

Марина Олександрівна Слюсаренко

Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ, Україна

## СПОСІБ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БЕЗВІДМОВНОСТІ НА ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ ЗРАЗКА ТЕХНІКИ

Аналіз заводських та полігонних випробувань техніки свідчить, що існує невідповідність, яка виникає між потрібною безвідмовністю зразків техніки та значно низькою безвідмовністю цих зразків, яка спостерігається при експлуатації. Однією з причин такої розбіжності є недоліки методів математичного моделювання безвідмовності, які існують сьогодні. Сучасні методи не завжди враховують найважливіші фактори, що впливають на стан цих зразків у певних умовах застосування.

Для того, щоб зменшити цю розбіжність запропонований спосіб моделювання параметрів безвідмовності на етапі проектування зразка техніки. У дослідженні використані основні положення теорії надійності.

Урахування таких факторів як агресивні умови зовнішнього середовища (клімат, рельєф місцевості, сейсмогенні умови, стихійні лиха, для військової техніки – бойовий вплив противника тощо), на думку автора, дозволить більш обґрунтовано моделювати параметри безвідмовності на етапі проектування техніки та досягти їх прийнятних значень. Це й буде напрямком подальших досліджень.

**Ключові слова:** безвідмовність техніки; ймовірність безвідмовної роботи; наробіток до відмови (на відмову); час безперервної роботи; закон розподілу часу безвідмовної роботи; математичне моделювання.

### Вступ

**Постановка проблеми.** При розробленні зразка техніки передбачається виконання вимог до його характеристик, які визначені у технічному завданні. До зразків техніки повинні пред'являтися жорсткі вимоги з точки зору надійності, оскільки відмова під час роботи може призвести до невиконання основних функцій, а також до аварій та техногенних катастрофам. Одним з показників надійності, як відомо, є безвідмовність [1]. Досвід свідчить, що безвідмовність техніки при експлуатації значно нижча, ніж та, що вказана у формулярі (отримана у ході заводських та полігонних випробувань). Тому є необхідність розглянути причини такої розбіжності та визначити спосіб моделювання безвідмовності техніки ще на етапі її проектування для підвищення надійності, а саме безвідмовності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемами надійності та безвідмовності займалися багато авторів. У [2] викладені принципи побудови математичних моделей, розглянуті теоретичні основи аналітичного, а також імітаційного моделювання функціонування технічних систем у задачах дослідження їх надійності. У [3] велику увагу приділено аналізу причин відмов та методам розрахунку надійності апаратури. Оскільки більшість зразків техніки є комплексними, то виникає необхідність обґрунтування вимог до технічних показників складних систем. Основи теорії комплексного обґрунтування вимог до технічних показників представлені у [4]. Методи оцінювання та обліку надійності технічних засобів, параметрів, що характеризують надійність, а також характеристик надійності різних технічних систем розглянуті у [5].

Незважаючи на те, що у вказаних роботах автори торкаються питання безвідмовності на етапі проектування зразка техніки, практика свідчить про те, що є розбіжність між декларованими показниками безвідмовності та тими, які реально спостерігаються на практиці. Отже, виникає необхідність ретельного аналізу та моделювання безвідмовності на етапі проектування зразка техніки.

З огляду на визначені проблемні питання, **мета статті** полягає у тому, щоб запропонувати спосіб моделювання параметрів безвідмовності на етапі проектування зразка техніки.

### Методи дослідження

У ході дослідження було застосовано системний підхід з використанням основних положень теорії надійності.

### Виклад основного матеріалу дослідження

З точки зору [6], безвідмовність – це властивість об'єкта безперервно зберігати працездатний стан протягом деякого часу або наробітку. Аналітично безвідмовність визначається функцією:

$$P(\tilde{T} > t) = f(T, t), \quad (1)$$

де  $P(\tilde{T} > t)$  – ймовірність безвідмовної роботи;

$\tilde{T}$  – випадкова величина наробітку до відмови, якщо об'єкт невідновлюваний (на відмову – якщо об'єкт відновлюваний);

$t$  – час безперервної роботи;

$T$  – наробіток до відмови (на відмову).

