

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО
МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра «Технічний сервіс та системи в АПК»

НАДІЙНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Методичні вказівки до практичної роботи №5
на тему: «Визначення показників надійності
технологічних систем при законі розподілу
Вейбулла»

для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр»
спеціальності 208 «Агроінженерія»

2019

Надійність технологічних систем. Методичні вказівки до практичної роботи №5 для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» спеціальності 208 «Агроінженерія» - Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2019. – 20 с.

Розробник:

доцент Болтянська Н.І.

Рецензент:

доцент Паніна В.В.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри Технічний сервіс та системи в АПК, протокол № від 2019 р.

Розглянуто і рекомендовано до впровадження в навчальний процес метод. комісією факультету МТ, протокол № від 2019 р.

Практична роботи №5 **ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ** **ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ПРИ** **ЗАКОНІ РОЗПОДІЛУ ВЕЙБУЛЛА**

МЕТА РОБОТИ – ознайомитись методикою визначення показників надійності технологічних систем при законі розподілу Вейбулла.

1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки (Додаток А)

Вивчити:

- процеси, які виникають при експлуатації технологічних систем.

Ознайомитись:

- з фізичною сутністю відмов технічних виробів.

Скласти звіт по роботі:

- номер, найменування та мета роботи;
- процеси, які виникають при експлуатації технологічних систем;
- фізична модель формування відмов технічних виробів.

1.2 Питання для самопідготовки

1.2.1 Фактори, що визначають інтенсивність змін технічного стану об'єктів.

1.2.2 Причини появи відмов.

1.2.3 Модель формування відмов

1.3 Рекомендована література

- 1 Надійність техніки. Системи технологічні. Терміни та визначення: ДСТУ 2470-94. - К.: Держстандарт України, 1995. – 28 с.
2. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними: ДСТУ 3004-95.-К.: Держстандарт України, 1995. – 51 с.
3. Надійність сільськогосподарської техніки: Підручник. / М.І. Черновол, В.Ю. Черкун, В.В. Аулін та ін.; За заг. ред. М.І. Черновола.– Кіровоград: ТОВ «КОД», 2010. – 320 с.

2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Програма робіт

2.1.1 Вивчити:

- систему показників надійності машин;
- основні характеристики закону розподілу Вейбулла.

2.1.2 Провести розрахунок:

- показників надійності технологічних систем, які підпорядковуються закону розподілу Вейбулла.

Скласти звіт та захистити роботу.

2.2 Теоретичні відомості

2.2.1 Система показників надійності машин

Надійність – властивість об’єкта (машини) виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в межах заданого часу. Надійність, стисло, – здатність машини не відмовляти під час роботи.

Надійність – це комплексна властивість, яка залежно від призначення об’єкта та умов його експлуатації складається з *безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності, збережуваності* (рис. 1).

Безвідмовність – властивість машини зберігати працездатність упродовж деякого часу або напрацювання (наприклад, до першої відмови).

Напрацювання – це тривалість або обсяг роботи машини і може визначатися кілометрами пробігу, годинами, тонами, кубічними метрами та іншими показниками. В основному безвідмовність розглядають стосовно використання машини за призначенням.

Довговічність – властивість машини зберігати працездатність до *граничного стану* в умовах установленної системи технічного обслуговування та ремонту.

Ремонтпридатність – властивість машини, що характеризує *приспосованість* її до виявлення причин відмови, зручності виконання технічного обслуговування та ремонту. Кількісно *ремонтпридатність* визначають затратами часу, праці та засобів. До найпростіших властивостей, які визначають ремонтпридатність машини, належать доступність і можливість проведення легкого демонтажу складальних одиниць та деталей, взаємозамінюваність, ступінь уніфікації та ін.

