

ТЕМА 5. СУТНІСТЬ ВІДМОВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

5.1 Основні терміни і визначення

5.2 Класифікація відмов

5.3 Процеси, які виникають при експлуатації технологічних систем

5.4 Фізична сутність відмов технічних виробів

5.1. Основні терміни і визначення

Надійність і її сторони. Надійність є комплексною властивістю, яка залежно від призначення об'єкту і умов його експлуатації може включати безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збережуваність окремо або певне поєднання цих властивостей як для об'єкту, так і його частин.

Теорія надійності досліджує різні чинники, що впливають на рівень надійності, методи забезпечення і оцінки надійності, а також закономірності зміни її кількісних характеристик. Надійність є частиною загальнішої властивості виробу - якості. Технічні характеристики об'єкту даються для деякого моменту часу - це "точкові" характеристики. Надійність характеризує залежність точкових характеристик від часу використання об'єкту.

Терміни і визначення встановлені стандартами. Стандарти передбачають використання наступних основних понять і визначень:

Надійність - властивість об'єкту зберігати в часі у встановлених межах значення усіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонту, збереження і транспортування.

Властивість надійності може бути приписана різним компонентам об'єкту. При дослідженні надійності часто ставиться завдання визначити причини, що призводять до формування тієї або іншої сторони надійності для визначення шляхів підвищення надійності. Це призводить до ділення надійності на **різні види**:

Фізична надійність - обумовлюється фізичними і хімічними властивостями, умовами роботи, навантаженнями і так далі.

Схемна надійність - обумовлюється рівнем фізичної надійності окремих елементів і схемою їх взаємозв'язку. Схемна надійність може бути підвищена за рахунок резервування.

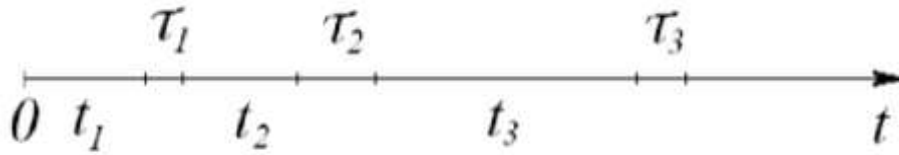
Апаратна надійність - обумовлюється станом апаратури.

Програмна надійність - обумовлюється станом і якістю програмного забезпечення.

Функціональна надійність - надійність виконання окремих функцій, що покладаються на об'єкт.

Часові визначення надійності

Часові визначення надійності використовують для кількісної характеристики роботи конкретного об'єкта. Роботу таких об'єктів можна проілюструвати наступною схемою, показаною на рис. 1.



t_1, t_2, t_3 - напрацювання об'єкту між відмовами; τ_1, τ_2, τ_3 - час відновлення об'єктів

Рис. 1. - Схема функціонування об'єкту

Об'єкт починає працювати в момент часу $t = 0$ і продовжує працювати протягом часу t_1 до першої відмови; після відмови відбувається відновлення працездатності протягом часу τ_1 , і об'єкт знову працює до відмови і т.д. На осі часу моменти відмов утворюють потік відмов, моменти відновлення - потік відновлень.

Напрацювання - тривалість або обсяг роботи об'єкта. Обчислюється в годинах, кілометрах пробігу, числом робочих циклів або інших одиницях, що характеризують роботу об'єкта.

Напрацювання до відмови - напрацювання об'єкта від початку експлуатації до виникнення першої відмови.

Напрацювання між відмовами - напрацювання об'єкта від закінчення відновлення його працездатного стану після відмови до виникнення наступної відмови.

Час відновлення - тривалість відновлення працездатного стану об'єкта.

Ресурс - сумарне напрацювання об'єкта від початку його експлуатації або її відновлення після ремонту до переходу в граничний стан.

Термін служби - календарна тривалість експлуатації від початку експлуатації об'єкта або його відновлення після ремонту до переходу в граничний стан.

Термін зберігання - календарна тривалість зберігання і (або) транспортування об'єкта, протягом якої зберігаються в заданих межах значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати задані функції.

Залишковий ресурс - сумарне напрацювання об'єкта від моменту контролю його технічного стану до переходу в граничний стан.

