

Впливи, середовище і умови експлуатації приладів та системи

Впливи – явища, процеси, об'єкти будь-якої природи, які діють або можуть впливати на функціонування, стан і якість об'єкта на всьому його ЖЦ, представлені сукупністю величин, навантажень, факторів, що служать джерелом кількісної і якісної інформації про властивості середовища, розглянуті в часі й просторі й такі, що піддаються вимірюванню і розрахунку.

Середовище – безліч елементів, що існують поза системою і впливають на систему.

По розташуванню середовище поділяється на дві частини:

- зовнішнє (навколишнє) - частина середовища, що існує поза виробом;
- внутрішнє - частина середовища, що існує усередині виробу; сукупність внутрішніх впливів.

Класифікація впливів. Всі впливи можна розділити на зовнішні й внутрішні.

Зовнішні впливи не пов'язані з режимом експлуатації виробу і визначаються умовами зберігання, транспортування й експлуатації.

Внутрішні впливи визначаються режимами роботи виробу.

Під **умовами експлуатації** розуміють сукупність зовнішніх і внутрішніх впливів, що впливають на працездатність виробів.

Згідно нормативно-технічної документації (НТД) ГОСТ 21.964-76-«Внешние воздействующие факторы. Классификация. Номенклатура. Характеристики» впливи розділяють на класи:

- 1) Механічні;
- 2) Кліматичні;
- 3) Біологічні;
- 4) Спеціальні середовища;

- 5) Радіаційні;
- 6) Електромагнітні ;
- 7) Термічні.

Останнім часом виділяють новий клас –8) космічні впливи.

Класифікація факторів впливу.

Кожен вид впливу характеризується своїм набором факторів. Наприклад, для кліматичних впливів це температура, вологість, тиск, швидкість вітру й т.д.

Всі фактори впливу за походженням розділяють на дві групи (рис.2):

- об'єктивні ;
- суб'єктивні.

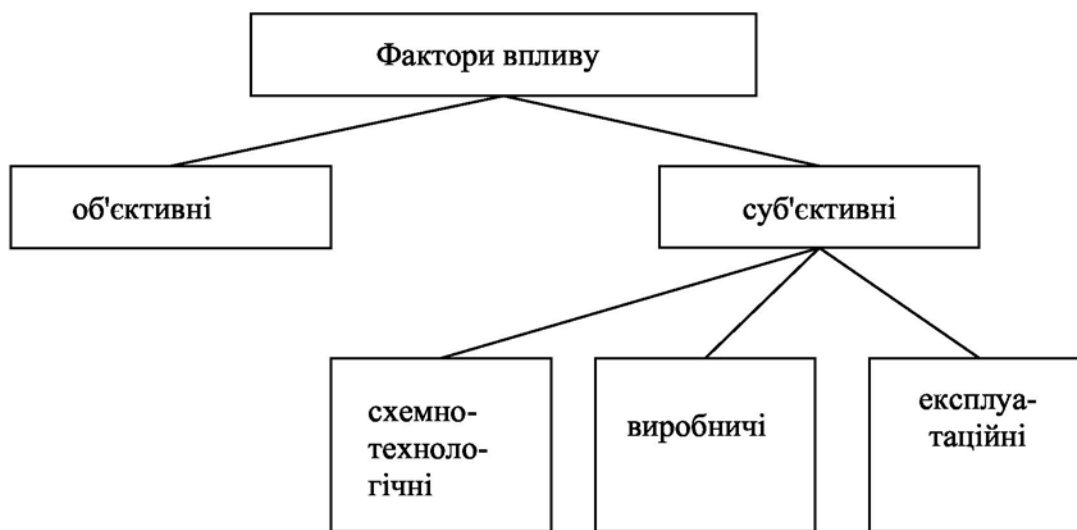


Рис.2. Види факторів впливу

Об'єктивні фактори характеризуються зовнішніми впливами, в умовах яких відбувається зберігання, транспортування й експлуатація виробу.

