

Лисогор В. М.

Веселовська Н. Р.

Зелінська О. В.

Вінницький  
національний  
аграрний  
університет

УДК 62-192:621.928:330.131.5

## КЛАСИФІКАЦІЯ ОЦІНОК НАДІЙНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ СПОСОБІВ СЕПАРУВАННЯ ВОЛОГИХ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Дополнены и расширены подходы классификации известных методов оценок надежности и эффективности способов сепарирования влажных дисперсных материалов с использованием оборудования вибрационных, виброударных устройств, которые обеспечили возможность получения цифровых характеристик разработанной системы.*

*Complement and extend the known methods of classification approaches estimates reliable and effective means of separation of wet particulate materials using vibrating equipment, vibro devices that made it possible to obtain digital characteristics of the developed system.*

**Вступ.** Відомі опубліковані монографії, статті, інтернет-ресурси з досліджуваної тематики. У монографії [1] розглядаються питання використання вібрацій, ударів, де визначені переваги, недоліки існуючих типів віброприводів; вони можуть бути використані для підвищення ефективності процесів розвантаження транспортних засобів, також наведено теоретичне та експериментальне дослідження динаміки робочого циклу гідравлічного віброударного привода для вище вказаного цільового призначення. У [2] розкрита висока ефективність вібраційних та віброударних впливів при реалізації процесів формування заготовок виробів з непластичних порошкових матеріалів, яка доведена на підставі теоретичних та експериментальних досліджень. У статті [3] наведений аналіз способів сепарування вологих дисперсних матеріалів та обладнання для їх реалізації. У монографії [4] розкрита ефективність автоматичного та автоматизованого управління хіміко-технологічними процесами потенційно небезпечних об'єктів. Інтернет-ресурс розкриває зміст методики оцінки і розрахунку надійності пристроїв ймовірностатистичними підходами, які мають обмежені числові вибірки, а це є достатньо актуальною задачею для об'єктів [1,2,3].

### **Мета публікації.**

Запропонувати і розробити класифікацію відомих методів оцінок надійності та

ефективності способів сепарування вологих дисперсних матеріалів, що використовують обладнання вібраційних, віброударних пристроїв; особливу увагу привернути на отримання цифрових значень та меж зміни цих оцінок.

### **Матеріали основного результату класифікації.**

Згідно літературного джерела [3] структурна класифікація має п'ять методів сепарування: механічний, електричний, термічний, хімічний, біологічний. При чому, зміст публікації розкриває безпосередньо технологічні процеси сепарування вологих дисперсних матеріалів та обладнання для їх реалізації.

На рисунку 1 представлена структурна модель способів та обладнання сепарування вологих дисперсних матеріалів.

Включивши у зміст питання оцінок надійності та ефективності, класифікація буде більш розширеною та повною.

Почнемо послідовно розглядати основні показники надійності та ефективності з наголосом на отримання чисельних оцінок. Як відомо із загальної теорії, ймовірність безвідмовної роботи є такою

$$P(t) = 1 - Q(t) \quad (1)$$

де  $Q(t)$  – ймовірність того, що в межах заданої продовжності роботи відмова виникне.

Згідно визначенню маємо



$$P(t) = R(T \geq t); Q(t) = R(T \leq t) \quad (2)$$

де  $R(\cdot)$  - символ будь-якої події,

$T$  – час роботи системи до відмови,

$t$  – час роботи системи, для якої визначається надійність.

визначенню теорії ймовірностей функцією розподілення  $F(x)$  випадкової величини  $\xi$  назвемо ймовірність того, що величина  $\xi$  прийме значення менше, чим деяка величина  $x$ , тобто

$$F(x) = R(\xi < x) \quad (3)$$

При статистичній оцінці емпірична ймовірність відсутності відмови визначимо як відношення

$$P_E(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = \frac{N_0}{N_0} - \frac{n(t)}{N_0} = 1 - \frac{n(t)}{N_0} = 1 - \frac{n(t)}{N_0} = 1 - Q_E(t) \quad (4)$$

де  $N_0$  – кількість вузлів, що випробовуються,  $n(t)$  – кількість вузлів, що відмовили за час  $t$ .

Порівнюючи вирази (4) та (1) бачимо, що вони схожі по своїй структурі, а по зовнішньому вигляду-співпадають. Зі збільшенням кількості випробувальних вузлів  $N_0$  емпіричні оцінки  $Q_E(t)$  будуть асимптотично наближатись до  $Q(t)$ .