Аналогічно визначаються поняття залишкового напрацювання до відмови, залишкового терміну служби і залишкового терміну зберігання.

Призначений ресурс - сумарний наробіток, при досягненні якого експлуатація об'єкта має бути припинена незалежно від його технічного стану.

Призначений термін служби - календарна тривалість експлуатації, при досягненні якої експлуатація об'єкта має бути припинена незалежно від його технічного стану.

Призначений термін зберігання - календарна тривалість зберігання, при досягненні якої зберігання об'єкта повинно бути припинено незалежно від його технічного стану.

5.2 Класифікація відмов

Для характеристики стану об'єктів експлуатації застосовують такі терміни, як **справність**, **несправність**, **працездатний** чи **непрацездатний** стан. Кожний з цих станів характеризується сукупністю значень параметрів та якісних ознак, що встановлюються нормативно-технічною або конструкторською документацією. Працездатний об'єкт на відміну від справного задовольняє лише вимогам нормативно-технічної документації, виконання яких забезпечує його здатність виконувати потрібні функції. У зв'язку з цим "справний стан" ширше, ніж поняття "працездатний стан". Об'єкт може бути несправним, але працездатним.

Під **граничним станом** розуміють такий стан об'єкта, при якому подальша експлуатація згідно з нормативно-технічною документацією неприпустима, чи недоцільна, або характеризується неусувним виходом параметрів за встановлені межі. Після настання граничного стану експлуатація об'єкта припиняється і він може бути відправлений в ремонт або списаний.

Основним поняттям в теорії надійності є **відмова** - подія, яка полягає у втраті об'єктом здатності виконувати потрібну функцію, тобто у порушенні працездатного стану об'єкта.

Якщо об'єкт переходить у несправний, але працездатний стан, цю подію називають **пошкодженням**. Схема зміни станів об'єкта в залежності від подій надана на рис.2.

