

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ПОЖЕЖНОЇ ТЕХНІКИ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Розглянуто визначення показників надійності, а саме імовірності безвідмовної роботи та коефіцієнта готовності пожежної техніки методом статистичного моделювання з використанням закону розподілу Вейбулла.

Сучасний стан проблеми. Надійність складних систем залежить від багатьох факторів, але в першу чергу від відмови кожного з елементів, які входять до складу системи. Аналіз працездатності складної системи пов'язаний з визначенням її структури та взаємозв'язків, які і визначають надійне функціонування системи. Вихід з ладу будь якого елемента системи зумовить відмову всієї системи. Згідно із стандартом ДСТУ 2860-94 основними показниками надійності є імовірність безвідмовної роботи та коефіцієнт готовності кожного складового елемента та системи загалом. Результати аналізу існуючих стандартів стосовно пожежно-рятувального обладнання та техніки (ДСТУ 2107-92, ДСТУ 2111-92, ДСТУ 2112-92, ДСТУ 2802-94, ДСТУ 3286-95 та інших), а також науково-технічної та довідникової літератури показали, що для пожежно-рятувального обладнання та техніки відсутні основні показники надійності.

Мета роботи полягає у визначенні основних показників надійності пожежно-рятувального обладнання та техніки методом статистичного моделювання.

Метод статистичного моделювання. Основою будь-якого методу, який базується на статистичному моделюванні, є багаторазова імітація процесів функціонування об'єктів і їх складових. В процесі багаторазового розрахунку параметрів певного закону розподілу встановлено, що отримані показники надійності є випадковими результатами. Кожний отриманий результат розглядається як випадкова реалізація функції розподілу напрацювання. За отриманими результатами моделювання методами математичної статистики у вигляді впорядкованого варіаційного ряду можна визначити вид і параметри функції розподілу напрацювання до відмови.

Вхідними даними для формування в випадкових величин з різними законами розподілу є випадкові числа, які розподілені в інтервалі $[0, 1]$. Ці числа можна отримати за допомогою давача випадкових чисел комп'ютера або з використанням довідкової літератури.

Метод статистичного моделювання для прогнозування надійності доцільно використовувати у випадку аналізу складної пожежної та аварійно-рятувальної техніки з використанням закону розподілу Вейбулла [1].

За законом Вейбулла імовірність безвідмовної роботи може бути визначена як

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{a} \right)^b \right], \quad (1)$$

де t – час виконання роботи (або потрібна кількість виконаних певних операцій, або подолання необхідного шляху переміщення тощо);

a – параметр масштабу, який задається максимально можливим часом роботи (або максимально можливою кількістю виконаних певних операцій, або максимально можливим граничним шляхом переміщення тощо) об'єкта або системи;

b – параметр форми; якщо $b=1$, то розподіл Вейбулла перетворюється в експоненціальний з параметром $\lambda = 1/a = \text{const}$; якщо $b = 2$, то розподіл Вейбулла перетворюється в розподіл Релея з лінійною функцією інтенсивності відмов і якщо $b = 3,3$, то розподіл Вейбулла стає близьким до нормального розподілу.

Для визначення напрацювання до відмови прологарифмуємо залежність (1)

$$\ln R(t) = \ln e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b},$$

звідси

$$t = a \sqrt[b]{-\ln R(t)} \quad (2)$$

Розглянуті закони розподілу напрацювання до відмови є формалізованими описами процесів раптової втрати об'єктами своєї працездатності. Статистична природа цих законів проявляється в тому що аргументи функції розподілу є випадковими величинами і залежать від значного числа факторів. Крім того, не завжди можна експериментально визначити значення цих аргументів, тому що проведення досліджень надійності вимагає великих затрат, або є неможливим на етапі виконання операцій, які пов'язані з ліквідацією пожежі та надзвичайних ситуацій. Тоді для обґрунтування законів розподілу напрацювання до відмови, а також для визначення параметрів встановлених законів, застосовують методи статистичного моделювання [1, 2].

В цьому випадку вважаємо, що імовірністю безвідмовної роботи $R(t)$ є значення випадкового числа X , отримане з інтервалу $[0, 1]$. Для отримання випадкових чисел Y , якими будуть напрацювання до відмови t , необхідно визначити функцію, обернену до $R(t)$, тобто $t = f(R(t))$. Використовуючи залежність (2) та підставляючи в неї замість $R(t)$ випадкові числа X_i , можна статистичним моделюванням визначити:

1) параметри розподілу a і b у випадку, якщо напрацювання t встановлено експериментально;

2) напрацювання t за залежністю (2), якщо параметри розподілу a і b відомі для аналогічних виробів чи систем.

