підвищується зносостійкість плакованих поверхонь, в декотрих випадках в сотні разів.

С

Способи отримання наноматеріалів – фулеренова дуга; газофазний метод; каталітичне розкладання вуглеводів; порошоків технології (метод Глейтера – газофазне і компактування, електророзрядне спекчення, гаряча обробка тиском); інтенсивна пластична деформація (рівно канальне кутове пресування, деформація крученням, обробка тиском багатшарових композитів); кристалізація з аморфного стану; плівкові технології (хімічне осаджування покриттів з газової фази, фізичне осаджування з газової фази; електроосаджування; золь-гель – технологія); золь-гель синтез (послідовні операції отримання суспензії і

висушування отриманої структури); пептидний синтез (послідовні конвергентна та дивергентна полімеризація з мономерів); колоїдний синтез (змішування попередників в реакторі і синтез наноматеріалів); епітаксія (орієнтовне вирощування кристалів на поверхні підкладки).

Структурний елемент – складова частина наноматеріалу, розміри якої збігаються з кореляційним розміром того чи іншого фізичного явища або параметр, що має розмірність довжини (довжина вільного пробігу електрона або фотона, довжина когерентності в надпровідниках, розмір магнітних доменів, критичний радіус дислокаційної петлі та ін.).

Т

Технології конвергентні – чотири взаємно пов'язані науково-технічних напрямка: нанотехнології, біотехнології, нейротехнології та інформаційні.

Техніка наносистемна – створені повністю або частково на основі наноматеріалів і нанотехнологій функціонально закінчені системи та пристрої, характеристики яких кардинальним чином відрізняються від показників систем і пристроїв аналогічного

призначення, створених по традиційним технологіям.

Ф

Фуллериды – хімічні сполуки на основі молекул фулерену. Атом металу може знаходитися всередині фулерену, поза його межами або може бути вбудований в структуру вуглецевого каркасу.

Фулерен – багатоатомна молекула вуглецю з загальною формулою C_n (n -парне число), має форму замкнутого порожнистого багатогранника, що відноситься до четвертої алотропічної форми вуглецю (перші три: алмаз, графіт, карбон).

Фуллерит – твердофазна кристалічна структура, утворена на основі молекул фулерену. Кристал фулериту C_{60} має кубічну структуру з ГЦК-решіткою.

Функціональні наносистеми – подібно наноматеріалам характеризуються нанометровим масштабом розмірів хоча б в одному з трьох вимірювань. Властивості функціональних наносистем, також як і властивості наноматеріалів, можуть проявлятися незвичайним чином в силу властивого їм нанометрового масштабу розмірів. На практиці найбільше поширення знаходять твердотільні функціональні наносистеми.

ДОДАТОК А

Довідковий

ПОЯСНЕННЯ ДО ДЕЯКИХ ТЕРМІНІВ РОЗДІЛУ 2

До терміна «Система технологічна»

Технологічна система являє собою частину виробничої системи, має свою структуру та функціонує за певних умов.

Склад і структура технологічної системи, умови виробництва, режим роботи регламентуються конструкторською, технологічною та іншою нормативно-технічною документацією. Зміна цієї документації призводить до відповідної зміни технологічної системи.

Усі технологічні системи можна поділити на чотири ієрархічні рівні: технологічні системи операцій, процесів, виробничих підрозділів та підприємств.

Технологічна система операції забезпечує виконання однієї заданої технологічної операції.

Технологічна система процесу містить у собі, як підсистеми, сукупність технологічних систем операцій, що відносяться до одного методу (оброблення, формування, складання чи контролю) або до одного найменування продукції, що виготовляється. За наявності автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП) її технічні засоби входять до складу технологічної системи цього процесу.

Технологічна система виробничого підрозділу складається з технологічних систем процесів і (або) операцій, які функціонують в межах даного підрозділу.

Технологічна система підприємства складається з технологічних систем його виробничих підрозділів.