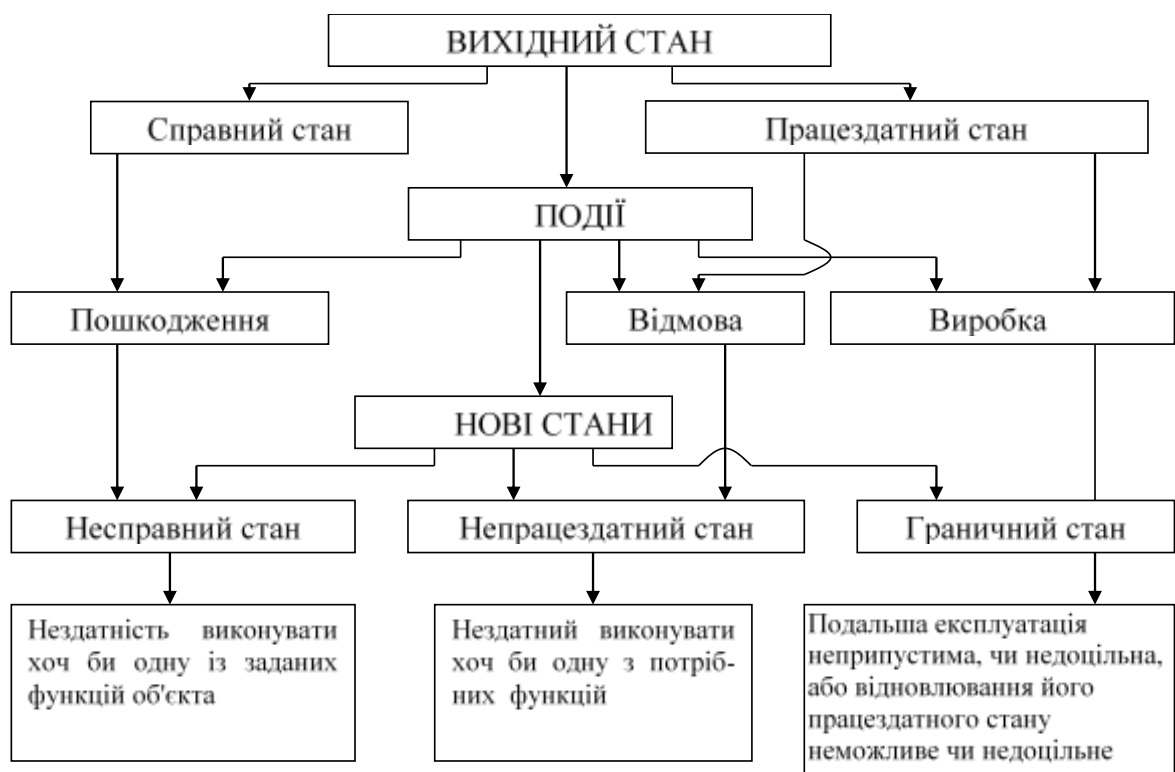


Рис.2. Схема станів об'єкта

За швидкістю проходження процеси, які призводять до відмов виробів, поділяють на **швидкобіжні**, **середньої швидкості** й **повільні**.

Швидкобіжні процеси мають періодичність, що вимірюється частками секунди. Вони діють у межах циклу роботи технічного об'єкта (його елемента) і при наступних циклах виникають знову. До них належать вібрація вузлів, зміна навантаження і сил тертя залежно від взаємного розташування деталей та вузлів машини чи апарата під час роботи.

Процеси середньої швидкості пов'язані з періодом безперервної роботи виробу (елемента). Їхня тривалість вимірюється хвилинами, годинами. Вони приводять до поступової зміни параметрів або властивостей виробу. До цієї категорії належать оборотні (нагрівання в період пуску й охолодження при зупинці) та необоротні (спрацювання інструменту, наприклад, ножів м'ясоподрібнювальних вовчків) процеси.

Повільні процеси проходять під час роботи виробу між періодичними оглядами або ремонтами за період повного спрацювання. Їхня тривалість оцінюється днями, місяцями, роками. Такими процесами є: спрацювання основних механізмів виробу, перерозподіл внутрішніх напружень, повзучість металів, корозія, сезонні зміни температури (зима, літо), старіння. Ці процеси також впливають на технічні параметри виробів, але приводять до дуже повільної їх зміни. Проявлення дії повільних процесів упереджують за рахунок ремонтів і профілактичних заходів, які виконують через певні проміжки часу.

Для кожної машини ознаки відмови встановлюють нормативно-технічною документацією.

Відмови відповідно до фізичної природи їх виникнення пов'язані з руйнуванням деталей або їхніх поверхонь (поломка, спрацювання, корозія), втратою елементами виробів певних властивостей або параметрів (теплопровідності в теплових апаратах, електричного опору або електропровідності, магнітних властивостей та ін.) і зумовлюються різними процесами, що відбуваються в обладнанні під час експлуатації або збереження.

Причина відмови ховається під час проектування, виготовлення чи використання об'єкта, які і привели до відмови.

Процеси, що відбуваються в об'єктах під час експлуатації і збереження, та їхні відмови перебувають у причинно-наслідковому зв'язку. Причини відмов мають випадковий і систематичний характер.

Причини випадкового характеру: непередбачені перевантаження, дефекти матеріалів або похибки виготовлення елементів об'єкта, не виявлені контролем, збої системи керування або помилки експлуатуючого персоналу.

Причини систематичного характеру проявляються у результаті дії чинників із закономірними наслідками: спрацювання деталей, корозія і налипання поверхонь теплопровідних елементів апаратів, затуплення лез різальних інструментів, забруднення фільтрів тощо. Систематичні причини відмов краще піддаються прогнозуванню.

Механізм відмови може бути пов'язаний із фізичними, хімічними та іншими процесами, що привели до відмови.

Наслідки відмови – явища, процеси, події, обумовлені виниканням відмови об'єкта.

За впливом на стан виробу відмови поділяють на **функціональні й параметричні**. Наприклад, для насоса відмови, що зумовлюють його зупинку, належать до *функціональних*, а зменшення продуктивності або тиску нижче від граничного рівня — до *параметричних*. За наявності параметричних відмов технічний об'єкт може працювати з відхиленням від технічних вимог.

По характеру виникнення відмови пов'язані або з поломкою окремих елементів при функціонуванні, або із зміною параметрів до недопустимих меж.

Деталі машин в основному руйнуються під дією силових навантажень, тепла та світла, електричних і магнітних полів, хімічного середовища, тертя та ін.