Статистичну оцінку імовірності того, що час безвідмовної роботи t системи не перевищує t_i , визначаємо за залежністю [1].

$$R(t_i) = 1 - \frac{i}{N+1}, \quad (3)$$

де $i = 1; 2; 3; \dots; n$ – цілі числа, які вказують номер проведення числового експерименту; N – загальна кількість проведених числових експериментів (реалізації випадкового процесу).

Для перевірки розподілу отриманих значень у цьому випадку використовують графічний метод з використанням програмного пакета Microsoft Excel, побудови графічної залежності з накладанням на неї лінії Тренда та отриманням рівняння прямої, яка не проходить через початок координат, у вигляді

$$y = bx - c, \quad (4)$$

де b – параметр форми, який дорівнює $\tan \alpha$, тобто тангенсу кута нахилу лінії Тренда до осі X .

Значення c , отримане з рівняння (4), необхідно прирівняти до залежності $b \lg a + 0,362$, тобто $c = b \lg a + 0,362$.

Для розподілу Вейбулла значення залежності $b \lg a + 0,362$ можна отримати на підставі ось чого. Прологарифмуємо залежність (1), тобто

$$\lg R(t) = -\left(\frac{t}{a}\right)^b \lg e,$$

де $\lg e = 0,4343$. Тоді

$$-\lg R(t) = 0,4343 \left(\frac{t}{a}\right)^b. \quad (5)$$

Отриману залежність (5) прологарифмуємо ще раз і отримаємо

$$\lg(-\lg R(t)) = \lg 0,4343 + b \lg t - b \lg a, \quad (6)$$

де $\lg 0,4343 = -0,362$.

Тоді

$$\lg(-\lg R(t)) = -0,362 - b \lg a + b \lg t. \quad (7)$$

В залежності (7) позначимо $0,362 + b \lg a$ через c , тобто

$$c = 0,362 + b \lg a, \quad (8)$$

що і необхідно було довести.

Тоді залежність (7) буде мати вигляд

$$\lg(-\lg R(t)) = b \lg t - c. \quad (9)$$

Залежність (9) є рівнянням прямої лінії та при $\lg t = 0$ ордината буде приймати значення c , а b в цьому рівнянні дорівнює тангенсу кута нахилу цієї прямої до осі абсцис. Тоді значення параметра масштабу можна визначити з урахуванням залежності (8)

$$b \lg a = c - 0,362.$$

З відси значення параметра масштабу a буде

$$a = 10^{\frac{c-0,362}{b}}. \quad (10)$$

На підставі розглянутого методу статистичного моделювання для прогнозування надійності визначимо основні показники надійності складної пожежної та аварійно-рятувальної техніки (табл. 1).

Таблиця 1

Основні види складної пожежної та аварійно-рятувальної техніки [3 - 5].

№ з/п	Назва устаткування	Тип, модель	№ з/п	Назва устаткування	Тип, модель
1.	Двигун та акумулятор	АЦ; АНР; АА; АВ; АП; АКГ; АГВТ;	5.	Шасі та ходова частина	АЦ; АНР; АА; АВ; АП; АКГ; АГВТ;
2.	Коробка передач автомобіля	АЦ; АНР; АА; АВ; АП; АКГ; АГВТ;	6.	Коробка відбору потужності	КВП -68Б КВП-ПМ-102А КВП-107
			7.	Трансмісія приводу пожежного насосу	АЦ, АНР, АА, АВ, АКТ
3.	Карданна передача автомобіля	АЦ; АНР; АА; АВ; АП; АКГ; АГВТ;	8.	Пожежний відцентровий насос	НЦП-15180 ПН-40; 60; 110 НЦПВ-20/200 НЦП-70/100 НЦП-110/100
4.	Редуктор приводу задніх коліс	АЦ; АНР; АА; АВ; АП; АКГ; АГВТ;	9.	Мотопомпа	МП-500 МП-1600 МП-1000 МП-2000

Розглянемо наведену методику для оцінки надійності насосної установки для пожежних автомобілів типу АЦ, АНР, АА, АВ, АКТ при середньому наробітку до відмови в період між ТО-1 і ТО-2 [3, 4]. Для оцінки надійності системи розраховуємо десять ($N=10$) значень напрацювання системи до відмови. Розподіл напрацювання системи приймаємо відповідно до закону Вейбулла з параметрами $a=100$ год, $b=2$ (в цьому випадку розподіл Вейбулла перетворюється в розподіл Релея з лінійною функцією відмов). Результати статистичного моделювання розподілу Вейбулла заносимо до табл. 2.

