



УДК 62-192

А. Т. Свідерський, к.т.н. доцент КНУБА  
М. М. Делембовський, асистент КНУБА

## ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ВІБРОМАШИН БУДІВЕЛЬНОЇ ІНДУСТРІЇ

**АНОТАЦІЯ:** Робота присвячена розгляду питань підвищення надійності вібромашин будівельної індустрії. Дослідженню підлягали вібромашини, які працюють в гармонійних та резонансних режимах роботи. Таким чином досліджуючи вібромайданчики необхідно визначити та обгрунтувати вибір розподілів щоб описати отримані експериментальні відмови.

**Ключові слова:** нормальний розподіл, логарифмічно нормальний розподіл, експоненціальний розподіл, розподіл Вейбулла, альфа- розподіл, бета- розподіл, гамма-розподіл, дифузійно-монотонний та дефузійно-немонотонний розподіл, рівномірний розподіл, трикутний розподіл, геометричний і гіпергеометричний розподіл, біноміальний розподіл, розподіл Пуассона.

**АННОТАЦИЯ:** Работа посвящена вопросам повышения надежности вибромашин строительной индустрии. Исследованию подлежали вибромашины, работающих в гармоничных и резонансных режимах работы. Таким образом исследуя виброплощадки необходимо определить и обосновать выбор распределений чтобы описать полученные экспериментальные отказы.

**Ключевые слова:** нормальное распределение, логарифмически нормальное распределение, экспоненциальное распределение, распределение Вейбулла, альфа-распределение, бета-распределение, гамма-распределение, диффузионно-монотонный и дефузийно-немонотонный распределение, равномерное распределение, треугольный распределение, геометрический и гипергеометрический распределение, биномиальное распределение, распределение Пуассона.

**ANNOTATION:** The work is devoted to the issues of improving the reliability vibromachines construction industry. The study covered vibration, working in harmony and resonance modes. Thus exploring vibromaydanchyky must identify and justify choice of distributions in order to describe the obtained experimental failure.

**Keywords:** normal distribution, lognormal distribution, exponential distribution, Weibull distribution, the distribution of alpha-, beta-distribution, gamma distribution, diffusion-monotone and non-monotone defuziyno-distribution, uniform distribution, triangular distribution, geometric and hypergeometric distribution, binomial distribution, the Poisson distribution.

**Постановка проблеми.** Вібраційні машини широко використовуються в будівельній індустрії при виготовленні бетонних та залізобетонних виробів. Ефективність їх роботи в значній мірі залежить від достатньо конкретного врахування діючих сил системи та надійність роботи елементів вібромашин. На даний момент часу практично відсутні роботи по розробці методів оцінки надійності вібромашин в різних режимах їх роботи. Однак, практика експлуатації вібромашинбудіндустрії засвідчує частий вихід із ладу деталей та вузлів цих машин, що значно знижує їх робото здатність в передбачених технологією режимів роботи. В результаті такого положення відформовані вироби можуть бути бракованими. Тому неспівпадання розрахунків обумовлене неточними моделями, що відображають даний робочий процес.

**Аналіз та результати досліджень.** Важливе наукове і практичне завдання є підвищення якості і надійності вібромашин, а також ефективності їх експлуатації. Відмови вібромашин і обладнання виникають під впливом різноманітних факторів: діючих навантажень, агресивного середовища, несвоєчасного та неякісного технічного обслуговування і ремонту, помилок обслуговуючого персоналу та ін., внаслідок чого деталі і вузли піддаються зношуванню, деформації, утомленим впливам. Оскільки кожний фактор у свою чергу залежить від багатьох причин, то відмови елементів вібромашин відносяться до випадкових подій, а тривалість роботи до виникнення відмови - до випадкових величин. З теорії надійності відомо декілька десятків розподілів, за допомогою яких можливо описати отримані експериментальні данні відмов: нормальний, логарифмічно нормальний,