Як видно, про ймовірність безвідмовної роботи можна вести мову тоді, коли випадкова величина наробітку до відмови (на відмову) більше ніж час безперервної роботи, тобто відмова не

відбудеться. І навпаки, ймовірність відмови  $Q(\tilde{T} < t)$  можлива, коли випадкова величина наробітку до відмови (на відмову) менше ніж час безперервної роботи, оскільки ймовірність відмови протилежна ймовірності безвідмовної роботи:

$$P(t) + Q(t) = 1. \quad (2)$$

Моделювання безвідмовності, тобто вид функції (1) може бути різним та залежить від умов експлуатації, а також від особливостей конструкції техніки.

Обґрунтоване завдання безвідмовності у технічному завданні за допомогою математичної моделі обумовлено правильним вибором значень ймовірності безвідмовної роботи, наробітку до відмови (на відмову) та часом безперервної роботи. Недоліком деяких підходів до вирішення цієї проблеми є те, що у формулярах на зразок техніки вказаний середній час наробітку до відмови (на відмову)  $T_{CP}$ , але не вказано з якою ймовірністю відмова може відбутися або не відбутися. Часто не уточнюється час безперервної роботи зразка або він задається некоректно. Тому причинами низької надійності техніки, що іноді відбувається, є ті недоліки на етапі проектування, які описані вище.

Розглянемо гіпотетичний приклад. Припустимо, при розробленні вирішили, що час безвідмовної роботи розподіляється за експоненціальним законом:

$$D(t) = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-\frac{1}{T} \cdot t}, \quad (3)$$

де  $\lambda$  – інтенсивність відмов зразка техніки, 1/год, величина обернена наробітку до відмови (на відмову);

$t$  – час безперервної роботи, год.

При застосуванні навіть цієї простої залежності  $P = f(T, t)$ , ми стикаємось з рівнянням із двома невідомими, якщо воно записано у явному вигляді та трьома невідомими якщо воно записано у неявному вигляді  $(P, T, t) = 0$ . Згідно важливості зразка техніки задається ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ . Нехай  $P(t) = 0,95$ . Час безперервної роботи  $t$  задається згідно до умов експлуатації а також рекомендацій фахівців. Припустимо  $t = 5$  год. Таким чином з трьох невідомих встановлено два, значить, третій можна знайти. Логарифмуючи вираз (3), знаходимо наробіток до відмови (на відмову)  $T$ :

$$\lg P = -\frac{t}{T} \quad \Leftrightarrow \quad T = -\frac{t}{\lg P}. \quad (4)$$

Підставляючи значення  $t = 5$  год та  $P(t) = 0,95$  у (4), отримаємо

$$T = -\frac{t}{\lg P(t)} = -\frac{5}{\lg 0,95} = -\frac{5}{-0,051} = 98 \text{ год.}$$

У даному випадку наробіток до відмови (на відмову) складає майже 100 год. Але експоненціальний закон однопараметричний, тобто не враховує старіння, зношення зразка техніки та його комплектуючих [7]. Більшість

техніки, особливо військової, має достатньо великий термін експлуатації. Якщо врахувати цей аспект, то вочевидь, необхідно застосувати інший закон, наприклад двопараметричний закон розподілу часу безперервної роботи Вейбулла:

$$D(t) = e^{-\frac{1}{T} \cdot t^\alpha}, \quad (5)$$

де  $\alpha$  – параметр, який враховує старіння, зношення зразка техніки.

Наприклад, при  $\alpha = 1,4$  (вироблення ресурсу близько 60%, обирається згідно таблиць):

$$T = -\frac{t^\alpha}{\lg P(t)} = -\frac{5^{1,4}}{\lg 0,95} = -\frac{9,52}{-0,051} = 186,6 \approx 190 \text{ год.}$$

Як видно, у цьому випадку наробіток до відмови (на відмову) майже вдвічі більше ніж при розрахунку без урахування старіння та зношення комплектуючих. Крім того, якщо врахувати ще додаткові фактори, такі як агресивні умови зовнішнього середовища (клімат, рельєф місцевості, сейсмогенні умови, стихійні лиха, для військової техніки бойовий вплив противника тощо), то значення цього показника стане ще більшим. Попередні розрахунки свідчать, що  $T$  може доходити до 480 год. Значить, при проектуванні необхідно моделювати параметри безвідмовності таким чином, щоб модель враховувала всі основні фактори, які впливають на експлуатацію та, з рештою, будуть знижувати надійність, а саме безвідмовність техніки. Вказані додаткові фактори і раніше розглядалися дослідниками, наприклад у [8].