Початкові умови функцій  $P(t)$  та  $Q(t)$  - з однієї сторони,  $P_E(t)$  та  $Q_E(t)$  з іншої сторони, задовольняють вимогам:

$$P(0) = 1, Q(0) = 0; P_E(0) = 1, Q_E(0) = 0 \quad (5)$$

Як всяка безперервна функція, ймовірність відмови  $Q(t)$  диференційована при усіх значеннях аргументу. В теорії ймовірностей похідна функції розподілення носить назву щільності розподілення, тобто:

$$f(x) = dF(x) / dx \quad (6)$$

де  $f(x)$  щільність розподілення ймовірностей випадкової величини  $\xi$ .

Для наших потреб аналізу надійності щільності розподілення часу роботи вузла до відмови назвемо частотою відмов  $a(t)$ , яка буде мати вид

$$dQ(t) / dt = -dP(t) / dt = dt \quad (7)$$

Інакше, вирази для оцінки відмови  $Q(t)$  та безвідмовної роботи вузла приймуть вид:

$$Q(t) = \int_0^t a(t)dt; P(t) = 1 - \int_0^t a(t)dt \quad (8)$$

По статистичному визначенню частота відмов є відношенням числа вузлів, що відмовили в одиницю часу до числа усіх вузлів, що випробовуються при умовах, що вони не відновлюються та змінюються справними:

$$a_E(t) = n(\Delta t) / N_0 \Delta t \quad (9)$$

тут  $n(\Delta t)$  - кількість вузлів, що відмовили в інтервалі часу  $\Delta t$ .

Типова крива залежності частоти від часу представимо рис. 1.

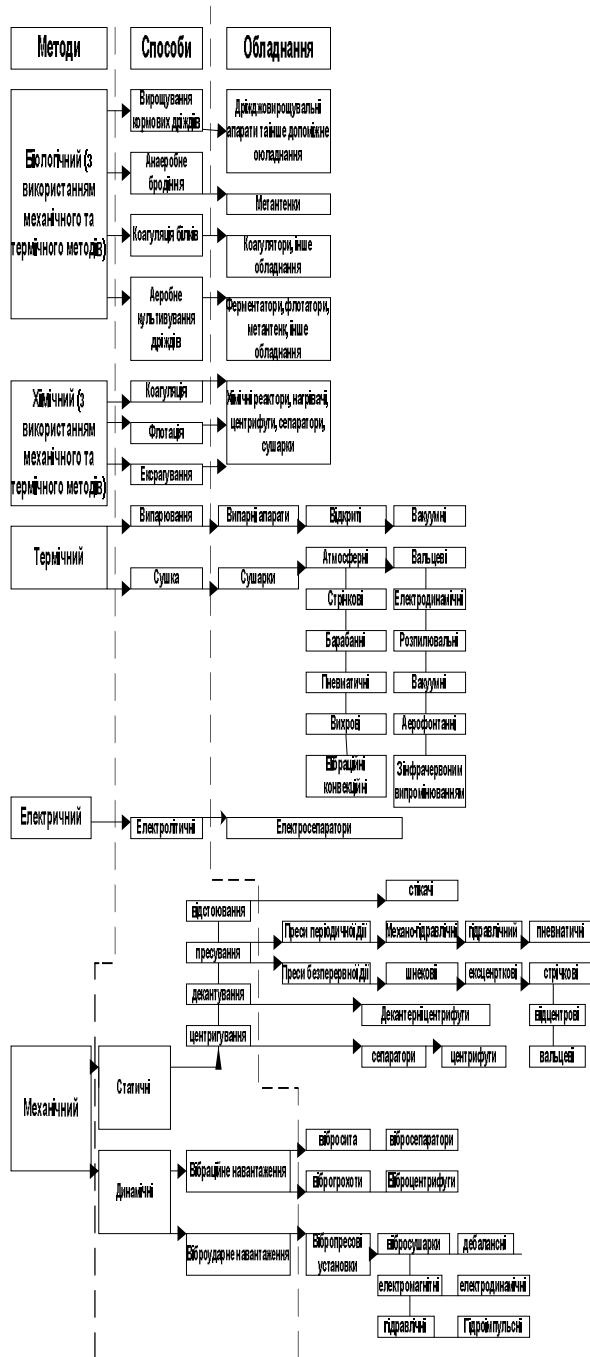


Рис. 1. Структурна модель способів та обладнання сепарування вологих дисперсних матеріалів

Будемо паралельно використовувати, як теорію так і математичну статистику. По



Рис. 1. Типова залежність частоти відмови від часу t

Проміжок прироблення 1 обумовлений великою кількістю відмов на початку вузла по причині грубих дефектів елементів вузла, помилок обслуговуючого персоналу та ін. Період прироблення будемо зменшувати за рахунок використання методів тренування та лабораторних випробувань.

Проміжок випадкових відмов 2 характеризує нормальну роботу вузла. Відмови на цьому проміжку мають в основному несподіваний характер.