експоненціальний, Вейбулла, альфа-, бета- і гамма-розподіли, дифузійно-монотонний і дифузійно-немонотонний розподіли, рівномірний, трикутний, геометричний і гіпергеометричний, біноміальний, від'ємний біноміальний, поліноміальний, Гумбеля типу I, Пуассона, Релея та інші [5,6,7,8,9,10,11]. Вибір моделі відмов проводять на основі аналізу статистичних даних напрацювання до відмови. Однак не менш важливими стають інші вимоги: фізичність, яка враховує фізичну природу відмов; адекватність, тобто здатність достатньо точно описувати різні форми розподілів з будь-якими реальними значеннями коефіцієнту варіації, асиметрії і ексцесу; можливість виконання розрахунків надійності системи та її елементів; універсальність, яка полягає у багатообразності вирішуваних задач і, зокрема, здатності до операції згортки; практична придатність, яка включає в себе простоту аналітичних виразів для всіх необхідних характеристик розподілів і оцінки їхніх параметрів, а також зручність їхнього застосування при вирішуванні конкретних задач. Останні вимоги відповідають розподілам, які мають меншу кількість параметрів, а також таким, функції яких представлені широко відомими табульованими функціями.

Аналіз літературних джерел [5,6,7,8,9,10,11] і практика застосування розподілів при дослідженні надійності вібротомашин, що найбільш поширеними є застосування нормального розподілу, розподілу Вейбулла та експоненціального. Саме їх і покладено в основу розробки методики прогнозування часу напрацювання деталей та вузлів вібротомашин до відмови. Розглянемо основні особливості перелічених розподілів.

При нормальному розподілі випадкова величина теоретично може приймати будь-яке значення від  $-\infty$  до  $+\infty$  [12]. Оскільки час не має від'ємних значень, можливі значення випадкового часу безвідмовної роботи можуть бути тільки позитивними. Тому кількісні характеристики надійності розглядаються лише для усіченого нормального розподілу. Усічений нормальний розподіл випадкової величини виходить із нормального розподілу при обмеженні інтервалу можливих значень цієї величини. Характерним для нього є те, що інтенсивність відмов починається з нуля і зі збільшенням часу суттєво зростає, що свідчить про те, що потік відмов не є стаціонарним і має місце старіння елементів. В області малих значень часу старіння елементів несуттєво впливає на надійність, тому ймовірність безвідмовної роботи елементів машин зменшується незначно. Після тривалої експлуатації вібротомашини, відмови елементів якої мають нормальний розподіл, її надійність швидко зменшується, тому ймовірність безвідмовної роботи знижується.

Нормальний закон застосовується при поступовій зміні параметрів чи у тому випадку, коли частка раптових відмов дуже мала, тобто для деталей, які працюють у сприятливих умовах експлуатації. Він притаманний для опису поступових зносних відмов і має два параметри: форми  $t_{cp}$  і масштабу  $\sigma$ .

Точкова оцінка параметрів [12] становить

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}, \quad (1)$$

$$\sigma = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - t_{cp})^2}{N - 1} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

де  $t_i$  - статистичні дані напрацювання на відмову;  
 $N$  - розмір вибірки.



Коефіцієнт варіації  $V$  [12] дорівнює

$$V = \frac{\sigma}{t_{cp}}, \quad (3)$$

Розподіл Вейбулла відповідає ситуації руйнування самої слабкої ланки (елемента) деякої сукупності (системи, що складається з групи елементів), а також є достатньо гнучкою функцією, за допомогою якої добре вирівнювати різноманітну статистику відмов, в основному, механічних об'єктів. В одному з варіантів він також має два параметри: форми  $b$  та масштабу  $\alpha$  і характеризується різноманітністю кривих інтенсивності відмов, при  $b < 1$  вона монотонно убуває, при  $b = 1$  є константою (розподіл Вейбулла переходить в експоненціальний розподіл), при  $b > 1$  інтенсивність відмов монотонно збільшується. При значенні параметра форми  $b = 3,25$  розподіл Вейбулла наближається до нормального розподілу. Розподіл Вейбулла може бути використаний як характеристика зміни надійності елементів машин з часом їх напрацювання.

