

УДК 537.32

Лусте О.Я. доктор фіз.-мат. наук, професор^{1,2}

¹Інститут термоелектрики НАН і МОН України,
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна;

²Чернівецький національний університет
ім. Юрія Федьковича, вул. Коцюбинського 2,
Чернівці, 58000, Україна, e-mail: anatysh@gmail.com;

ПРИСКОРЕНІ МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ

Традиційні методи тестування є дорогими та неефективними для прогнозування надійності систем, які, як очікується, надійно функціонуватимуть протягом багатьох років, таких як компоненти термоелектричних систем космічного призначення. Альтернативою традиційним випробуванням є прискорені методи. Вони включають зокрема прискорене тестування ресурсу (ALT, HALT), прискорене тестування деградації (ПТД), прискорення сильних механічних напружень (ПСМН). В роботі розглянуто класифікацію прискорених методів і варіанти їх взаємного узгодження. Бібл. 9, рис. 3.

Ключові слова: методи випробувань надійності, наробіток на відмову, прогноз надійності.

Вступ

В роботі подано опис прискорених методів випробувань для прогнозування надійності складних термоелектричних систем за умови мінімального обсягу вибірки. Метою роботи є класифікація прискорених методів і варіанти їх взаємного узгодження.

Прискорені методи випробувань

Теорія надійності є математична дисципліна, що має дві сторони – чисто теоретичну, як піднесений відхід від реальності, та прикладну, як пристрасне прагнення до життя. У нашій попередній роботі з теорії надійності [1] ми вже зазначали, що з двох крайнощів – «математика без здорового глузду» і «здоровий глузд без математики» – перевагу, безсумнівно, слід віддавати другій. Зрозуміло, краще за все, коли працює і те й інше, коли математичні розрахунки весь час перевіряються «здоровим глуздом». Але так буває далеко не завжди. Математичний апарат має якусь гіпнотичну властивість, і дослідники часто схильні беззастережно вірити своїм розрахункам, і тим більше вірити, чим складніший застосовано математичний апарат.

Реальна практична робота має на меті вказати на важливість відмови від традиційних помилок у використанні математичних методів теорії надійності. Для цього в [1] були розглянуті дві важливих проблеми надійності термоелектричних приладів і систем – визначення мінімально допустимого обсягу вибірки для випробувань і побудови надійних складних систем з ненадійних елементів.

До багатьох систем існують вимоги надзвичайно високої надійності протягом тривалого періоду експлуатації або зберігання – космічні застосування термоелектричних виробів є яскравим

прикладом. Крім того, системи та компоненти часто повинні бути розроблені в терміни, що набагато коротші, ніж їхні надійні терміни експлуатації. Ці вимоги є викликом для традиційної техніки надійності, в якій елементи перевіряються на відмову в очікуваних умовах експлуатації, щоб передбачити надійний термін служби системи. Коли час життя вимірюється роками або десятиліттями, цей підхід неможливий.

Надійність може бути визначена як здатність елемента виконувати необхідну функцію, за заданих умов навколишнього середовища та експлуатації та за визначений період часу [2]. Формально, якщо $F(t)$ – ймовірність відмови в момент часу t або до часу t , функція надійності

$$R(t) = 1 - F(t)$$

дає ймовірність того, що елемент все ще буде функціонувати в момент часу t . Похідні величини включають густину ймовірності відмови, $f(t) = dF(t)/dt$, і ступінь ризику $h(t) = f(t)/R(t)$. Швидкість небезпеки дає частоту відмов у момент часу t , враховуючи виживання до t . Знати, чи збільшується $h(t)$, чи зменшується або є постійною величиною, корисно при прогнозуванні терміну експлуатації.

Стандартна теорія надійності припускає, що середній наробіток на відмову для складної системи можна описати «коритоподібною кривою», як то показано на рис. 1. На початку, в так званому інфантильному періоді, система може демонструвати високу частоту відмов через дефекти виробництва або конструкційні недоліки. Очікується, що ці проблеми минуть і настане час, коли частота відмов буде постійною і відносно низькою. Наприкінці ж свого терміну експлуатації частота відмов зростає завдяки "старінню", яке може бути пов'язано з певними компонентами системи, або деякими фізичними або хімічними процесами деградації.



Рис. 1. "Коритоподібна" модель надійності.