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Отже, на етапі проектування зразка техніки моделювати параметри безвідмовності пропонується таким чином:

при завданні у технічних умовах наробітку до відмови (на відмову) необхідно вказувати, з якою ймовірністю можливо досягнути такого значення даного показника, щоб уникнути невизначеності при оцінюванні безвідмовності техніки. Невиконання цієї умови є однією з причин розбіжності у часі безвідмовної роботи, що вказаний у формулярі із тим, що спостерігається при експлуатації. Ймовірність безвідмовної роботи (або ймовірність відмови) необхідно встановлювати виходячи з важливості зразка техніки для виконання конкретного завдання;

при моделюванні параметрів безвідмовності на етапі проектування зразка техніки необхідно вказувати час безперервної роботи конкретного зразка техніки. Цей час встановлюють виходячи з досвіду роботи аналогічних зразків та опитування фахівців (експертів) даної галузі;

при моделюванні параметрів безвідмовності на етапі проектування зразка техніки необхідно врахувати можливі змінення (зниження) показників безвідмовності, коли починають проявлятися елементи зношення, старіння комплектуючих та обрати відповідну функцію розподілу часу безвідмовної роботи або наробітку

до відмови (на відмову);

Важливим моментом є врахування додаткових факторів, таких як агресивні умови зовнішнього середовища (клімат, рельєф місцевості, сейсмогенні умови, стихійні лиха, для військової техніки – бойовий вплив противника тощо)

Урахування усіх цих недоліків, на думку автора, дозволить більш обґрунтовано моделювати параметри безвідмовності на етапі проектування техніки та досягти їх прийнятних значень. Це й буде напрямком подальших досліджень.

### Література

1. **Козлов Б. А.** Справочник по расчету надежности [Текст] / Б. А. Козлов, И. А. Ушаков. – М.: Советское радио, 1966, – 432 с.
2. **Ковтуненко А. П.** Математическое моделирование в задачах исследования надежности технических систем [Текст] : монографія / А. П. Ковтуненко, В. В. Зубарев., Б. Н. Ланецкий, А. А. Зверев. – К.: Кн. изд-во Нац. авиац. ун-та, 2006. – 234 с.
3. **Широков А. М.** Надежность радиоэлектронных устройств [Текст] / А. М. Широков. – М.: Высшая школа, 1972. – 272 с.
4. **Зубарев В. В.** Основы теории комплексного обоснования требований к техническим показателям сложных систем [Текст] : монографія / В. В. Зубарев, А. П. Ковтуненко, А. В. Василенко, И. Б. Чепков, М. А. Шишанов. – К.: Кн. изд-во Нац. авиац. ун-та, 2010. – 356 с.
5. **Канарчук В. Є.** Надежность машин [Текст] : уч. / В. Є. Канарчук, С. К. Полянський, М. М. Дмитриев. – К.: Лыбидь, 2003. – 424 с.
6. **ГОСТ СССР 27.002–89.** Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 37 с.
7. **Стрельников В. П.** Новая технология исследования надежности машин и аппаратуры [Текст] / В. П. Стрельников // Математичні машини і системи. – К., 2007. – № 3,4. С. 227 – 238.
8. **Креденцер Б. П.** др. Основы надежности и технического обеспечения радиоэлектронных средств РТВ ПВО [Текст] / Б. П. Креденцер, В. Г. Тоценко. –К.: КВИРТУ, 1983. – 164 с.