Проміжок 3 визивається зносом вузла, коли внаслідок старіння елементів поступово зростає частота відмов.

Для нас важливою позицією є визначення інтенсивності відмов, яка є умовною щільністю розподілення часу відмови, що представляє миттєву частоту відмов вузла у момент часу t при умові відсутності відмов до цього моменту.

Спочатку визначимо емпіричну статистичну інтенсивність у вигляді

$$\lambda_E(t) = n(\Delta t) / N_{cep} \cdot \Delta t, \quad (10)$$

де  $N_{cep} = (N_i + N_{i+1}) / 2 = N_0 - n(\Delta t)$  – середня кількість справних вузлів в інтервалі часу  $\Delta t$ ;

$N_i, N_{i+1}$  – кількість вузлів на початку та в кінці проміжку часу  $\Delta t$ .

Імовірнісне представлення інтенсивності  $\lambda(t)$  отримаємо, використовуючи основні визначення теорії ймовірностей, замінивши  $n(\Delta t)$  його значеннями у вигляді

$$\lambda(t) = a(t) / P(t) = -dP(t) / dt \cdot \frac{1}{P(t)} \quad (11)$$

У відповідності зі сказаним уточнимо значення  $P(t), Q(t), a(t)$ , з врахуванням умов (7), (8):

$$\begin{cases} P(t) = \exp(-\int_0^t \lambda(t) dt) \\ Q(t) = (1 - \exp(-\int_0^t \lambda(t) dt)) \\ a(t) = \lambda(t) \exp(-\int_0^t \lambda(t) dt) \end{cases} \quad (12)$$

Тепер визначимо середній час відсутності відмови  $T$ , або математичного сподівання часу роботи вузла до відмови:

$$T = \int_{-\infty}^{+\infty} t a(t) dt \quad (13)$$

Підставляючи у вираз (13) значення  $a(t)$ , проінтегрувавши по частинам та врахувавши, що  $P(0) = 1, P(\infty) = 0$ , а час не може бути від'ємним отримаємо

$$T = -\int_{-\infty}^{+\infty} t P'(t) dt = -t P(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (14)$$

З урахуванням (12) отримаємо

$$T = \int_0^{\infty} \exp(-\int_0^t \lambda(t) dt) dt \quad (15)$$

Визначимо середній час відсутності відмови із статистичних даних

$$T_E = \sum_{i=1}^{N_0} t_i / N_0, \quad (16)$$

де  $t_i$  – час роботи  $i$ -го пристрою до виникнення відмови.

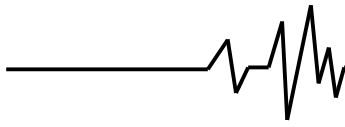
Ця кількісна характеристика достатньо важлива так як дозволяє наглядно судити про надійність вузла.

На заключному етапі визначимо дисперсію та СКВ часу виникнення відмови  $D(t)$  та  $\sigma(t)$ :

$$D(t) = \int_0^{\infty} (t - T)^2 a(t) dt \quad (17)$$

$$\sigma(t) = \sqrt{D(t)} \quad (18)$$

Для визначення теоретичних положень (1)-(18) існує можливість використати практичні напрацювання накопичених статистичних джерел [5]. У нас повинно бути три таблиці. Пронумеруємо так:



1. Оцінки інтенсивності відмов  $\lambda(t)$  (10),(11) розповсюджених електронних та електричних елементів матимуть такий вигляд:

**Таблиця 1**  
**Класифікація інтенсивностей  $\lambda(t)$  елементів сепарування**

№ п/п	Найменування елемента	Інтенсивності відмов, $\cdot 10^{-5}$ /час
1	Вентиль	0,0001...1,5
2	Двопозиційний розподільник	0,001...16,4
3	Гідроциліндр	0,002...6,4
4	Пружина	0,002...4,4
5	Модуль пружності	0,05...101
6	Запобіжний клапан	0,012...50
7	Фільтр	0,01...90
8	Вібробуджувач	0,0003...2,8
9	Нагнітальна гідролінія	0,001...1
10	Насос	100...600
11	З'єднуючі трубки	0,01...1
12	Дисперсний матеріал	50...300

Надійність обладнання сепарування вологих дисперсних матеріалів характеризуються потоком відмов  $\Lambda$ , які чисельно дорівнюють сумі інтенсивностей відмов окремих пристроїв:

$$\Lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (19)$$

По формулі (19) розрахуємо потік відмов окремих вузлів та елементів обладнання [3].