З таблиці випадкових чисел в інтервалі $[0, 1]$ вибираємо десять випадкових чисел X_i , які дорівнюють імовірності безвідмовної роботи $R_i(t)$. Значення X_i заносимо в рядок 1 табл. 2. Приймаючи $R_i(t) = X_i$, визначаємо напрацювання t_i за залежністю (2) і заносимо в рядок 2 табл. 2. Впорядковуємо отриманий ряд напрацювань і записуємо в рядок 3 табл. 2.

За залежністю (3) визначаємо імовірність безвідмовної роботи $R(t_i)$ і записуємо в рядок 4 табл. 2.

На підставі отриманих даних (рядок 5 і 6) табл. 2 будуємо в системі Microsoft Excel графічну залежність (рис. 1). Через отримані точки проводимо пряму Тренда, рівняння якої буде

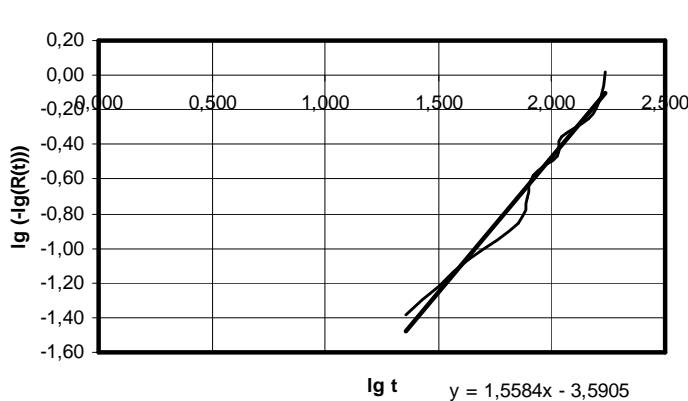
$$y = 1,5584x - 3,5905.$$

Таблиця 2

Результати статистичного моделювання розподілу Вейбулла

№ з/п	$i (N=10)$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Випадкові значення X_i	0,60	0,33	0,55	0,12	0,29	0,50	0,05	0,95	0,07	0,83
2	Напрацювання до відмови t_i , год.	71,47	105,29	77,32	145,61	111,26	83,26	173,08	22,65	163,07	43,17
3	Впорядкований ряд t_i	22,65	43,17	71,47	77,32	83,26	105,29	111,26	145,61	163,07	173,08
4	$R(t_i)$ за залежністю (2.18)	0,909	0,818	0,727	0,636	0,545	0,455	0,364	0,273	0,182	0,091
5	$\lg t_i$	1,854	2,022	1,888	2,163	2,046	1,920	2,238	1,355	2,212	1,635
6	$\lg(-\lg R(t_i))$	-1,38	-1,06	-0,86	-0,71	-0,58	-0,47	-0,36	-0,25	-0,13	0,02

Тангенс кута нахилу прямої Тренда до осі абсцис (рис. 1) відповідає параметру форми розподілу Вейбулла, тобто $b = 1,5584$, а значення $c = 3,5905$. Тоді параметр масштабу розподілу Вейбулла буде



$$a = 10^{\frac{c-0,362}{b}} = 10^{\frac{3,5905-0,362}{1,584}} = 10^{2,04} = 109 \text{ год.}$$

Для визначених значень a і b , з урахуванням середньо статистичного часу гасіння пожежі $t = 1,2$ год (відповідає загальному часу, який складається із часу слідування локалізації та часу ліквідації пожежі), імовірність безвідмовної роботи буде [5, 6, 8]

Рис.1. Залежність розподілу напрацювання системи за законом Вейбулла

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right] = \exp\left[-\left(\frac{1,2}{109}\right)^{1,5584}\right] = 0,999.$$

Визначена імовірність безвідмовної роботи $R(t) = 0,999$ відповідає цьому значенню у випадку, коли коефіцієнт готовності буде дорівнювати

$$K_r(t) = \frac{T_B(t)}{T_B(t) + T_{eid}(t)} = \frac{109}{109 + 4} = 0,96,$$

де $T_B(t) = 109$ год;

$T_{сид}(t) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k t_i = \frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 4 = 4$ год, тобто вважаємо, що до напрацювання $T_e(t) = 109$ год виникне тільки одна відмова; $t_i = 4$ год – час ліквідації відмови [7].