Розрізняють такі види технологічних систем:

– послідовна технологічна система – технологічна система, всі підсистеми якої послідовно виконують різні частини заданого технологічного процесу;

– паралельна технологічна система – технологічна система, підсистеми якої паралельно виконують заданий технологічний процес чи задану технологічну операцію;

– комбінована технологічна система – технологічна система, структура якої може бути подана у вигляді об'єднання послідовних і паралельних систем нижчого рівня;

– технологічна система із жорстким зв'язком підсистем – технологічна система, в якій відмова принаймні однієї підсистеми викликає негайне припинення функціонування технологічної системи в цілому;

– технологічна система з нежорстким зв'язком підсистем – технологічна система, в якій відмова однієї з підсистем не викликає негайного припинення функціонування технологічної системи в цілому;

– за рівнем автоматизації:

– механізована технологічна система – технологічна система, засоби технологічного оснащення якої складаються з механізовано-ручних та механізованих технічних пристроїв;

– автоматизована технологічна система – технологічна система, засоби технологічного оснащення якої складаються з автоматизовано-ручних та автоматизованих пристроїв;

– автоматична технологічна система – технологічна система, засоби технологічного оснащення якої складаються з автоматичних пристроїв;

– за рівнем спеціалізації:

– спеціальна технологічна система – технологічна система для виготовлення або ремонту виробу одного найменування і типорозміру;

– спеціалізована технологічна система – технологічна система для виготовлення або ремонту груп виробів зі спільними конструктивними та технологічними ознаками;

– універсальна технологічна система – технологічна система для виготовлення або ремонту виробів з різними конструктивними та технологічними ознаками.

Аналогічні поняття рівнів та видів використовують також для технологічних комплексів.

Окремим випадком (видовим поняттям) послідовної технологічної системи є технологічна лінія, в якій технологічне устаткування розміщують послідовно для виконання операцій заданого технологічного процесу таким чином, щоб число робочих місць дорівнювало числу операцій.

При цьому в послідовній технологічній системі на одне і те ж робоче місце предмет виробу може надходити декілька разів для виконання різних операцій.

Підсистеми паралельної технологічної системи можуть містити в собі спільні засоби технологічного оснащення. Так, наприклад, шестишпіндельний автомат містить шість паралельних підсистем, відмови яких взаємозалежні, внаслідок наявності спільних елементів: системи подавання, приводу тощо. У випадку, коли паралельні підсистеми верстатів не містять у собі спільних елементів (наприклад, шість однотипних верстатів виконують паралельно і незалежно один від одного одну і ту ж операцію технологічного процесу), то технологічну систему називають багатоканальною.

Класифікація технологічних систем за рівнем спеціалізації відноситься до технологічних систем операції, процесу і виробничого підрозділу. При цьому універсальна, спеціалізована, спеціальна технологічні системи виробничого підрозділу (процесу) можуть містити в собі підсистеми різного рівня спеціалізації. Рівень спеціалізації технологічної системи визначають співвідношенням обмежень, які вносить кожна підсистема стосовно до номенклатури виготовлюваної продукції. Невдалий вибір цього співвідношення призводить до зниження технологічних можливостей системи в цілому.

Технологічна система, яка виконує груповий технологічний процес, є універсальною.

Рівень і вид технологічної системи є головними ознаками для вибору критеріїв відмови і граничних станів, показників надійності та методів їх оцінювання.

До термінів «Підсистема технологічної системи» і «Елемент технологічної системи»

Підсистема, як і сама технологічна система, є сукупністю функціонально взаємозв'язаних засобів технологічного оснащення і людини-оператора та має основні властивості даної системи. Тому, наприклад, систему, яка забезпечує виконання декількох технологічних процесів, зручно умовно поділяти на підсистеми, які виконують окремі технологічні процеси. В свою чергу, останні можна умовно поділяти на підсистеми, які виконують окремі операції. Глибина структурного розділення залежить від мети дослідження.

У кожній технологічній системі є обов'язковий елемент – сукупність засобів технологічного оснащення даної технологічної системи. При цьому сукупність засобів технологічного оснащення дозволяється розглядати як об'єднання технічних підсистем та елементів.

До термінів «Відмова технологічної системи». «Параметрична відмова технологічної системи»

Відмова технологічної системи виявляється у повному чи частковому припиненні її функціонування.

Прикладом часткового припинення функціонування може бути поломка одного з інструментів при оброблюванні деталей на автоматичній лінії. При цьому може продовжуватись випуск продукції, але без оброблювання відповідних поверхонь деталі. До функціональних відмов слід відносити і факти перевищення термінів запланованих перерв у роботі, тобто перевищення регламентованого часу заміни інструмента, установлення заготовки (партії заготовок), заданих перерв на відпочинок обслуговувального персоналу тощо.