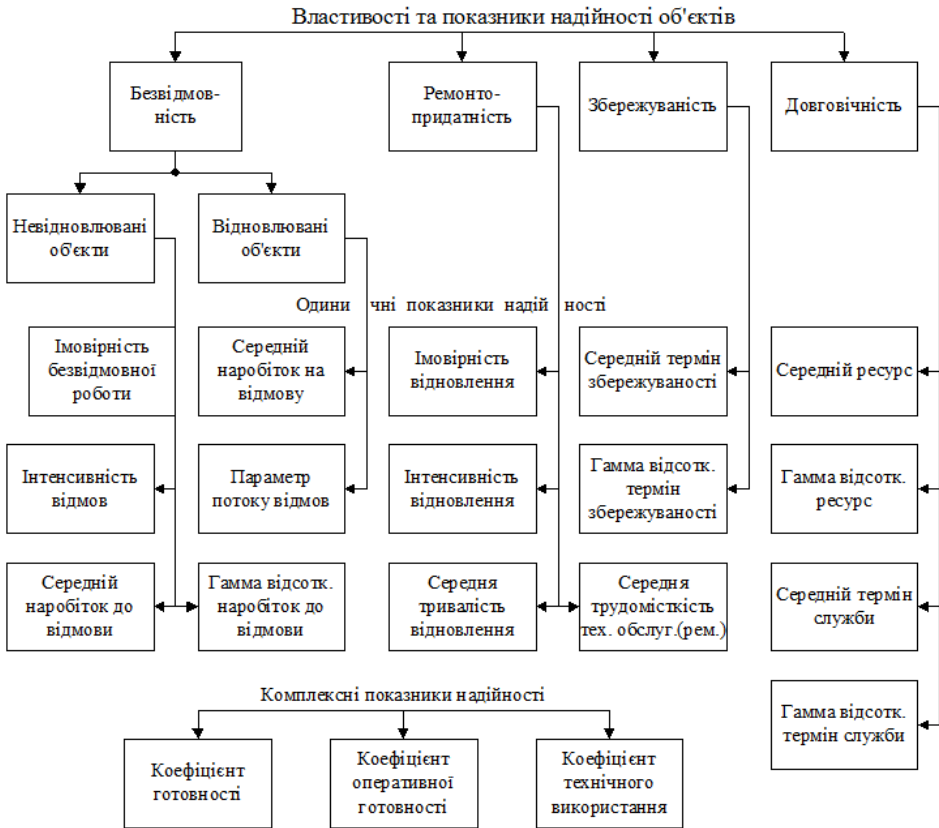


Рис. 1. Властивості та показники надійності об'єктів

Збережуваність – властивість машини *зберігати працездатність* під час її транспортування та зберігання і в подальшому під час роботи. Збережуваність характеризується *опірністю* конструкції зміні характеристик елементів машини під дією вологи, атмосферного тиску, опромінення, навколишньої температури та власної маси при зберіганні. Високі показники збережуваності досягають за рахунок герметизації та встановлення спеціальних заглушок, пробок, застосування спеціальних лакофарбових покриттів, установа спеціальних пристроїв.

Надійність може бути категорією якості, яку має машина, або *якістю* (в одних випадках машина надійна, в інших – не забезпечує

необхідної надійності). Але якість підлягає зміні з часом, тобто машина може перейти з надійного стану в ненадійний. Цей процес не є випадковим, він закономірний і є наслідком поступових кількісних змін у машині.

Рівень надійності машин характеризується кількісними показниками. Це ймовірнісні характеристики.

Для характеристики надійності застосовують показники, що характеризують окремі її властивості – це *кількісні показники*, і декілька властивостей – *комплексні показники*.

Кількісні показники – це показники *безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та збережуваності*. Кількісні показники надійності – це показники, які належать до однієї з властивостей, що складають надійність машини.

Комплексні показники надійності, на відміну від одиничних, характеризують одночасно кілька властивостей машини.

Показники безвідмовності

Імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ – імовірність того, що в заданому діапазоні часу t не відбудеться відмови машини:

$$P(t) = \frac{N_p}{N}, \quad (1)$$

де N_p – кількість працездатних машин ($N_p = N - n$); N – загальна кількість машин; n – кількість відмов.

Напрацювання до відмови – тривалість роботи машини до першої відмови.

Середнє напрацювання до відмови

$$t_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} \quad (2)$$

де t_i – час роботи до відмови i -ї машини.

Гамма-відсоткове напрацювання до відмови – це напрацювання, упродовж якого не відбудеться відмови машини з імовірністю γ . Його розраховують у відсотках, %.

Щільність розподілу відмов

$$f(t) = \frac{n(t)}{N_0 \cdot \Delta t} \quad (3)$$

де $n(t)$ – кількість відмов машини за час Δt ; Δt – інтервал часу;
 N_0 – початкова кількість машин.

