

6. Слагін Г.І., Шкарабура М.Г., Кришталь М.А., Тищенко О.М. *Основи теорії розвитку та припинення горіння.* - Черкаси: ЧПБ, 2001.
7. Іванников В.П., Ключ П.П., «Справочник руководителя тушения пожара» - Москва: Стройиздат, 1987.
8. Я.С.Повзик, П.П.Ключ, А.М.Матвейкин. *Пожарная тактика.* - М: Стройиздат, 1990.
9. *Пожарная техника. В 2-х ч. Ч.1. Пожарно-техническое оборудование* / А.Ф. Иванов, П.П. Алексеев, М.Д. Безбородько и др. - М.: Стройиздат, 1988.
10. *Каталог-справочник. Пожарная техника* / Дзикас Н.М., Москва, 1970.
11. *Katalog firmy PROTEKTA/ Warszawa, 2004.*

УДК 614.843(075.32)

*Е.М.Гуліда, д. т. н. професор, І.О. Мовчан, Л.Ф. Дзюба, к.т.н., доцент
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

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.

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 $\lambda = 1/a = const$; 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 $\operatorname{tg} \alpha$, 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.

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

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. Приймавши $R_i(t) = X_i$, 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

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

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

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

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

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

де $T_B(t) = 109$ год;

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

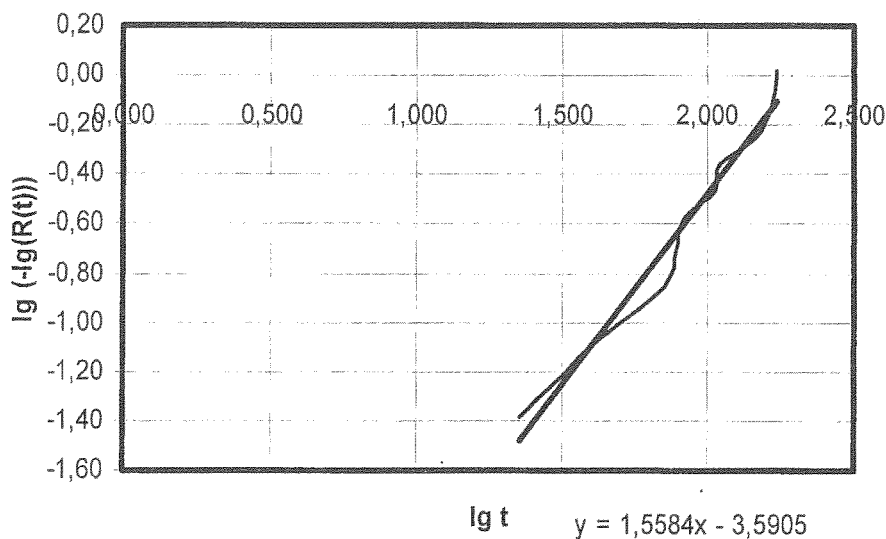


Рис.1. Залежність розподілу напрацювання системи за законом Вейбулла

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

ЛІТЕРАТУРА

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. Кюос* - 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.*

УДК 621.01

*І.М.Ольховий, к.т.н., доцент, Л.Ф.Дзюба, к.т.н., доцент
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЙМОВІРНОСТІ НЕНАСТАННЯ ГРАНИЧНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЇ

Розглядається питання оцінки надійності осесиметричного циліндричного резервуара великої ємності, що знаходиться під дією внутрішнього тиску. Надійність конструкції ємності оцінюється за критерієм міцності величиною ймовірності ненастання граничного стану.

Актуальність задачі. Для уникнення техногенних катастроф та збереження довкілля конструкції резервуарів великої ємностей для зберігання рідин та посудин високого тиску, що використовуються в хімічній та нафтопереробній промисловості, повинні бути високо надійними. Зазвичай надійність за критерієм міцності таких конструкцій оцінюється за допомогою допустимих напружень або запасів міцності [1]. В першому випадку надійність вважається забезпеченою, якщо виконується умова міцності