Параметрична відмова технологічної системи виявляється у виході параметрів функціонування окремих її елементів за допустимі межі. Наприклад: вихід значень показників якості деталей за поле допуску на оброблення, зниження ритму випуску нижче заданого рівня; нерегламентована зміна режимів оброблювання, перевищення матеріальних та вартісних витрат; неприпустиме забруднення навколишнього середовища, причиною якого є процес функціонування розглядуваної системи тощо.

До терміну «Основні показники надійності технологічної системи»

Разом з показниками надійності, які встановлені цим стандартом, використовують показники надійності технологічних систем щодо параметрів якості виготовлюваної продукції і параметрів продуктивності.

Для оцінки надійності технологічних комплексів використовують показники безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності.

До терміна «Імовірність виконання технологічною системою завдання за обсягом випуску»

Імовірність виконання технологічною системою завдання за обсягом випуску продукції i -го найменування P_{zi} визначають за формулою:

$$P_{zi} = P\{V_j(t) \geq V_{oj}\}, \quad P_{zi} = P\{V_i(t) \geq V_{oi}\}, \quad (1)$$

де $V_i(t)$ і V_{oi} – відповідно, фактичний та заданий обсяг випуску продукції i -го найменування потрібної якості за даний інтервал часу. Імовірність виконання завдання технологічною системою з виготовленням n найменувань продукції $P_{z1, \dots, n}$ визначають за формулою:

$$P_{z1, \dots, n} = P\{V_1(t) \geq V_{01}, \dots, V_i(t) \geq V_{0i}, \dots, V_n(t) \geq V_{0n}\} \quad (2)$$

До терміна «Призначене напрацювання технологічного комплексу до підналагодження»

Показник «Призначене напрацювання технологічного комплексу до підналагодження» устанавлюють для технологічних систем з періодичним технічним обслуговуванням (підналагодженням). Зазначений показник характеризує тривалість безвідмовного функціонування технологічної системи без проведення підналагодження.

До термінів «Комплексні показники надійності та ефективності використання технологічної системи»

Комплексні показники надійності та ефективності використання технологічної системи дозволяють оцінювати надійність систем за даними, які реєструються в процесі управління виробництвом.

До терміну «Коефіцієнт використання технологічної системи»

Коефіцієнт використання технологічної системи характеризує відносну частку часу знаходження технологічної системи в працездатному стані за даний інтервал часу з урахуванням усіх видів простоїв.

Значення номінального фонду часу $t_{\text{ном}}$, год, вираховують за формулою:

$$t_{\text{ном}} = [(D_k - D_c - D_c \cdot c) \cdot t_3 + D_c \cdot c \cdot t_{c.3}] \cdot \Pi_3 \quad (3)$$

де D_k – число днів у даному календарному інтервалі часу;

D_c – число вихідних та святкових днів у даному календарному проміжку часу;

$D_c \cdot c$ – число днів зі скороченою робочою зміною в даному календарному проміжку часу;

t_3 – тривалість робочої зміни, год;

$t_{c.3}$ – тривалість скороченої робочої зміни, год;

Π_3 – число змін за добу ($\Pi_3 = 1, 2, 3$).

До терміну «надійність»

Надійність – одна з важливих властивостей, що є показником якості об'єкта. Однак у світі не існує єдиного тлумачення цього терміну. Прийняте в цьому стандарті визначення трохи відрізняється від визначень, прийнятих в розповсюджених міжнародних документах. Так в Міжнародному стандарті ІЕС 50 (191) «надійність» (dependability) розглядається як збірний термін, який використовується для не кількісного відображення властивостей безвідмовності, ремонтпридатності та забезпечення технічного обслуговування та ремонту. При цьому властивість «довговічність» (durability) розглядається окремо та не включається в поняття «надійність». Не включається в поняття «надійність» і взагалі не

розглядається та не термінується у згаданому стандарті властивість «збережуваність». В Глосарії ЕОКК (ЕОQC Glossary-Bern, 1988) «надійність» розглядається як збірний термін, який використовується для не кількісного опису властивостей безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та безвідмовності при зберіганні та транспортуванні.

Слід визначити, що зміст терміну «збережуваність» в цьому стандарті є більш «жорстким» в порівнянні з визначенням в Глосарії ЕОКК, тому що він розуміє збереження визначень показників безвідмовності, довговічності та ремонтпридатності як на протязі, так і після зберігання та (або) транспортування.

До терміну «несправність»

Прийняте в цьому стандарті визначення терміну «несправність» (fault) не співпадає з визначенням по Міжнародному стандарту ІЕС 50 (191), в якому це поняття трактується як «істотна несправність»; тобто така, що призводить об'єкт до непрацездатного стану.