Інтенсивність відмов – це умовна щільність імовірності появи відмови

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N_p \cdot \Delta t} \quad (4)$$

де N_p – кількість працездатних машин
або

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (5)$$

Практично для всіх систем інтенсивність відмов залежить від часу і має характеристику у вигляді “ванни” (рис. 2).

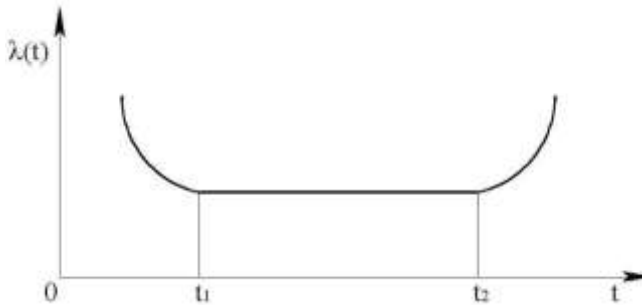


Рис. 2. Зміна інтенсивності відмов машини:

- $0-t_1$ – період припрацювання;
- t_1-t_2 – період нормальної експлуатації;
- $t > t_2$ – період зношування та старіння

Зміна $\lambda(t)$ за часом має три характерні ділянки.

Ділянка $0-t_1$ – це період *припрацювання* машини, коли інтенсивність відмови зменшується. У цей період виявляються конструктивні, технологічні й виробничі дефекти. Закон розподілу відмов для різних

машин може бути різним, але загальним є зменшення інтенсивності відмов до деякого постійного значення упродовж короткого проміжку часу.

Для забезпечення надійності машини під час її припрацювання необхідно розробити методи усування відмов. Для усування відмов після складання машини необхідно провести її *обкатку* на стенді або в реальних умовах. Під час обкатки проводиться заміна елементів, які відмовили, з'ясовуються причини їх відмови.

Показниками якості припрацювання можуть бути ККД, рівень шуму, температура поверхонь деталей, рідини та ін. Про закінчення процесу припрацювання показує незмінність показника $\lambda(t)$.

На ділянці t_1-t_2 (це період *нормальної експлуатації*) інтенсивність відмов стає приблизно постійною ($\lambda(t) \approx \text{const}$) і визначається випадковими факторами.

З моменту $t > t_2$ інтенсивність відмов *збільшується* внаслідок процесів старіння і зміни хіміко-фізичних властивостей елементів машини, пов'язаних з її довготривалою експлуатацією. Механізм відмов на цій ділянці пояснюється моделями зношування, старіння і утомлюваності.

Параметр потоку відмов – це відношення середньої кількості відмов відновлюваних машин до їх сумарного напрацювання:

$$\omega(t) = \frac{n}{\Sigma t_i}. \quad (6)$$

Показники довговічності

Ці показники оцінюють втрату працездатності за весь період експлуатації машини, тобто до появи її граничного стану.

Середній ресурс – напрацювання машини від початку експлуатації до граничного стану в годинах.

Ресурс – це запас можливостей роботи машини. Для неремонтованих виробів він збігається з напрацюванням до відмови, для ремонтіваних – включає і тривалість роботи після ремонту до граничного стану:

$$T_{p.cep} = R_{cep} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N R_i \quad (7)$$

де R_i – ресурс i -ї машини;

N – кількість машин.

Гамма-відсотковий ресурс – напрацювання, упродовж якого машина не досягне граничного стану. Виражають його у відсотках.

Середній термін служби – середнє календарне напрацювання машини до граничного стану в роках:

$$T_{\text{сл. сер}} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N T_{\text{сл. } i} \quad (8)$$

де $T_{\text{сл. } i}$ – термін служби i -ї машини.

Таким чином, термін служби від ресурсу відрізняється лише розмірністю.

Показники ремонтпридатності

Імовірність відновлення – імовірність того, що час відновлення машини не перебільшить заданого (аналогія з імовірністю відмов).

Середній час відновлення, год:

$$T_{\text{від. сер}} = \frac{\sum t_{\text{від. } i}}{N} \quad (9)$$

де $t_{\text{від. } i}$ – час відновлення i -ї машини; N – кількість машин.

Показники збережуваності

Середній термін збережуваності

$$T_{\text{зб. сер}} = \frac{\sum t_{\text{зб. } i}}{N}, \quad (10)$$

де $t_{\text{зб. } i}$ – період збережуваності i -ї машини;

N – кількість машин.