Таким чином, імовірність безвідмовної роботи насосної установки для пожежних автомобілів типу АЦ, АНР, АА, АВ, АКТ дорівнює $R(t)=0,999$ при коефіцієнті готовності цієї системи $K_r(t) = 0,96$.

Аналогічно були визначенні значення імовірності безвідмовної роботи та коефіцієнти готовності для основних видів складної пожежної та аварійно-рятувальної техніки, яка наведена в табл.1. Результати цих розрахунків наведені в табл.3.

Таблиця 3

Імовірність безвідмовної роботи та коефіцієнт готовності для складної пожежної та аварійно-рятувальної техніки

№ з/п	Назва устаткування	Тип, модель	Середній наробіток до відмови		Середній наробіток в процесі гасіння пожежі		Імовірність безвідмовної роботи $R(t)$	Коефіцієнт готовності K_r
			Одиниця виміру	Значення	Одиниця виміру	Значення		
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
1	Двигун та акумулятор	АЦ; АНР; АА; АВ; АП; АКГ; АГВТ;	км	5000	км	60	0,999	0,87
2	Коробка передач автомобіля	АЦ; АНР; АА; АВ; АП; АКГ; АГВТ;	км	5000	км	60	0,999	0,87
3	Карданна передача автомобіля	АЦ; АНР; АА; АВ; АП; АКГ; АГВТ;	км	5000	км	20	0,999	0,88
4	Редуктор приводу задніх коліс	АЦ; АНР; АА; АВ; АП; АКГ; АГВТ;	км	5000	км	20	0,999	0,88
5	Шасі та ходова частина	АЦ; АНР; АА; АВ; АП; АКГ; АГВТ;	км	5000	км	20	0,999	0,88
6	Коробка відбору потужності	КВП -68Б КВП-ПМ-102А КВП-107	год	100	год	1,2	0,999	0,88
7	Трансмсія приводу пожежного насоса	АЦ, АНР, АА, АВ, АКТ	год	100	год	1,2	0,999	0,88
8	Пожежний відцентровий насос	ПН-40; 60; 110	год	150	год	1,2	0,999	0,88
9	Пожежний відцентровий насос	НЦП-15180 НЦПВ-20/200 НЦП-70/100 НЦП-110/100	год	100	год	1,2	0,999	0,88
10	Мотопомпа	МП-500 МП-1600 МП-1000 МП-2000	год	100	год	1,2	0,999	0,88

Проведені дослідження з визначання показників надійності пожежної техніки методом статистичного моделювання дозволили зробити такі **висновки**:

1. Запропонований метод визначення показників надійності дозволяє визначати імовірність безвідмовної роботи та коефіцієнт готовності основної пожежної та аварійно-рятувальної техніки, яка використовується на відповідних технологічних операціях. Тому ці показники надійності необхідно враховувати при проведенні бойових дій з гасіння пожежі.

2. Основним показником надійності ремонтпридатної пожежної та аварійно-рятувальної техніки є коефіцієнт готовності, на значення якого впливає, в першу чергу, час, який витрачається на ліквідацію відмови (ремонт) та середнє напрацювання на відмо-

ву. Для пожежної та аварійно-рятувальної техніки значення коефіцієнта готовності коливається в межах від 0,87 до 0,88.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дзюба Л.Ф., Зима Ю.В., Лютий Є.М. Основи надійності машин. - Львів: Логос, 2002. – 204с.
2. Надежность и эффективность в технике // Справочник в 10 т. Т.7 //Под редакцией И.В. Апполонова .- М.: Машиностроение, 1989. – 280с.
3. Пожежна техніка. Автомобілі гасіння ДСТУ 3286-95 (ГОСТ 26938-95)
4. Насоси пожежні відцентрові ДСТУ 3687-98
5. Бут В.П., Л. Б. Куциций, Б.В. Болібрух, Практичний посібник з пожежної тактики. – Л.: СПОЛОМ, 2003. – 122с.
6. Справочник руководителя тушения пожара/В.П. Иванников, П.П. Ключ – М.: Стройиздат, 1987. – 110с.
7. Яковенко Ю.Ф., Кузнецов Ю.С. Техническая диагностика пожарных автомобилей .- М.: Стройиздат, 1989. с. 289
8. Огляд стану організації пожежегасіння, пожежно-рятувальних робіт, застосування пожежної та спеціальної техніки пожежно-рятувальними підрозділами МНС України у 2005 році // Звіт відділу пожежегасіння і пожежно-рятувальних робіт Департаменту цивільного захисту населення і територій МНС України, 2006. – 31 с.