Якщо в інфантильному періоді відмови визначаються і виправляються [2], [3], то надійність зростає. Цей процес потребує прискорених методів випробувань, які швидко виявляють відмови. Рис. 2 зображує дані випробувань, де зразки виробів обираються з невеликою виїмкою, а потім піддаються багаторазовому згинанню до утворення тріщин та їх подовження. Графіки у верхній частині рисунку є розрахунковою густиною ймовірності відмов (циклів гнучкості) для досягнення критичної довжини тріщини. Ця густина може бути використана для прогнозування терміну служби виробу перед його заміною [4].

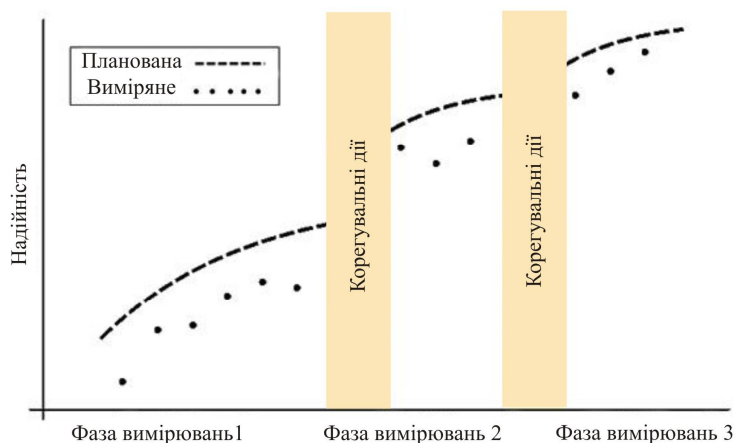


Рис. 2. Зростання надійності.

Для високонадійних компонентів і систем тестування описаного типу не може бути завершено протягом прийняттого періоду часу, якщо воно виконується в нормальних умовах експлуатації – збирання значної кількості відмов може зайняти роки. Підходи до подолання цієї проблеми – це прискорене випробування ресурсу (ПВР) та прискорене випробування на деградацію (АТД), де елементи випробовуються в умовах підвищеної температури, механічного навантаження, вібрації тощо, які знаходяться поза нормальним робочим діапазоном [5]. ALT може включати зростання напружень або застосування декількох напружень одночасно. LANL, ПВР/ПДТ були застосовані для різних матеріалів [6] [7]. Метою ПВР/ПДТ є прискорення відмов або деградації, які можуть виникнути при звичайному використанні. Для прискорених випробувань, щоб мати прогностичну цінність, експериментатор повинен вміти моделювати скорочення терміну служби елемента внаслідок накладання навантаження. При цьому часто використовується експоненціальний розподіл інтенсивності відмов:

$$R(t) = \exp(-\lambda t),$$

де λ – середня частота відмов. Модель Арреніуса для температурної залежності швидкості реакції використовується для прогнозування змін надійності при збільшенні температури, встановлюючи залежність

$$\lambda = \lambda(\tau) = \alpha \exp(-\beta / \tau),$$

де експериментально визначаються α та β .

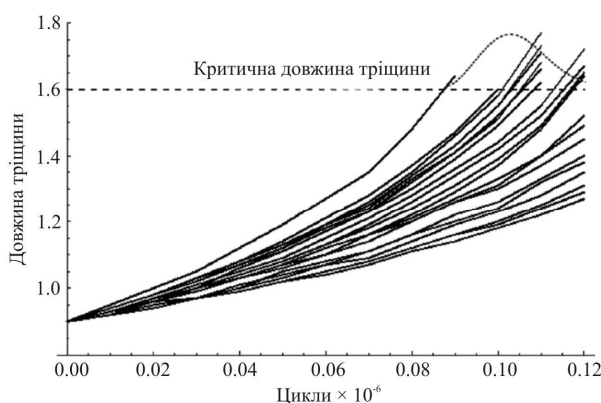


Рис. 3. Залежність довжини тріщини від кількості циклів.

Дуже прискорене тестування ресурсу (HALT), що використовує комбінації факторів на значно більш високих рівнях, хоча і зовні схоже на ПВР, але воно спрямоване лише на пошук і виправлення проектних несправностей під час розробки [8]. Прискорений скринінг навантажень (ПАС) є спорідненим методом, що застосовується для усунення дефектних елементів з виробничого процесу [9]. HALT є ефективним для прискорення зростання надійності, але доволі часто вимоги до демонстраційного рівня надійності можуть передбачати статистично орієнтовані методи, такі як ALT. Це створює певний конфлікт і може призвести до неоптимального розподілу обмежених варіантів випробувань. В роботах [2 – 9] знайдено шляхи подолання цього конфлікту.