### СПОСОБ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ БЕЗОТКАЗНОСТИ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБРАЗЦА ТЕХНИКИ

*Марина Александровна Слюсаренко*

*Центральный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина*

*Анализ заводских и полигонных испытаний техники говорит о том, что существует несоответствие, которое возникает между необходимой безотказностью образцов техники и значительно низкой безотказностью этих образцов, которая наблюдается при эксплуатации. Одной из причин такого расхождения являются недостатки методов математического моделирования процесса безотказной работы образцов техники какие существуют сегодня, как на стадии их проектирования, так и в ходе испытаний. Методы, которые используют сегодня не всегда учитывают самые главные факторы, которые влияют на состояние этих образцов в определенных условиях применения.*

*Для того, чтобы уменьшить это расхождение предложен способ моделирования параметров безотказности на этапе проектирования образца техники. В исследовании использованы основные положения теории надежности.*

*Учет таких факторов как агрессивные условия внешней среды (климат, рельеф местности, сейсмогенные условия, стихийные бедствия, для военной техники – боевое влияние противника), по мнению автора, позволит более обосновано моделировать параметры безотказности на этапе проектирования техники и более корректно задавать их значения. Это и будет направлением дальнейших исследований.*

**Ключевые слова:** *безотказность техники; вероятность безотказной работы; наработка до отказа (на отказ); время безотказной работы; закон распределения времени безотказной работы; математическое моделирование.*

### THE WAY OF MODELING RELIABILITY PARAMETERS AT THE STAGE OF MILITARY EQUIPMENT PROJECTING

*Maryna O. Sliusarenko*

*Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*Plant and providing ground equipment analysis shows there is no correspondence that appears between the necessary reliability of equipment and much lower reliability level of the equipment while its exploitation. One of the reasons of such divergence is lack of mathematical modeling methods in the process of reliability work that exist today both at the stage of their projecting and while testing. Methods that are used at pre sent not always take into account the main factors that have an influence on these equipment conditions at the curtain conditions of use.*

*With the purpose of this divergence decreasing we suggest the way of modeling reliability parameters at the stage of military equipment projecting. Main situation of reliability theory is used in the research.*

*Taking into account such factors as aggressive (climate, relief, seismic conditions, natural calamity for military technique – battle influence of the enemy), according to author's opinion will allow modeling reliability*

parameters at the stage of technique projecting and give their meaning in a proper way. This in direction of subsequent research.

**Keywords:** equipment reliability; connectivity; probability of reliability work reliable period of work; operating time to failure (operating time between failures); the law of regulation time of reliability work; mathematical modeling.

### References

- 1. Kozlov B.A.**, Ushakov E.A. (1966), Reference book on reliability calculation [*Spravochnik po raschety nadezhnosti*], Moscow, Soviet Radio, 432 p.
- 2. Kovtunenکو O.P.**, Zubarev V.V., Lanetzky A.P., Zverev A.A. (2006), Mathematical modeling in tasks of investigation reliability technical systems [*Matematicheskoe molelirovanie v zadachax issledovaniy nadezhnosti texnicheskix sistem*], Kyiv, National Air Universite publ house, 234 p.
- 3. Shirokov A.M.** (1972) Radio electronic reliability systems [*Nadezhnost' radioelektronnix sistem*], Moscow, Higher School, 272 p.
- 4. Zubarev V.V.**, Kovtunenکو A.P., Vasilenko A.V., Shishanov M.A. (2010), Base theory of complex grounds demands to technical indices [*Osnovy teoree kompleksnogo obosnovaniy trebovaniy k texnicheskim pokazatelym sloznix sistem*], Kyiv, National Air University publish house, 356 p.
- 5. Kanarchuk V.E.**, Polynsky S.K. (2003) Reliability machine [*Nadezhnost mashin*], Kyiv, Lubid, 424 p.
- 6. GOST USSR 27002-89** (1990) Reliability in technique. Main notions. Terms and determinations/ [*Nadezhnost v texnike. Osnovnye ponytiy. Terminy i opredeleniy*], Moscow, Standart Rublishing House, 37 p.
- 7. Strelnikov V.P.** (2007), New reliability investigation technology of machine and equipment [*Novay texnyjgiy issledovaniy nadezhnosti mashin i apparaturi*], Mathematical machine and systems, No. 3,4, pp. 227–238.
- 8. Kredentser B.P.**, Trotzenko V.G. (1983) Reliability and technical providing of radio-electronic means of Radio Technicaj Forces (PVO) [*Osnovi nadezhnosti i texnicheskogo obespecheniy radioelektronnix sredstv PTV PVO*], Kyiv, KVIRTY, 164 p.

Отримано: 20.10.2015 року