Наприклад, поверхня виробу, що рухається з великою швидкістю в умовах важких метеорологічних умов (дощ, сніг, заметіль, шторм, пилова буря), стикається з нейтральними частками й електризується. Нейтральні частки набувають позитивного заряду, а поверхня виробу - негативного. Виникаючий на поверхні заряд пропорційний кубу швидкості відносного руху часток і виробу. При напруженості поля накопиченого електричного заряду 450..600 В/см виникає «коронний» розряд в атмосферу. Завдяки чому може виникнути електричний сигнал електронного пристрою, який викликає відмову виробу.

Теплові впливи в різних умовах застосування виробу проявляються як перепади температур. Різкому перепаду температур піддаються вироби, розташовані на об'єктах, що досить швидко переміщаються по вертикалі (літальні апарати, батискафи, глибинні бури й ін.). За короткий проміжок часу температура виробу, встановленого на літаку поза герметизованого

об'єму, може знижуватися від $+50$ до -40°C (набір висоти), а потім підвищуватися від -40 до $+100^{\circ}\text{C}$ (пікірування). При цьому одночасно змінюються вологість і тиск.

Суб'єктивні фактори залежать від діяльності людини на всіх етапах ЖЦ виробу (розробка, виробництво й експлуатація). Результатом впливу цих факторів є помилки проектування, виробництва й експлуатації, що призводять до дефектів виробів, які при впливі об'єктивних факторів призводять до часткової або повної втрати працездатності виробу.

До помилок проектування відносяться недоліки електричних і функціональних схем і конструктивно-технологічних рішень, переоцінка можливостей операторів, що обслуговують спроектовані вироби й недостатньо ефективна система контролю.

Помилки виробництва обумовлені порушеннями технологічних процесів (ТП), застосуванням неякісних комплектуючих елементів і матеріалів, відсутністю твердого контролю на стадіях виробництва.

Помилки експлуатації пов'язані в основному з порушеннями обслуговуючим персоналом експлуатаційних вимог, передбачених відповідними нормативно-технічними документами (НТД) на виріб.

Вплив об'єктивних і суб'єктивних факторів на працездатність виробу істотно відрізняється. Через наявність суб'єктивних факторів знижується стійкість розроблюваних виробів до впливу об'єктивних факторів, у результаті чого знижується якість і надійність виробу. Негативні наслідки впливу суб'єктивних факторів, як правило, приховані від розробників і виробників конкретних виробів. Для їхнього виявлення на всіх етапах ЖЦ застосовують різні види випробувань та контролю.

1. Механічні впливи

Механічні впливи поділяються на дві групи: статичні й динамічні.

Статичні впливи підрозділяють на розтягування, стиснення, згинання, крутіння, зріз, вдавлювання.

Динамічні впливи підрозділяються на вібраційні, ударні, лінійні постійні прискорення, акустичний шум.

Найпоширені фактори динамічного механічного впливу - вібраційні навантаження. Виникаючі при вібраціях інерційні сили можуть викликати напруження, що перевищують межі міцності й витривалості конструкції. Інтенсивність впливу вібрації характеризується частотою й амплітудою коливання, а також величиною максимального прискорення. Вібрації являють собою механічні коливання в діапазоні частот $0,1 - 20\,000$ Гц і більше, амплітуд переміщень $0,001$ мкм - 1000 мм і більше, амплітуд прискорень до 1000 м/с² і більше. Більша частина коливань, що зустрічаються на практиці, має форму викривленої синусоїди.

Вібраційні навантаження, що створюються різним енергетичним устаткуванням, а також незбалансованими частинами машин, що оберта-

ються та переміщуються, викликають руйнування конструкції усталеного характеру, виводять із ладу кріпильні устаткування, викликають коротке замикання й обриви електричних ланцюгів, приводять до порушення герметизації блоків.