Формула (19) справедлива для розрахунку потоку відмов вузлів, що мають  $n$  елементів у випадку, коли відмова будь-якого з них призводить до відмови усієї системи в цілому. Таке з'єднання елементів назвемо логічно послідовним або основним. Окрім цього ми будемо розглядати також логічно паралельні з'єднання, коли вихід з ладу одного з них не призводить до відмови системи у цілому. Зв'язок ймовірності безвідмовності роботи  $P(t)$  і потоку відмов визначимо так:

$$P(t) = \exp(-\Delta t), \quad 0 < P(t) < 1; \quad p(0) = 1; \quad (20)$$

$$p(\infty) = 0$$

2. В практичних розрахунках надійності існують труднощі отримання оцінок інтенсивності відмов у зв'язку з відсутністю

достовірних даних для значної частини елементів, вузлів, пристроїв обладнання сепарування вологих дисперсних матеріалів [3]. Вихід із цього положення нам дасть використання коефіцієнтного методу [5,6]. Сутність коефіцієнтного методу полягає у тому, що при розрахунку надійності вузлів використовують не абсолютні значення інтенсивності відмов  $\lambda_i$ , а коефіцієнт надійності  $k_i$ , що зв'язує значення  $\lambda_i$  з інтенсивністю відмов базового елемента  $\lambda_B$ . У цьому випадку побудуємо наступну таблицю.

**Таблиця 2**

**Зв'язок значень  $\lambda_i$  зі значеннями інтенсивності базового елемента  $\lambda_B$**

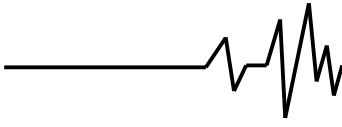
№п/п	Найменування елемента	Коефіцієнт надійності
1	Вентиль	1,0
2	Двопозиційний розподільник	0,25...0,83
3	Гідроциліндр	1,3...3,0
4	Пружина	1,0...2,0
5	Модуль пружності	1,0...10,0
6	Запобіжний клапан	1,3...30,0
7	Фільтр	1,3...75,0
8	Насос	10,0...40,0

3. Визначення меж розбіжності коефіцієнтів навантажень класифікаційних ознак параметрів вузлів та пристроїв вібраційних і віброударних технологій є заключним в оцінках їх чисельних значень, представлені таблицею 3.

**Таблиця 3**

**Межі зміни коефіцієнтів навантаження електронних елементів сепарування**

№ п/п	Найменування елемента	Коефіцієнти навантаження
1	Вентилі по тиску по потужності	0,7...0,8 0,8...0,9
2	Двопозиційний розподільник по тиску по потужності	0,7...0,8 0,7...0,8
3	Запобіжні клапани по прямому потоку по втратах в потоці по відхиленнях температур	0,7...0,8 0,7...0,85 0,7...0,8
4	Фільтри по тиску по забиванню по розсіюванні потужності	0,7...0,8 0,7...0,8 0,7...0,8



Фактично ми закінчили аналіз класифікації оцінок надійності та ефективності способів сепарування вологих дисперсних матеріалів з обґрунтуванням меж зміни цифрових даних.

### **Висновки**

На терені оцінок надійності та ефективності доповнені та розширені підходи класифікації аналізу відомих способів сепарування вологих дисперсних матеріалів з використанням обладнання вібраційних, віброударних пристроїв, які забезпечили можливість отримання чисельних характеристик розробленої системи.

### **Література**

1. Іскович-Лотоцький Р.Д. Вібраційні та віброударні пристрої для розвантаження транспортних засобів: Монографія / Р.Д. Іскович-Лотоцький, Я.В. Іванчук. -Вінниця: ВНТУ, 2012.-156с.
2. Іскович-Лотоцький Р.Д. Процеси та машини вібраційних віброударних технологій:

Монографія. / Р.Д. Іскович-Лотоцький, Р.Р. Обертюх, І.В.Севастьянов.– Вінниця.: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006-291с.

3. Іскович-Лотоцький Р.Д. Аналіз способів сепарування вологих дисперсних матеріалів та обладнання для їх реалізації./ Р.Д. Іскович-Лотоцький, І.В. Севастьянов. // Вісник Національного технічного університету України. «Київський політехнічний інститут». Серія машинобудування №57, 2009.-с.50-55

4. Обновленский П.А. Эффективность автоматического управления химико-технологическими процессами./ П.А. Обновленский, С.В. Егоров, Г.Н. Никищенко. Ленинград.: Машиностроение, 1969,-160с.

5. ГОСТ 16503-70- «Промышленные изделия. Номенклатура и характеристика основных показателей надежности.»

6. ГОСТ 18322-73-«Системы технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения».

7. ГОСТ 13377-75- «Надежность в технике. Термины и определения».

8. ГОСТ 16593-79-«Электроприводы. Термины и определения».