Висновки

Створено класифікацію прискорених методів визначення надійності складних термоелектричних систем і визначено варіанти взаємного узгодження цих методів.

Література

1. Анатичук Л.І., Лусте О. Я. Вплив деградації на ресурсні властивості термоелектричних матеріалів, *Термоелектрика* № 5, 2017.
2. ISO 8402, *Quality Vocabulary*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland (1986).
3. MIL-HDBK-189C, *Reliability Growth Management*, US Department of Defense, Washington, DC (2011).
4. Duane, J.T., *IEEE Trans Aerosp* **2**, 563 (1964).
5. Lu, C.J. and W.Q. Meeker, *Technometrics* **35**, 161 (1993).
6. Nelson, W.B., *Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans, and Data Analysis*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (1990).
7. Labouriau, A., and T.S. Stephens, “Report on Assessment of Aging in Polymers,” LANL Technical Report LA-UR-08-6800 (2008).
8. Martz, J.C., and A.J. Schwartz, *J Miner Met Mater Soc* **55**, 19 (2003).
9. Hobbs, G.K., *Accelerated Reliability Engineering: HALT and ПСМН*, John Wiley & Sons, Chichester, UK (2000).

Надійшла до редакції: 20.07.218

Лусте О. Я. доктор физ.-мат. наук, профессор^{1,2}

¹Институт термоелектричества НАН и МОН Украины, ул. Науки, 1,
Черновцы, 58029, Украина, e-mail: anatykh@gmail.com;

²Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича,
ул. Коцюбинского, 2, Черновцы, 58012, Украина,
e-mail: anatykh@gmail.com

УСКОРЕННЫЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ

Традиционные методы тестирования являются дорогостоящими и неэффективными для

прогнозування надійності систем, которые, как ожидается, надежно будут функционировать в течение многих лет, таких как компоненты термоэлектрических систем космического назначения. Альтернативой традиционным испытаниям являются ускоренные методы. Они включают, в частности, ускоренное тестирование ресурса (ALT, HALT)), ускоренное тестирование деградации (ПДТ), ускорение больших механических напряжений (ПСМН). В работе рассмотрена классификация ускоренных методов и варианты их взаимного согласования. Библи. 9, рис. 3.

Ключевые слова: методы испытаний надежности, наработка на отказ, прогноз надежности.

Luste O.J. *doctor phys.-math. sciences professor*^{1,2}

¹Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,
1 Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine;

²Yu. Fedkovych Chernivtsi National University, 2, Kotsyubinsky str.,
Chernivtsi, 58012, Ukraine; e-mail: anatykh@gmail.com

Traditional testing methods are expensive and ineffective to predict the reliability of systems that are expected to function reliably over the years, such as components of space-purpose thermoelectric systems. An alternative to traditional testing are accelerated methods. These include, in particular, accelerated life testing (ALT, HALT)), accelerated degradation testing (ПДТ), highly accelerated stress screening (ПСМН). The paper considers the classification of accelerated methods and options for their mutual harmonization. Bibl. 9, Fig. 3.

Key words: reliability testing methods, time to failure, prediction of reliability

References

1. Anatykhuk L.I., Luste O.J. (2017). The effect of degradation on the service life properties of thermoelectric materials. *J. Thermoelectricity*, 5.
2. ISO 8402 (1986). *Quality vocabulary*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
3. MIL-HDBK-189C (2011). *Reliability growth management*. US Department of Defense, Washington, DC.
4. Duane, J.T. (1964). *IEEE Trans Aerosp* **2**, 563.
5. Lu, C.J. and W.Q. Meeker (1993). *Technometrics* **35**, 161.
6. Nelson, W.B. (1990). *Accelerated testing: statistical models, test plans, and data analysis*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
7. Labouriau, A. and Stephens T.S. (2008). Report on assessment of aging in polymers. *LANL Technical Report LA-UR-08-6800*.
8. Martz, J.C. and Schwartz A.J. (2003). *J. Miner Met Mater Soc* **55**, 19.
9. Hobbs, G.K. (2000). *Accelerated reliability engineering: HALT and ПСМН*. Chichester, UK : John Wiley & Sons.

Submitted: 20.07.2018