Залежно від величини й виду вібраційних навантажень установлюють ступінь жорсткості виробу й проводять випробування на віброміцність, вібробостійкість і виявлення резонансів конструкції. При випробуваннях на вплив вібрації використовують синусоїдальну, випадкову широкосмтову або попередньо виміряну на прототипі вібрацію.

До параметрів лінійної вібрації відносяться переміщення, швидкість, прискорення, різкість (третя похідна переміщення за часом), сила, потужність. До параметрів кутової вібрації відносяться кут повороту, кутова швидкість, кутове прискорення, кутова різкість, момент сил. До параметрів обох видів вібрацій відносять також фазу, частоту й коефіцієнт нелінійних спотворень. Характер вібрацій як за частотою, так і за амплітудою, може значно змінюватися в залежності від типу конструкції, умов експлуатації виробів, інших факторів. Найбільша небезпека - сукупність коливань, що виникає на резонансних частотах пружних конструкцій.

Ударні навантаження також часто зустрічаються при експлуатації сучасних машин і приладів. Механічні удари можуть бути одиночними, багаторазовими й комплексними. Одиночні й багаторазові ударні процеси можуть впливати на об'єкт у горизонтальній, вертикальній і похилій площинах. Комплексні ударні навантаження впливають на об'єкт у двох або трьох взаємно перпендикулярних площинах одночасно. Ударні навантаження виробів можуть бути як неперіодичними, так і періодичними. Виникнення ударних навантажень пов'язане з різкою зміною прискорення, швидкості або напрямки переміщення виробів.

Так, наприклад, прилади, встановлені на стратегічних ракетах з прямоточним гіперзвуковим атмосферним двигуном для активного проходження систем противоракетної оборони, розраховані на вплив практично всіх збурень і, зокрема, вібрацій та ударних навантажень.

Найчастіше в реальних умовах зустрічається складний одиночний ударний процес, що представляє собою сполучення простого ударного імпульсу з накладеними коливаннями. Основними параметрами ударного процесу є прискорення, переміщення, швидкість, деформація точки тіла, що розглядається при ударному впливі. Важливе значення має форма ударного імпульсу. У виробі, що отримав удар, збуджуються швидко згасаючі власні коливання. Величина перевантаження при ударі, характер і швидкість поширення напружень виробу визначаються силою й тривалістю удару й характером зміни прискорення. Удар, впливаючи на матеріал і виріб, може приводити до його механічного руйнування.

Випробування проводять шляхом одиночного й багаторазового ударів, визначаючи стійкість і механічну міцність виробу до них. Випробу-

вання на ударну міцність і ударну стійкість рекомендується сполучати. Тривалість ударних імпульсів 1мс-1000 мс і більше, амплітуда прискорень $1-10^6$ м/с² і вище.

Акустичний шум – у більшості випадків фактор, що заважає, також може впливати на здатність виробу виконувати свої функції. Найпоширеніші частоти шуму 125 – 10000 Гц, максимальний рівень звукового тиску 200 дБ і більше. Для дослідження впливу на вироби зміни частоти шуму проводять відповідні випробування тоном частоти, що змінюється від 125 до 10000 Гц. Механізм руйнівного впливу звукового тиску аналогічний руйнівному впливу вібрації.

2. Кліматичні впливи

Кліматичні впливи характеризуються впливом наступних факторів:

- температура;
- вологість;
- домішки в повітрі;
- сонячне випромінювання;
- атмосферний тиск.

Температура – один з найбільш важливих кліматичних факторів. Для різних кліматичних поясів Землі вона коливається від -75 до +50°C. Однак велика кількість виробів працює в умовах нагрівання (до 500°C і вище) або охолодження (-100°C і нижче) їхніх елементів. Тепловий вплив може бути стаціонарним, періодичним і неперіодичним. Сталий режим теплообміну як усередині виробу, так і виробу із зовнішнім середовищем створює стаціонарний тепловий вплив. Періодичний тепловий вплив утвориться при повторно-короткочасній роботі виробів, добовій зміні температури навколишнього середовища, регулярному сонячному опроміненні й т.д. Неперіодичний тепловий вплив викликається одиничними або порівняно рідкими випадковими діями тепла й холоду.