Під дією цих чинників відбувається зміна стану машини. У деталях машини відбуваються такі перетворення:

а) *пластична деформація*, що призводить до збільшення напруги в матеріалі деталей;

б) *утомлюваність* у випадку, коли деталі зазнають статичних і циклічних навантажень (рами, вали, пружини та ін.);

в) *теплове руйнування*, що відбувається під дією нагріву деталей, при яких змінюється структура матеріалу і вони втрачають свої початкові властивості (циліндри, поршні, вкладиші підшипників та ін.);

г) *хімічне (корозійне) руйнування* — це руйнування матеріалів внаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії;

д) *зношування* машини внаслідок тертя.

Слід розрізняти відмови:

— враховані — як правило заносять у розрахунок величини показника безвідмовності;

— невраховані — вилучають з розрахунку величини показника безвідмовності.

Відмови поділяють на декілька видів: за причинами виникнення, характером прояву, впливом на працездатність та ін.

Класифікація відмов наведена на рис.3.

Відмови за причинами виникнення:

а) ***конструкційні*** — зумовлені помилками при проектуванні, порушенням вимог державних стандартів, зниженням запасу міцності та ін.;

б) ***виробничі*** — спричинені порушенням технології виготовлення, невиконанням вимог технічної документації, застосуванням неякісних матеріалів і т. п.;

в) ***експлуатаційні*** — є наслідком порушень умов роботи машини, різних ушкоджень, невиконанням правил експлуатації, низької кваліфікації обслуговуючого персоналу, старінням машини та ін.

На цю групу експлуатаційних відмов технічних об'єктів харчової і переробної промисловості припадає близько 50 % усіх відмов за джерелом виникнення.



Рис. 3. Класифікація відмов

Відмови за характером прояву:

Відповідно до характеру розвитку процесів та їх проявлення відмови можуть бути:

раптовими – на ймовірність їх появи не впливає час попередньої роботи, характеризуються стрибкоподібною зміною значень одного або декількох параметрів об'єкта, наприклад, поломки деталей і заїдання пар тертя від перевантаження або через відсутність змащування;

поступовими за розвитком і раптовими за проявленням, наприклад руйнування деталей або конструкцій від втоми матеріалу, коротке замикання внаслідок старіння ізоляції;

поступовими – розвиваються в часі і пов'язані із старінням, зносом, втомною міцністю і іншими чинниками зміни властивостей матеріалу, виникають в результаті поступового зміни значень одного або декількох параметрів об'єкта.

Відмови за ступенем впливу на працездатність машини:

а) ***часткова***, яка призводить до нездатності об'єкта виконувати частину потрібних функцій;

б) ***повна***, яка зумовлює повну нездатність технічного об'єкта виконувати будь-яку із потрібних функцій; ***ресурсна***, внаслідок якої об'єкт досягає граничного стану;

в) ***критична***, яка може спричинити травмування людей, значні матеріальні збитки чи інші неприйнятні наслідки.

Для машин, які виконують відповідальні функції або функції, пов'язані з життям людей, відмови поділяють на ***небезпечні*** та ***безпечні***.

Крім того, за можливістю передбачування відмови поділяють ***прогнозовані*** і ***непрогнозовані***.

Залежно від складності наслідків відмовам можна запобігати при технічному обслуговуванні, при середньому або капітальному ремонті.

За можливістю відновлення працездатності виробу після відмови

Відмови, що не усуваються – відновлення працездатності об'єкта неможливо або економічно недоцільно

Відмови, що усуваються на місці експлуатації.

Відмови, що усуваються на спеціалізованому ремонтному підприємстві.

Спільні відмови - відмови елементів об'єкту, що можуть одночасно з'явитися у кількості двох і більше.

Несумісні відмови - відмови, з яких ніякі два не можуть з'явитися разом.

Незалежні відмови - це відмова не спричинена прямо чи не прямо відмовою або не справністю іншого об'єкта.

Залежні відмови - відмова об'єкта спричинена прямо чи непрямо відмовою або несправністю іншого об'єкта.

За можливістю виявлення

Явна відмова, виявляється візуально чи штатними методами і засобами контролю та діагностування при підготовці об'єкту до застосування або в процесі його застосування за призначенням.