Введено поняття «функції об'єкта» («заданих функцій»), порушення будь-якої з них призводить до несправності. При цьому всі задані функції підрозділяються на основні і допоміжні. Порушення допоміжної функції призводить до несправного та працездатного стану. Порушення основної (заданої) функції призводить до несправного непрацездатного стану. Таке визначення «несправності» не призводить до суперечності понять про стан об'єкта вітчизняної та міжнародної терміносистеми.

До термінів «відмовостійкість» і «живучість»

Терміни «відмовостійкість» (fault tolerance) «живучість» (survivability) характеризують властивості об'єкта, які забезпечують надійність та безпеку об'єкта. Відмовостійкість – це якісна характеристика об'єкта, яка забезпечується проектуванням і конструюванням, головним чином за рахунок резервування. Живучість – це властивість, в першу чергу, як наслідок відмовостійкості об'єкта, що забезпечує здатність виконання заданих функцій при наявності визначених відмов його складових частин. Живучість визначається «часом життя», інтервалом напрацювання до виникнення критичної відмови аналогічно безвідмовності, довговічності, збережуваності.

ПОЯСНЕННЯ ДО ДЕЯКИХ ТЕРМІНІВ РОЗДІЛУ 3

До нанотехнологій відносять технології, що забезпечують можливість контрольованим чином створювати і модифікувати наноматеріали, а також здійснювати їх інтеграцію в повноцінно функціонуючі системи більшого масштабу.

Основними складовими науки про наноматеріали і нанотехнології є:

- фундаментальні дослідження властивостей матеріалів на нано масштабном рівні;
- розвиток нанотехнології як для цілеспрямованого створення наноматеріалів, так і пошуку та використання природних об'єктів з наноструктурними елементами;
- створення готових виробів з використанням наноматеріалів та інтеграція наноматеріалів і нанотехнологій у різні галузі промисловості та науки;
- розвиток засобів і методів дослідження структури і властивостей наноматеріалів, а також методів контролю та атестації виробів і напівфабрикатів для нанотехнології.

Відповідно до першого підходу, об'єкти наносвіту розглядаються з урахуванням лише їх нанорозмірних параметрів. Згідно другого підходу, об'єкти наносвіту характеризуються особливими властивостями, які проявляються в силу притаманних їм нанорозмірів. Приставка «нано» в термінах наносвіту означає зміну масштабу в 109 раз: 1нм (1 нанометр) = 10^{-9} м, що становить одну мільйонну міліметра.

Другий підхід пов'язаний з величезною роллю численних поверхонь розділу в наноматеріалах у формуванні їх властивостей. Згідно з ним розмір зерен (D) в наноматеріалах визначається в інтервалі кількох нанометрів, тобто в інтервалі, коли об'ємна частка поверхонь розділу у загальному обсязі матеріалу становить приблизно ΔV 50% і більше.

Ця частка оцінюється приблизно з 1 нм 50% поверхонь розділу досягається при $D = 6$ нм. $\sim 3S/D$, де S – ширина прикордонної області. При розумному значенні $S \sim$ співвідношення ΔV .

Існує також підхід, згідно з яким для наноматеріалів найбільший розмір одного із структурних елементів має дорівнювати або бути менше розміру, характерного для певного фізичного явища. Так, для міцнісних властивостей це буде розмір бездефектного кристала; для магнітних властивостей – розмір однодоменного кристала; для електропровідності довжина вільного пробігу електронів.

Істотними недоліками такого підходу є, по-перше, невідповідність розмірів структурних елементів для різних властивостей і матеріалів і, по-друге, відмінність характерних розмірів для різних станів одного і того ж матеріалу (наприклад, окремі частинки нанопорошка і зерна в полікристалі) (табл. 1). Деякі вчені вважають, що коли при зменшенні обсягу якої-небудь речовини по одній, двом або трьом координатах до розмірів нанометрового масштабу виникає нова якість, або, якщо ця якість виникає в композиції з таких об'єктів, то ці утворення слід віднести до наноматеріалів, а технології їх отримання і подальшу роботу з ними – до нанотехнологій.

Таблиця 1 – Розрахункові значення розмірів частинок і зерен, не зтримаючих дислокаційних петель, нм

Матеріал	Cu	Ni	Al	α -Fe
Окремі частинки порошку	250	60	140	23
Зерна в полікристалі	38	18	16	3

Зразок переміщується пьезодвигуном, який має три ступені свободи. Відхилення, що відповідають топографії поверхні, використовуються для формування зображення (a).