Зміна температури навколишнього середовища може змінити фізико-хімічні й механічні властивості матеріалів.

При підвищенні температури прискорюється розвиток деяких дефектів у матеріалах, що знижують міцність з'єднань і конструкцій, що погіршують функціональні й електричні характеристики виробів. При одночасному впливі тепла і механічних навантажень багато матеріалів легко деформуються. У ряду матеріалів при нагріванні прискорюється старіння, що призводить до зміни їхніх характеристик.

У зонах з холодним кліматом можуть бути різкі коливання температури виробів, викликані їх нагріванням у період роботи й охолодження після вимикання. При різкій зміні навколишньої температури на поверхні й усередині виробу конденсується волога. Періодичні розширення й стискування дотичних металевих і пластмасових деталей можуть викликати по-

рушення герметичності виробу й руйнування деталей. Різкі коливання температури приводять до руйнування паяних, зварених, клепаних і інших з'єднань, відшаруванню й розтріскуванню покриттів, появі витоків наповнювачів.

Вологість - один з найнебезпечніших кліматичних факторів. Вона прискорює корозію матеріалів, змінює електричні характеристики діелектриків, викликає тепловий розпад матеріалів, гідроліз, ріст цвілі й багато інших механічних ушкоджень виробів.

Абсолютна вологість-кількість водяних пар (г) в 1 м³ повітря. Вона не змінюється при підвищенні температури.

Максимальна вологість – максимальна кількість (г) водяних пар, що може втримуватися в 1 м³ повітря. Вона залежить від температури, тому що тиск пари при кожній температурі має свій максимум. Максимальна вологість змінюється на 7% при зміні температури на 1°C.

Відносна вологість показує, скільки відсотків максимально можливої вологості фактично перебуває в повітрі.

Для більшості процесів відносна вологість якісно оцінюють по наступній шкалі: до 100% - дуже волого; 80% - волого; 60-70% - нормально; 40-50% - сухо; 30% - дуже сухо.

Зміна вологості повітря може приводити до зміни фізико-механічних і хімічних властивостей матеріалів.

При роботі виробу у вологій атмосфері волога обволікає його зовні і проникає всередину. Проникнення вологи у виріб супроводжується корозією матеріалів, зміною розмірів деталей, елементів конструкції й вузлів, викривленням деталей, зниженням механічної міцності деталей і виробу в цілому.

Водяна плівка на поверхні деталей і матеріалів швидко забруднюється й іонізується, внаслідок чого збільшується її провідність. Проводячи електричний струм, плівка закорочує між собою контакти, сприяє появі струмів витоків, може призвести до коротких замикань в електричних ланцюгах і зруйнувати внутрішньосхемну розводку в напівпровідникових приладах.

Внаслідок високої діелектричної постійної води при роботі електричних і радіоелектронних пристроїв у вологій атмосфері виникає ємнісний ефект, що проявляється в зміні опору ізоляційних матеріалів, індуктивності і ємності, коефіцієнта розсіювання й добротності, а також у зменшенні пробивної напруги.

Підвищення вологості навколишнього повітря викликає зменшення коефіцієнта підсилення напівпровідникових пристроїв. Збільшуються втрати електромагнітної енергії внаслідок збільшення її поглинання парами повітря.

Якщо температура падає нижче точки роси, при якій абсолютна вологість дорівнює 100% і водяна пара, що утримується в повітрі, досягає стану насичення, то випадають опади у вигляді води, снігу, роси, інею, туману.