Прихована відмова, що не виявляється візуально чи штатними методами і засобами контролю та діагностування, але виявляється при проведенні технічного обслуговування або спеціальними методами діагностики.

За характером існування відмови в часі:

Збій – відмова, що самоусувається або одноразова відмова, що усувається незначним втручанням оператора.

Переривчаста – відмова одного і того ж характеру, що багаторазово виникає та самоусувається.

Стійка – відмова усувається тільки в результаті проведення відновлювальних робіт, є наслідком незворотних процесів в деталях і матеріалах.

За наявності граничного стану після відмови:

Ресурсна відмова, в результаті якого об'єкт досягає граничного стану.

Нересурсна відмова, в результаті якої об'єкт не досягає граничного стану.

За обумовленістю іншими відмовами:

Відмови припрацювання, що виникають на ранній стадії експлуатації, обумовлені прихованими виробничими дефектами, які не виявлені в процесі контролю.

Деградаційні відмови, обумовлений природними процесами старіння, зношування, корозії і втоми при дотриманні всіх встановлених правил і (або) норм проектування, виготовлення в експлуатації.

Інженерна класифікація відмов:

1. По виявленню:

- до виконання функцій;
- під час виконання функцій.

2. По наслідках:

- без наслідків;
- призводить до невиконання функцій;
- призводить до подій.

3. З причин:

- конструктивно-виробничі помилки;
- помилки оперативного персоналу;
- зовнішні або випадкові причини.

4. За способом усунення:

- відновлення працездатності на місці експлуатації;
- частковий ремонт в ремонтних службах;
- капітальний ремонт;
- списання об'єкту.

Відмови не можна плутати з дефектами.

Дефектом називається кожна окрема невідповідність об'єкту вимогам, встановленим нормативною документацією. Цей термін застосовуваний до усіх видів промислової і непромислової продукції.

Окрім поняття відмова в прикладній теорії надійності і на практиці можуть використовуватися інші поняття, пов'язані з порушенням працездатності об'єкту:

Поломка - ушкодження об'єкту, яке може бути усунене силами екіпажа або ремонтних служб, що не тягне загибелі людей.

Подія - подія, пов'язана з порушенням функціонування об'єкту внаслідок його руйнування або ушкодження.

Аварія - повне руйнування об'єкту або таке його ушкодження, що відновлення або неможливо, або недоцільно (але не тягне загибелі людей).

Катастрофа - повне або часткове руйнування об'єкту, що тягне загибель хоч би однієї людини (якщо смерть людей в результаті події настає протягом 10 діб після нього).

Призначений термін зберігання - календарна тривалість зберігання, при досягненні якої зберігання об'єкта повинно бути припинено незалежно від його технічного стану.

5.3 Процеси, які виникають при експлуатації технологічних систем

Відмови чи поєднання відмов різноманітних елементів технологічних систем (ТС) можуть привести до тієї чи іншої особливої ситуації.

Для складних ТС можна визначити велике число комбінацій відмов елементів, що обумовлюють порівняно невелике число функціональних відмов систем. Сукупність різноманітних сполучень відмов елементів, що викликають відмову системи, визначають з аналізу її цільового призначення, конструктивних особливостей, а також статистичних даних про результати експлуатації системи.

Тісний зв'язок показників надійності з безпекою роботи та ефективністю використання ТС свідчить про важливість нормування вимог до надійності та її забезпечення у процесі експлуатації.

При експлуатації ТС виникають два взаємно протилежних процеси: процес зміни технічного стану об'єктів внаслідок зношення й фізико-хімічної зміни структури елементів при їхньому функціонуванні та процес відновлення технічного стану об'єктів при ТО і Р (рис.4).