Оцінки параметрів форми  $b$  та масштабу  $\alpha$  [12] одержують із системи рівнянь

$$\begin{cases} N\alpha - \sum_{i=1}^N t_i^b = 0 \\ \frac{N}{b} + \sum_{i=1}^N \ln t_i - \frac{\sum_{i=1}^N t_i^b \ln t_i}{\alpha} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Перше приближення значення  $b$  [12] можна одержати, вирішуючи систему рівнянь

$$\begin{cases} N\alpha - \sum_{i=1}^N t_i^b = 0 \\ t_{cp} = \alpha^{\frac{1}{b}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right) \end{cases} \quad (5)$$

де  $\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)$  - гамма-функція [9].

Так методом послідовних наближень одержуються параметри форми  $b$  та масштабу

$\sigma$

Коефіцієнт варіації  $V$  дорівнює [12]

$$V = \left[ \frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{b}\right)}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)^2} - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Експоненціальний розподіл характеризується постійною інтенсивністю відмов  $\lambda = \frac{1}{t_{cp}}$  яка є параметром розподілу. Це означає, що ймовірність відмов не залежить

від того, скільки часу пропрацювала деталь до розглянутого моменту часу. Цей розподіл не враховує спрацювання та старіння і застосовується для складних систем, де можлива велика кількість відмов різних елементів із неоднаковою інтенсивністю. Розподіл має максимальну щільність ймовірності в момент включення, що характерно для низької якості виготовлення деталей та складальних одиниць машин, і не передбачає припрацювання деталей та вузлів і їхнє доведення. Експоненціальний розподіл застосовується для аналізу складних систем, які працюють у важких умовах під постійним технологічним навантаженням та кліматичним впливом. У більшості випадків він характерний для

раптових відмов і використовується частіше за інші при аналізі надійності. Розподіл характеризується простими формулами для розрахунку надійності. При  $\lambda = const$  ймовірність безвідмовної роботи деталі протягом заданого часу не залежить від часу роботи, що значно спрощує розрахунки. Оцінка  $t_{cp}$  визначається за формулою (1).

Дифузійно-монотонний і дифузійно-немонотонний розподіли, які відомі у світовій практиці, відповідно, під назвою „розподілу Бірнбаума-Саундерса” і „оберненого розподілу Гауса”, застосовуються, в основному, при дослідженні електронної техніки [7]. Порівняно рідко на практиці використовуються бета - і гамма-розподіли, розподіл Релея та ін. Відсутність точних аналітичних виразів для основних характеристик надійності (математичного очікування, дисперсії та ін.) утруднює практичне використання альфа-розподілу.

#### **Висновки:**

1. Здійснення оцінки існуючих методів оцінки надійності машин динамічної дії.
2. Застосування розглянутих законів розподілу параметрів оцінки надійності потребує зібрання реальних даних напрацювання на відмову.

#### *Література*

1. А.С. Проников. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978 – 592 с.
2. А.С. Проников. Параметрическая надежность машин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002 – 560 с.
3. І.І. Назаренко. Вібраційні машини і процеси будівельної індустрії: Навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2007.
4. І.І. Назаренко. Машини для виробництва будівельних матеріалів: Підручник. – К.: КНУБА, 1999
5. Мкртумян В.С. Обеспечение надежности технологических систем и их элементов // Механизация и эксплуатация оборудования животноводческих ферм и комплексов, Сб. науч. тр./ СибВИМ.- Новосибирск, 1986
6. Аристов А.И., Волков Н.Н. Ремонтпригодность машин. -М.: Машиностроение, 1975.- 368 с.
7. ДСТУ 3004-95 Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними.-Введ. 25.01.1995. - 124 с.
8. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля надежности. - М.: Сов. радио, 1962. - 552 с.
9. Груничев А.С. Таблицы для расчета надежности при распределении Вейбулла.- М.: Изд-во стандартов, 1974. - 64 с.
10. Шор Я.Б., Кузьмин Ф.И. Таблицы для анализа и контроля надежности. - М.: Сов. радио, 1968. - 228 с.
11. ГОСТ 27.005-97. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения. Введ. с 01.01.1999. - М.: Изд-во стандартов, 1999. - 43 с.
12. Справочник по надежности. Т.1 /Пер. с англ., Под ред. Б.Р.Левина. - М.: Мир, 1969. - 339 с.