ну. Кількість опадів вимірюють у міліметрах. Опадам в 1мм відповідає 1л води, розподілений на поверхні 1м². Сніг, що тільки-но випав, займає приблизно десятикратний об'єм, 1см снігу відповідає приблизно 1мм опадів. Опали впливають своєю механічною енергією, знижують температуру виробів, підвищують вологість.

Наявність опадів і туману звичайно погіршує умови роботи виробів. Опали й туман діють на матеріали й вироби так само, як підвищена вологість повітря.

Волога, що залишилася на виробі після дощу, може сприяти корозії металів, тому що в дощовій воді втримується деяка кількість розчинених кислот і солей. Особливо сильний руйнівний вплив на вироби можуть робити морська вода й морський туман, що різко прискорює корозію внаслідок солей, що утримуються в них, хлору, магнію й інших елементів.

Туман із крапельками морської води також підсилює корозію металів і може погіршити електричні властивості ізоляційних матеріалів.

Домішки в повітрі – у вигляді піску, пилу, диму й промислових газів також є факторами впливу, які необхідно враховувати при експлуатації виробів.

Пил - суміш твердих часток у повітрі. Природний пил складається з космічної й земної частин. У вільну атмосферу осаджується 120-150 мм пилу за 100 років. Технічний пил утвориться при спалюванні палива, зношуванні й обробці деталей. Технічного пилу у високорозвинених країнах осаджується на два порядки більше, ніж природного. Серйозну проблему представляють для більших міст димові гази, що містять у порівняно більших кількостях сірку, з якої утворюються в підсумку сірчиста й сірчана кислоти, сполуки фтору, аміак, ціаністий водень, пари ртуті й інші активні шкідливі хімічні сполуки.

Домішки в повітрі можуть викликати порушення функціонування електричних елементів, змінювати режими теплообміну, викликати механічні ушкодження (пил, пісок), підсилювати корозійні процеси й т.і.

Сонячне випромінювання являє собою електромагнітні хвилі з довжинами 0,2-5мкм. На ультрафіолетовий діапазон (довжина хвилі до 0,4мкм) припадає 9% енергії, на видимий діапазон (довжина хвилі 0,4-0,7мкм)- 41% і на інфрачервоний діапазон із довжинами хвиль більше 0,72мкм -50% сонячної енергії. Вплив сонячного випромінювання на виріб полягає в хімічному розкладанні деяких органічних матеріалів. Найбільший вплив спричиняють ультрафіолетові промені, які мають високу енергію. Під дією цих променів відбувається поверхневе окислювання матеріалів, часткове розкладання полімерів, що містять хлор, розщеплення органічних молекул, швидке старіння пластмас, зміна найважливіших органічних компонентів і кольору в деяких типів термореактивних пластмас, утворення кірки на поверхні гуми і її розтріскування.

Від дії сонячних променів вироби нагріваються, внаслідок чого спостерігається зміна форми або всихання деяких деталей.

Атмосферний тиск створюється масою повітря, що лежить у даному місці. Коливання атмосферного тиску внаслідок зміни погоди сягають 7%, а при тропічних бурях перевищують 10%. Ряд виробів по своєму функціональному призначенню може працювати в умовах різко підвищеного й різко зниженого атмосферного тиску, що варто враховувати при проведенні відповідних випробувань. Зміна тиску викликає небезпеку пробоїв повітряних проміжків електричних установок у зв'язку зі зміною діелектричної проникності повітря, може змінювати діаграму спрямованості й потужність випромінювання електромагнітних антен, впливає на режим теплообміну виробу, порушує в ряді випадків герметичність виробів і розташування рухомих деталей.

Як і механічні, кліматичні фактори впливу на практиці в більшості випадків діють одночасно, що викликає посилення їхнього руйнуючого ефекту. Ступінь зміни параметрів виробу тим значніше, чим більша кількість кліматичних факторів, що впливають, вище їхня ефективність і час впливу.