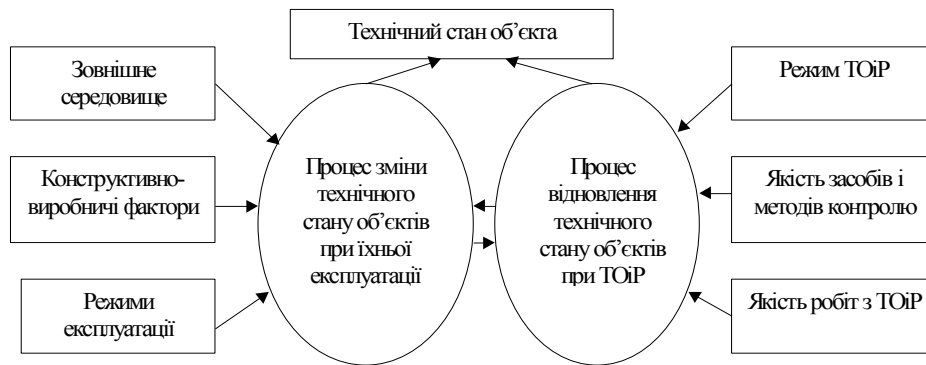


Рис.4. Процеси, які виникають при експлуатації ТС

Інтенсивність зміни технічного стану об'єктів визначається його конструктивними особливостями, якістю виробництва, а також умовами та режимами експлуатації.

Конструктивно-технічні фактори, що визначають надійність, виражаються:

- структурною побудовою систем ТС, що встановлює взаємозв'язок елементів та режими їхньої роботи;
- конструктивним виконанням окремих елементів та системи у цілому;
- ступенем відповідності конструктивних та схемних рішень реальним умовам функціонування ТС;
- ступенем придатності виробів ТС до ТО та відновленню працездатності у разі появи відмов.

Виробничо-технологічні фактори визначаються:

- реалізацією передових технологічних процесів;
- використанням сучасного обладнання;
- дотриманням вимог технічної документації;
- забезпеченням стабільності якості виробів ТС.

Експлуатаційно-технічні фактори визначаються в умовах роботи та зовнішніх навантажень на систему, що знижують надійність ТС, у сукупності ремонтно-профілактичних заходів, які включають в себе фактори активного управління процесом підтримки та забезпечення надійності системи під час її експлуатації.

Ефективність управління досягається не тільки за рахунок використання прогресивних методів ТОіР, скорочення втрат робочого часу, але й через підвищення рівня організаційної та технічної культури центрів ТОіР, удосконалення технології та організації виробництва.

5.4 Фізична сутність відмов технічних виробів

Відмова елементів - явище випадкове, але причина появи будь-якої відмови пов'язана з певними фізико-хімічними процесами що обумовлюються дією таких взаємопов'язаних факторів (рис.5):

- структурною недосконалістю вихідних матеріалів виробів, обумовлених наявністю домішок, дислокацій, градієнтів концентрації тощо $(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_i, \dots, \gamma_n)$;

- конструктивно-технологічними дефектами процесу виробництва $(d_1, d_2, \dots, d_j, \dots, d_k)$;

- зовнішніми навантаженнями G ;

- режимом використання Q ;

Комплексний вплив перелічених факторів визначає проходження сукупності фізико-хімічних процесів у виробі:

$$X = F(V_1, V_2, \dots, V_i, \dots, V_m, t)$$

де $V_i = f(\gamma_i, d_j, Q, G, t)$ – швидкість протікання i – го фізико-хімічного процесу, що визначає наданий вид відмови виробу;

t – час.

Конкретний вигляд моделей для окремих виробів визначається характером впливу різноманітних фізичних факторів на процес виникнення та розвитку відмов. До таких факторів відносяться зношування та старіння матеріалів, накопичення пошкоджень втоми, наявність виробничо-технологічних дефектів, місцевих концентраторів пошкоджень, неоднорідність матеріалів, тріщини, невідповідність фактичних умов та навантажень розрахунковим допустимим значенням.