Гамма-відсотковий термін збережуваності – термін збережуваності із заданою імовірністю γ , вираженою у відсотках.

Комплексні показники надійності

Стосовно сучасних машин передбачено декілька показників, але найбільш широко використовують *коефіцієнт готовності* та *коефіцієнт технічного використання*.

Коефіцієнт готовності – імовірність того, що машина буде працездатною у довільний момент часу. Характеризує дві властивості – безвідмовність і ремонтпридатність:

$$K_r = \frac{T_B}{T_B + T_{\text{від}}} \quad (11)$$

де T_B – напрацювання на відмову;
 $T_{\text{від}}$ – середній період відновлення.

При визначенні коефіцієнта K_r період простоїв у технічному обслуговуванні, ремонтах та з організаційних причин не враховується.

Коефіцієнт технічного використання

Характеризує фактичний термін роботи машини:

$$K_{TB} = \frac{T_o}{T_o + T_{\text{від}} + T_{TO}} \quad (12)$$

де T_o – період працездатного стану;
 $T_{\text{від}}$ – період відновлення;
 T_{TO} – період технічного обслуговування.

2.2.2 Основні характеристики розподілу Вейбулла

Розподіл Вейбулла – двопараметричний закон розподілу випадкового напрацювання до відмови з параметрами: λ_0 , що визначає масштаб, і k , що визначає асиметрію. Розподіл Вейбулла широко використовується для визначення показників надійності ТС, при дослідженні їх міцності і довговічності. Ним описується інтенсивність відмов на всьому проміжку експлуатації ТС.

Розподіл Вейбулла був отриманий емпірично в результаті аналізу великої кількості розподілів ресурсів і відповідає ситуації руйнування самої слабкої ланки (елемента) з деякої сукупності (системи, яка складається з окремих елементів).

Розподіл Вейбулла характеризується такими функціями (рис. 3):

- ймовірністю безвідмовної роботи:

$$P(t) = e^{-t^m/t_0} \quad (13)$$

- інтенсивністю відмов:

$$\lambda(t) = (m/t_0) t^{m-1} \quad (14)$$

- щільністю розподілу:

$$f(t) = \frac{m}{t_0} t^{m-1} e^{-t^m/t_0} \quad (15)$$

Розподіл Вейбулла також має два параметри: параметр форми $m > 0$ і масштабний параметр $t_0 > 0$.

Математичне сподівання і середнє квадратичне відхилення визначають відповідно:

$$m_t = B_m t_0^{1/m}; \quad S_t = C_m t_0^{1/m} \quad (16)$$

де B_m і C_m - коефіцієнти.

Якщо протягом певного часу t' відмови не відбуваються, то імовірність безвідмовної роботи визначають за формулою:

$$P(t) = e^{-(t-t')^m/t_0}$$

Іноді характеристики розподілу Вейбулла записують з використанням інших позначень. Наприклад, імовірність безвідмовної роботи можна подати так:

$$P(t) = e^{-(t/a)^b}$$

де $b = m$ і $a = t_0^{1/m}$

Можливості та універсальність закону Вейбулла очевидні з рис. 3.

При $m < 1$ функції $\lambda(t)$ і $f(t)$ спадаючі.

При $m = 1$ розподіл перетворюється на експоненціальний з $\lambda(t) = \text{const}$ і $f(t)$ — спадна функція.

Якщо $m > 1$ функція $f(t)$ має вершину, як у логарифмічно нормальному розподілі, то функція $\lambda(t)$ є безперервно зростаючою і при $1 < m < 2$ випуклою, а при $m > 2$ — увігнутою.

За умови $m = 2$ функція $\lambda(t)$ лінійна у розподілі Вейбулла перетворюється на відомий розподіл Релея.

Якщо $m = 3,3$, то розподіл Вейбулла близький до нормального.

Графічне оброблення результатів випробувань з використанням розподілу Вейбулла проводять у такому порядку:

- логарифмують функцію надійності $\lg P(t) = -t^m/t_0 \cdot 0,4343$;
 - вводять позначення $y = -\lg P(t)$;
 - логарифмують $\lg y = -m \lg t - A$;
- де $A = \lg t_0 + 0,362$.