3. Біологічні впливи

Сучасні прилади неможливо уявити без мікроелектронних пристроїв (мікромеханічні акселерометри й гіроскопи, мікроконтролери і т.і.). Найближчим часом будуть проектуватися прилади з використанням нанотехнологій. На мікро й нано- рівнях на чутливі елементи приладів і електронні засоби значно впливають біологічні впливи (фактори). Практика показує, що 50-80% ушкоджень електронних засобів викликано біологічними впливами [2].

Біологічні впливи визначаються сукупністю біологічних факторів.

Біологічний фактор (скорочено біофактор) - це організми або їхні групи, що викликають порушення працездатного стану об'єкта.

Біологічним ушкодженням (біоушкодженням) називають подію, що складається у виході якого-небудь параметра виробу під дією біофактора за межі, зазначені в НТД.

Види біоушкоджень:

- Механічне руйнування при контакті організмів з виробом;
- Погіршення експлуатаційних параметрів;
- Біохімічне руйнування;
- Біокорозія.

Механічне руйнування викликається в основному макроорганізмами (організми, що мають розміри відносні з габаритами виробів). Руйнування при контакті може відбутися в результаті зіткнення (наприклад зіткнення

птахів з літаками й антенами радіолокаційних станцій), ушкодження матеріалів пацюками, мишами, знищення виробів термітами і мурахами.

Погіршення експлуатаційних параметрів викликається біозабрудненням, біозасміченням і біообрастанням. Біозабруднення викликано продуктами життєдіяльності організмів. При змочуванні водою або усмоктуванні вологи з повітря це призводить до зміни параметрів виробів. Біозасмічення пов'язане з наявністю спор грибів і бактерій, насіння рослин, частин міцелію грибів, посліду птахів, виділень організмів, відмерлих організмів. Обростання бактеріями, грибами, водоростями, губками, моллюсками та іншими організмами поверхонь виробів підсилює корозію металів.

Біохімічне руйнування викликається мікроорганізмами. Цей вид руйнувань розділяють на два підвиди:

- біологічне споживання матеріалів у процесі живлення мікроорганізмів;

- хімічний вплив речовин, що виділяються при цьому.

Біокорозія - фізико-хімічна корозія на границі матеріал-організм, викликана впливом аміно- і органічних кислот, а також продуктів гідролізу (електрохімічний процес корозії металів).

У великій мірі бактерії та цвілеві гриби впливають на надійність і працездатність виробів, причому найбільше існує грибкових утворень, які відносяться до нижчих рослин, що не мають фотосинтезу. Оптимальними умовами розвитку цвілевих грибків є відносна вологість повітря більше 85%, температура +20 - +30°C і застій повітря. Найбільші руйнування пластмас, дерева, гуми й шкіри виникають під дією цвілі. Цвіль утворює на поверхні матеріалу водну плівку, що сприяє його хімічному розкладанню й втраті найважливіших властивостей.

Всередині закритих або напіввідчинених виробів часто створюють спеціальний мікроклімат. У багатьох випадках це сприяє ураженню виробів цвілевими грибами.

Іншим видом біологічного впливу є комахи, особливо терміти. Ненажерливість термітів робить їх одними з найнебезпечніших комах для устаткування.

Певну небезпеку для виробів, особливо кабелів і дротів, можуть представляти гризуни - пацюки й миші. Вони можуть ушкоджувати ізоляційні матеріали, кабелі, дроти й несучі конструкції, в результаті чого електротехнічні й радіоелектронні вироби можуть виходити з ладу.

Захист від біологічних факторів впливу здійснюють хімічними і конструктивними методами; хімічні отрути й покриття використовують для захисту від цвілевих грибків і комах. Однак найбільш ефективний захист за допомогою конструктивних заходів шляхом зміни внутрішнього клімату пристрою, зменшення відносної вологості повітря, створення більш надійних захисних оболонок, заміни матеріалів.