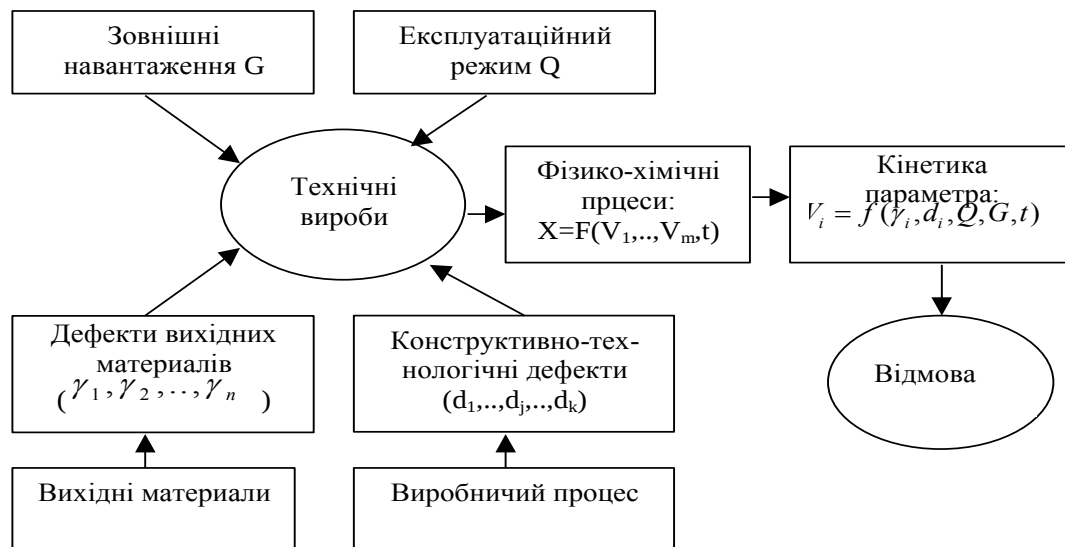


Рис.5. Фізична модель формування відмов технічних виробів

Відмови виробів ТС мають різноманітні причини виникнення та різноманітні форми прояву. Найбільш характерними формами прояву відмов виробів ТС є відхилення вихідних параметрів функціональних систем та їхніх агрегатів від нормативних значень чи вихід параметрів за встановлені обмеження, механічні пошкодження, що призводять до появи тріщин, полумок, деформацій.

Залежно від характеру розвитку та форми вияву відмов виробів розрізняють функціональну надійність (виріб здатен виконувати задані функції), параметричну (функції, що виконуються не задовольняють точності, економічності, ефективності), міцнісну надійність (поломки та пошкодження виробів).

Механізм відмови виробів визначається зміною його властивостей та параметрів у часі, обумовлених зміною положення стану положення мікрочастинок в силу кінетики причинно-наслідкових зв'язків, що породжують відмови.

Відмови супроводжуються різноманітними механізмами: концентрацією локальних напруг, накопиченням мікротріщин, механічним, корозійним або ерозійним зношенням, адгезією парів, пилу та порошоків, старінням.

Для ТС харчових виробництв вирішальне значення на працездатність елементів і виникнення відмов мають процеси, що відбуваються на поверхні конструкцій, які підлягають безпосередньому впливу навколишнього середовища, вологості, забрудненню.

У місцях рухомих та непорушних з'єднань деталей виникають різноманітні види механічного чи електроерозійного зношення, контактної корозії. Більшість фізико-хімічних процесів є термоактивованими процесами, тобто інтенсивність протікання процесів збільшується при нагріванні елементів.

Теплові процеси відіграють вирішальну роль у зміні властивостей та характеристик матеріалів елементів ТС харчових виробництв, процесах руйнування та старіння їхніх елементів.

Залежно від механізму виникнення відмов та пошкоджень виробів ТС їх можна класифікувати на такі групи:

- руйнування втомлісного характеру, тріщини, деформації, викликані дією експлуатаційних навантажень;
- вироблення рухомих з'єднань та заклепкових швів, потертості та інші види механічного зношення елементів конструкції;
- руйнування та деформації, викликані разовою дією навантаження, що перевищують розрахункові та пов'язані з особливими умовами експлуатації;
- втрата властивостей мастил та спеціальних рідин, що використовуються у вузлах, агрегатах та системах ТС;
- руйнування лакофарбових та захисних покриттів;
- корозія елементів конструкції ТС;
- механічні пошкодження (деформації, пробоїни, подряпини та інш.), викликані недбалістю при ТО чи при виконанні вантажно-розвантажувальних робіт.

Відмови та пошкодження перших двох груп пов'язані в основному з режимами експлуатації ТС. Пошкодження третьої групи пов'язані з якістю експлуатації. Дефекти наступних трьох груп відмов залежать головним чином від умов експлуатації, режимів та якості ТО.

Остання група відмов та пошкоджень виробів ТС пов'язана з недоліками організації праці та кваліфікацією оператора.