Відклавши результати випробувань на графіку з координатами $\lg t - \lg y$ (рис. 3) і, з'єднавши отримані точки прямою, матимемо $m = \operatorname{tg} \alpha$; $\lg t_0 = A - 0,362$, де α - кут нахилу прямої до осі абсцис; A - відрізок, який відсікає пряма на осі ординат.

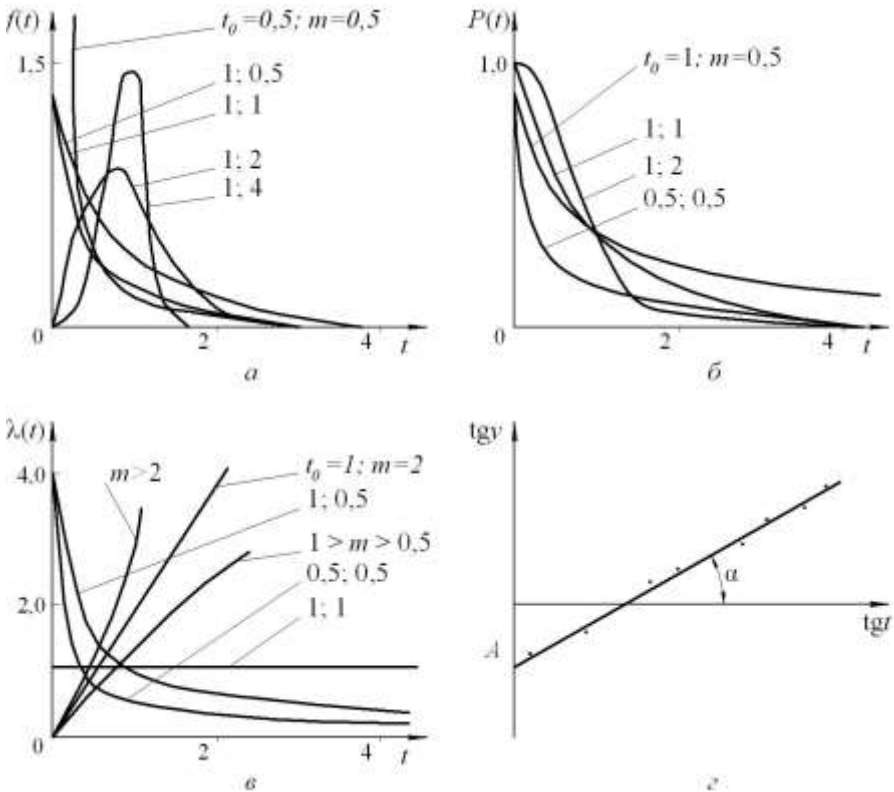


Рис. 3. Характеристики розподілу Вейбулла:

a – щільність розподілу; b – функція надійності; $в$ – інтенсивність відмов; $г$ – графічне визначення параметрів розподілу

Розподіл Вейбулла досить універсальний. Він задовільно описує напрацювання до відмови деталей машин, які руйнуються від втоми. Розподіл Вейбулла є досить гнучкою функцією, здатною добре вирівнювати різноманітну статистику відмов, і може бути моделлю відмов, в основному, – механічних виробів.

Приклад. Випадкове напрацювання виробу повністю розподілене згідно із законом Вейбулла з параметрами $\alpha = 2$, $\lambda = 10^{-6}$. Знайти ймовірність безвідмовної роботи виробу при заданому напрацюванні $T_\gamma = 300$ годин та знайти напрацювання повністю при ймовірності безвідмовної роботи 99 %.

Рішення:

Використовуємо формулу для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи при розподілі Вейбулла

$$P(300) = e^{-\lambda \cdot T_\gamma^\alpha} = e^{-10^{-6} \cdot 300^2} = e^{-10^{-6} \cdot 9 \cdot 10^4} = 0,9139.$$

Отже, ймовірність безвідмовної роботи протягом 300 годин складає 91,39%.

Використовуємо рівняння ймовірності безвідмовної роботи:

$$P(t) = 1 - F(t) = e^{-\lambda t^\alpha}.$$

$$0,99 = e^{-10^{-6} \cdot T_{99\%}^2} \text{ звідки } \ln 0,99 = -10^{-6} \cdot T_{99\%}^2$$

отже

$$T_{99\%} = \sqrt{\frac{\ln 0,99}{-10^{-6}}} = 100 \text{ годин.}$$

2.3 Завдання для самостійного вирішення

Засвоївши теоретичний матеріал, вирішити наступну задачу.