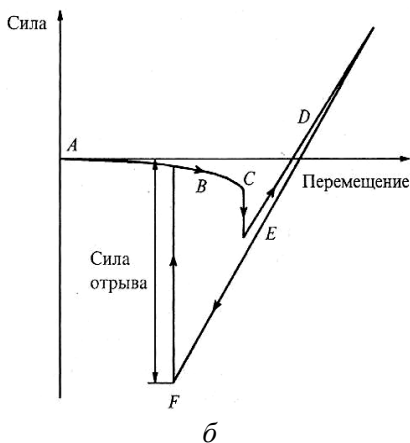
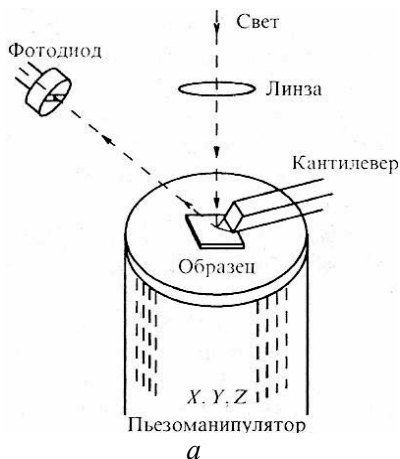
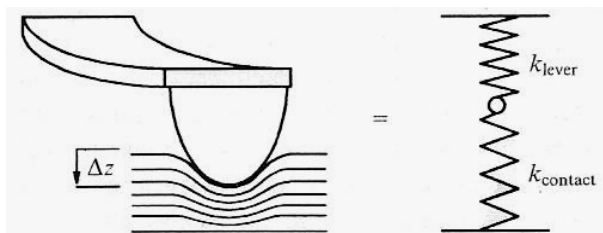


Рисунок 1 – Схема АСМ з оптичною реєстрацією відхилень консолі

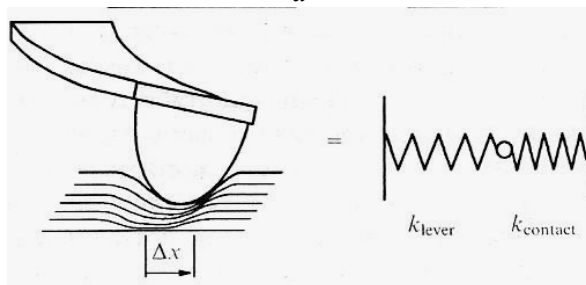
Силова крива підведення-відведення зонда від поверхні показує залежність вертикального відхилення консолі від відстані між кантилевром і зразком (б): А – сили взаємодії відсутні; В – стійкий притягу під дією сил Ван-дер-Ваальса вільний режим; С – градієнт сили тяжіння перевищує пружну жорсткість кантилевра, зонд втрачає стійкість і раптово «прилипає» до поверхні; D – подальше зменшення відстані між зондом і зразком, при якому контакт стає відштовхуючим; E – рух обертання для того, щоб уникнути руйнування зонда. Адгезія між зондом і поверхнею

утримує контакт в області розтягуючих навантажень; F – розтягуючи сила перевищує критичну силу відриву, і зонд «відлипає від поверхні».

Кантилевр і поверхня піддається нормальному (*a*) та латеральному (*б*) стисненню на величину Δz і Δx . В обох випадках кантилевр і поверхня еквівалентні парі послідовно з'єднаних пружин.