4. Спеціальні середовища

До спеціальних середовищ відносять пари хімічних речовин, хімічні розчини (дезінфікуючі, дезактивуючі, що дегазують), кислоти, гази й інші речовини, у присутності яких можуть працювати вироби. Вироби, призначені для роботи в спеціальних середовищах, повинні мати підвищену стійкість до впливу цих середовищ, і для перевірки її проводяться відповідні випробування.

5. Радіаційні впливи (іонізуючі випромінювання)

Сучасні вироби, особливо вироби космічної і ядерної техніки, піддаються впливу іонізуючих випромінювань, що створюють при взаємодії з речовиною заряджені атоми й молекули - іони. Гамма-випромінювання, нейтронне, електронне, протонне випромінювання, а також альфа-частинки можуть викликати ушкодження. Найбільшу небезпеку представляють потік нейтронів і гамма-випромінювання, вплив яких підсилюється залежно від їхньої інтенсивності й часу впливу. Безперервна проникаюча радіація викликає поступову необоротну зміну електричних, механічних, хімічних і інших властивостей матеріалів. Імпульсна радіація, що діє короткий час (10^{-7} - 10^{-3} с), призводить до незворотних змін електрофізичних властивостей виробу, а також через велику щільність, створеної іонізації, може викликати й зворотні зміни електричних характеристик виробів і матеріалів.

Зміна хімічних, механічних, електричних й інших властивостей матеріалів і виробів в умовах впливу іонізуючих випромінювань вимагає створення спеціальної іспитової техніки, застосування спеціалізованої радіаційної технології й інших заходів.

6. Електромагнітні поля

Одним з видів зовнішнього впливу є також сильні електромагнітні поля, які можуть викликати зміни режимів роботи електронної апаратури. Ці поля створюються спеціальними випромінювачами, наприклад, радіолокаційними станціями, електричними генераторами, зварювальними апаратами й т.і. Необхідно враховувати вплив сильних електромагнітних полів при створенні й експлуатації радіотехнічних пристроїв, застосовувати відповідні екранні пристосування.

Приклад: електромагнітна сумісність (ЕМС) виробів. Після монтажу на київській телевежі антен мобільного зв'язку, на взльотно-посадочній смузі АНТК ім. Антонова утворилися «сліпі» зони з відсутнім радіозв'язком між кабіною літака й диспетчерською службою.

7. Термічні впливи

Термічні впливи можна поділити на тепловий удар та нагрів. Тепловий удар – це різкий однократний температурний вплив.

Нагрів за своїм походженням можна виділити на чотири групи:

- тертя;
- аеродинамічний;
- тепловий потік;
- полум'я як результат горіння.

8. Космічні впливи

Космічні впливи характеризуються наступними факторами: електромагнітними й корпускулярними випромінюваннями (радіаційні пояси Землі - стабільні області скупчення заряджених часток - електронів, протонів, α - часток і ядер більш важких хімічних елементів);

- глибоким вакуумом;
- променистими тепловими потоками;
- невагомістю;
- метеорними частками;
- магнітними й гравітаційними полями планет і зірок.

Ті самі впливи по різному впливають на різні об'єкти. У реальних умовах на вироби впливають спільно кілька факторів. При цьому можуть бути виділені такі ефекти:

- взаємопослаблюючий вплив факторів одного на інший;
- взаємопідсилюючий вплив факторів одного на інший;
- несумісний вплив.

Практика показує, що в більшості випадків вироби й матеріали відчують комплекс механічних, кліматичних, біологічних і інших зовнішніх впливів. Ці впливи взаємно зв'язані один з одним і необхідно досліджувати результуючий ефект від їхнього спільного впливу на матеріали й вироби. Це найбільш важке завдання і воно повинно також моделюватися на іспитовому устаткуванні.