Випадкове напрацювання виробу повністю розподілене згідно із законом Вейбулла з параметрами $\alpha = 3$, $\lambda = 10^{-6}$. Знайти ймовірність безвідмовної роботи виробу при заданому напрацюванні $T_\gamma = 200$ годин та знайти напрацювання повністю при ймовірності безвідмовної роботи 98 %.

2.4 Хід проведення

2.4.1 Перевірка викладачем самостійної підготовки студентів до практичної роботи (наявність письмових відповідей на надані питання).

2.4.2 Викладач знайомить студентів з метою, змістом даної роботи та вимогами до захисту.

2.4.3 Вивчити процеси, які виникають при експлуатації технологічних систем; модель формування відмов технічних виробів; властивості та показники надійності об'єктів.

2.4.4 Ознайомитись з фізичною сутністю відмов технічних виробів.

2.4.5 Провести розрахунок показників надійності технологічних систем, які підпорядковуються закону розподілу Вейбулла.

2.4.6 Самостійне опрацювання студентами теоретичних відомостей з даної теми та оформлення звіту.

2.4.7 Захист практичної роботи за допомогою тестів наприкінці заняття, при умові правильного оформлення звіту.

2.5 Після виконання роботи, студент складає звіт, який вміщує дані:

1. Найменування, номер та мету роботи;
2. Процеси, які виникають при експлуатації технологічних систем;
3. Фізична модель формування відмов технічних виробів;
4. Основні характеристики розподілу Вейбулла;
5. Розрахунок показників надійності технологічних систем, які підпорядковуються закону розподілу Вейбулла.

Пункти 1-2 студент виконує самостійно, як підготовку до практичних занять.

2.6 Контрольні запитання

2.6.1. Фізична сутність відмов технічних виробів.

2.6.2. Модель формування відмов.

2.6.3. Властивості та показники надійності об'єктів.

2.6.4. Комплексні показники надійності.

2.6.5. Закон розподілу Вейбулла.

2.6.6. Параметри, якими характеризується закон розподілу Вейбулла.

ДОДАТОК А

(довідковий)

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.1).

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.



Рис.1. Процеси, які виникають при експлуатації 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 ТО і Р, скорочення втрат робочого часу, але й через підвищення рівня організаційної та технічної культури центрів ТО і Р, удосконалення технології та організації виробництва.

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.2):

- 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.

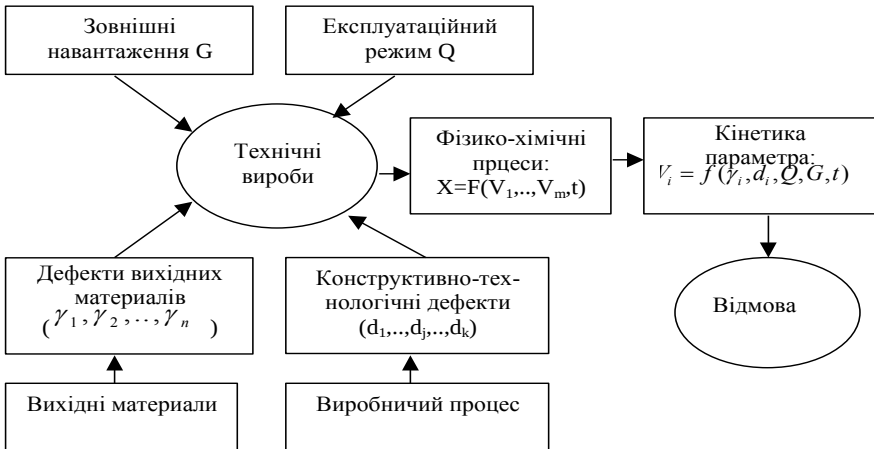


Рис.2. Фізична модель формування відмов технічних виробів

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 втомлісних пошкоджень, наявність виробничо-технологічних дефектів, місцевих концентраторів пошкоджень, неоднорідність матеріалів, тріщини, невідповідність фактичних умов та навантажень розрахунковим допустимим значенням.

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, поломок, 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 порошків, 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.