a



б

Рисунок 2 – Діаграма, що ілюструє нормальні і латеральні жорсткості в АФМ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. [http://portal.tpu.ru/SHARED/m/MSV/Educational/methodmaterials/Lectures/Технология наноматериалов \(Электронный ресурс\)](http://portal.tpu.ru/SHARED/m/MSV/Educational/methodmaterials/Lectures/Технология наноматериалов (Электронный ресурс)).
2. <http://coatings-pvd.ru/nanocoat.php/> Нано покрытия (Электронный ресурс).
3. <http://www.watta.ru/novosti/prostyie-zakonyi-nanotreniya.html/> Простые законы «нанотренинга» (Электронный ресурс).
4. Мощенок В. И. Наноиндентирование и нанотвердость материалов [Текст] / В. И. Мощенок // Автомобильный транспорт. 2008. Т. 22. с. 151–154.
5. Запорожец В. В. Динамические характеристики прочности поверхностных слоев и их оценка [Текст] / В. В. Запорожец // Трение и износ. – Минск : Наука и техника, 1980. – № 4 – с. 602–609.
6. Дедков Г. В. Нанотрибология: экспериментальные факты и теоретические модели [Текст] / Г. В. Дедков // Успехи физических наук. Кабардино-Балкарский государственный университет, Нальчик – Том 170, 2000. – № 6 – с. 586–618.
7. Наноматериалы и нанотехнологии [Текст]: / [Богуслаев В. А., Качан А. Я., Калинина Н. Е. и др.] – Запорожье : АО «Мотор Сич», 2014. – с. 207
8. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин [Текст]: / [Зозуля В. Д., Шведов Е. Л., Ровинский Д. Я., Браун Э. Д.]; отв. ред. И. М. Федорченко. АН УССР. Ин-т проблем материаловедения – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев : Наук. думка, 1990. – 264 с.
9. ДСТУ 2823-94. Зносостійкість виробів. Тертя, зношування та мащення. [Текст]: Видання офіційне. – К. : Держстандарт України, – 32 с.
10. ГОСТ 27674-88. Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения. [Текст]: Издание официальное. – ГОСКОМ по стандартам. – 19 с.
11. ГОСТ 30480-97. Обеспечение износостойкости изделий. Методы испытаний на износостойкость. Общие требования. [Текст]: Издание официальное. – ГОСКОМ по стандартам. – 11 с.
12. ГОСТ 23.224-86. Обеспечение износостойкости изделий. Методы оценки износостойкости восстановленных деталей. [Текст]: Издание официальное. ГОСКОМ по стандартам. – 28 с.

13. Алексеев Н. М. Экспериментальное исследование «пленочного голодания» при трении твердых тел [Текст] : / Н. М. Алексеев, Н. А. Буше, И. И. Карасик // Проблемы трения и изнашивания. Сб. Выпуск 21. – Киев : Техника, 1982. – 64–73 с.
14. Трибологія [Текст]: підруч. / [М. В. Кіндрачук, В. Ф. Лабунець, М. І. Пашечко, Є. В. Корбут.] – К. : Вид-во Нац. авіа. ін-ту «НАУ – друк», 2009. – 392 с.
15. Чичинадзе А. В. Трение, знос и смазка (трибология и триботехника) [Текст]: / Чичинадзе А. В. – М. : Машиностроение, 2003. – 576 с.
16. Балабанов В. И. Нанотехнологии. Наука будущего [Текст] / В. И. Балабанов. – М. : Эксмо, 2009. – 240 с.
17. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию [Текст] / Н. Кобаяси; перевод с япон. – М. : Бином. Лаборатория знаний, 2008. – 134 с.
18. Ковальчук М. В. Органические наноматериалы, наноструктуры и нанодиагностика [Текст] / М. В. Ковальчук // Вестник РАН, 2003. – Т.13, № 5, с. 405–412
19. Латыпов З. З. Фуллерены и углеродные кластеры [Текст] / З. З. Латыпов, Л. Н. Галь // Науч. приборостроение. – 2005. – Т.15, № 2. – с. 82–87
20. Суздалев И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст] / И. П. Суздалев. – М. : Комкнига, 2006. – 592 с.
21. Надійність машин [Текст]: підруч. / В. Є. Комарчук, С. К. Полянський, М. М. Дмитрієв. – К. : Либідь, 2003. – 424 с.

Довідкове видання

ІВЩЕНКО Леонід Йосипович
ЧЕРКУН Володимир Юхимович
КУБІЧ Вадим Іванович
ЧЕРКУН Віталій Володимирович

**ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ
СЛОВНИК-ДОВІДНИК
З ТРИБОЛОГІЇ, НАДІЙНОСТІ
ТА НАНОТЕХНОЛОГІЙ**

*за загальною редакцією
доктора техн. наук, професора
Івценка Л. Й.*

Комп'ютерний набір *Зав'язун Т. В.*
Комп'ютерна верстка *Гринь Д. В.*

Оригінал-макет підготовлено
в редакційно-видавничому відділі ЗНТУ

Підписано до друку 01.06.2016 Формат 60×84 / 16. Ум. друк. арк. 6,74.
Тираж 300 прим. Зам. № 484

Запорізький національний технічний університет
Україна, 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64
Тел.: (061) 769–82–96, 220–12–14

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2394 від 27.12.2005.