Параметри впливів: амплітуда, частота, фаза, спектр (амплітуди й частоти), тривалість, діапазони, точність завдання, одно - і багатомірні умовні й безумовні щільності розподілу, математичне очікування, дисперсія, СКО та ін.

У табл.1 показано узагальнений вплив дестабілізуючих факторів на матеріали та конструктивні елементи приладів та систем.

Таблиця 1 - Вплив дестабілізуючих факторів на елементи приладів та систем

Вплив	Основні процеси	Можливі результати
-------	-----------------	--------------------

Вібрація	Механічні напруги, усталені зміни	Втрата механічної міцності, нестійке функціонування, прискорення зношування, руйнування - тобто зниження конструктивної надійності. Інформаційна надійність (точність приладу або системи) також знижується
Удари, лінійні прискорення	Механічні напруги	Руйнування, зниження конструктивної й інформаційної надійності
Висока температура	Хімічні реакції Розм'якшення, плавлення, сублімація (сублімація) - перехід із твердого стану тіла в газоподібне, минаючи рідку фазу стану)	Зміна фізико-механічних і електричних властивостей, нестабільність параметрів
Низька температура	Утворення льоду Корозія, лінійний тиск, крихкість	Втрата механічної міцності, розвиток тріщин, руйнування елементів, зношування, зміна електричних властивостей
Термоудар	Механічні напруги	Нестабільність, деградація параметрів, обриви, коротке замикання, втрата герметичності
Висока вологість	Поглинання води, корозія, електроліз	Спучення, набрякання, зниження електричної міцності, нестійкість параметрів, втрата герметичності, ушкодження покриттів
Низький тиск	Знегажування (виділення газів), збільшення габаритних розмірів	Розтріскування, підривне руйнування
Сонячна радіація	Фотохімічні й фізико-хімічні реакції	Руйнування поверхні; зміна електричних властивостей; утворення озону
Пісок і пил	Стирання Засмічення	Прискорення зношування; нестійкість функціональних параметрів Зміна електричних властивостей
Соляний туман	Корозія Електроліз	Прискорення зношування; втрата механічної міцності; зміна електричних властивостей; Руйнування поверхні; збільшення провідності
Вплив частот з	Нагрівання	Старіння матеріалів

високими рівнями енергії (ядерна реакція)	Ядерні перетворення	Зміна хімічних, фізичних і електричних властивостей; утворення газів
Невагомість	Відсутність конвекційного охолодження	Посилення явищ, які спостерігались при високих температурах
Агресивні середовища	Хімічні реакції Розтріскування; поява крихкості Зниження електричної міцності повітря	Зміна електричних властивостей; нестійкість функціональних параметрів Втрата механічної міцності Пробій ізоляції й утворення дуги

Умови експлуатації (УЕ) - сукупність зовнішніх і внутрішніх факторів, які впливають на функціонування й працездатність виробів.

Відповідно до діапазону й ступенем впливу факторів УЕ поділяються на

- **Нормальні умови (НУ)** :

- температура $+25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$;
- атмосферний тиск 750 ± 30 мм. рт. ст.;
- відносна вологість $65 \pm 15\%$.

НУ - значення сукупності факторів, установлених НТД як номінальні; у таких умовах похибки приладів близькі до необхідних, які можуть бути визначені й гарантуватися. Ці умови є базою, відносно якої виявляються зміни властивостей виробу в інших умовах.

- **Робочі умови** – сукупність факторів, межі яких нормують (регламентують, гарантують) характеристики показників якості виробів, зазначених у ТУ й іншій НТД.

- **Граничні умови** характеризують екстремальні значення факторів, за яких вироби витримують навантаження без руйнування й погіршення якості.

Контрольні запитання:

- 1) Назвіть основні класи впливів.
- 2) Якими факторами характеризуються кліматичні впливи?
- 3) На які впливи підрозділяються механічні динамічні збурення?
- 4) До чого приводять біологічні впливи?
- 5) Назвіть параметри нормальних умов експлуатації.