

РОЛЬ ВИРТУАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Фам Суан Хань, Долматов А.В.

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва

Ключевые слова: виртуальные испытания, ускоренное испытание, оценка надежности, радиоэлектроника, моделирование деградации, анализ отказов.

Аннотация. Ускоренные испытания (УИ) являются незаменимым инструментом оценки надежности материалов, узлов, подсистем и целых систем, особенно в области современных радиоэлектронных средств (РЭС), где стремительный технологический прогресс требует столь же оперативных оценок надежности. В этом исследовании виртуальные УИ представлены в качестве дополнения к традиционным УИ, уделяя особое внимание их применению для прогнозирования надежности проектируемых РЭС. Используя вычислительные модели, виртуальные УИ дают возможность проводить тщательную и более полную оценку параметров надежности и качества, не ограничиваясь только натурными испытаниями. Эта статья показана эффективность виртуальных УИ посредством сравнения с традиционными натурными УИ, подчеркивая их большой потенциал в повышении эффективности прогнозирования надежности в различных условиях эксплуатации РЭС. Разработанная методология основана на комбинации моделей деградации и анализа режимов отказов, развивая комплексный подход к интеграции виртуальных УИ в процессы натурных испытаний на надежность. Эти результаты подчеркивают важную роль виртуальных испытаний в ускорении цикла разработки современной радиоэлектроники, обеспечивая надежные прогнозы эксплуатационных характеристик и раннее выявление потенциальных дефектов в процессе проектирования.

THE ROLE OF VIRTUAL TESTS IN CONDUCTING RELIABILITY TESTS OF MODERN RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT

Pham Xuan Hanh, Dolmatov A. V.

MIREA – Russian Technological University, Moscow

Keywords: virtual testing, accelerated testing, reliability assessment, electronics, degradation modeling, failure analysis.

Abstract. Accelerated testing (AT) is an indispensable tool for assessing the reliability of materials, components, subsystems and entire systems, especially in the field of radio electronics of modern production, where rapid technological progress requires equally rapid reliability assessments. This study presents virtual UIs as a complement to traditional UIs, focusing on their application in predicting the reliability of new electronic devices. Using computational and simulation models, virtual test environment makes it possible to conduct thorough reliability assessments without being limited by physical test conditions. This paper demonstrates the effectiveness of virtual UI through a detailed comparison with traditional UI results, highlighting their potential to improve forecasting reliability in a variety of field conditions. The methodology developed here is based on a sophisticated combination of degradation models and failure mode analysis, developing a comprehensive approach to integrating virtual UI into the reliability testing regime. These results highlight the important role of virtual testing in accelerating the development cycle of modern electronics by providing reliable performance predictions and early identification of potential damage issues during the design process.

В условиях бурного развития радиоэлектронной промышленности достоверное определение показателей безотказности и долговечности электронных устройств имеет большое значение. Появление сложных технологий и растущая сложность электронных систем подчеркнули необходимость строгих испытаний на надежность. УИ уже давно играет основополагающую роль в оценке надежности и ресурса электронных компонентов в стрессовых условиях, повторяющих те, с которыми сталкивается радиоэлектронное оборудование на протяжении всего жизненного цикла. Традиционные методы УИ, хотя и эффективны, все же сталкиваются с рядом ограничений, среди которых высокая стоимость, длительное время и низкая возможность воспроизведения сложных условий эксплуатации РЭС.

Появление технологий виртуального тестирования открывает широкие возможности в области оценки надежности. Путем компьютерного моделирования стрессовых условий и процессов деградации виртуальные УИ дают возможность преодолеть некоторые физические ограничения традиционных методов тестирования. Этот подход не только позволяет сократить время и затраты на испытания, но также способствует более всестороннему исследованию механизмов отказа в различных условиях эксплуатации.

Основная цель данной работы – определить роль виртуальных УИ в оценке надежности современных РЭС. Для этого необходимо изучить теоретические основы УИ, исследовать методы виртуализации УИ, интеграцию моделей деградации для точного прогнозирования надежности устройств. Посредством сравнительного анализа с результатами традиционных УИ данное исследование направлено на подтверждение эффективности виртуального УИ и подчеркивание их потенциала в испытаниях на надежность РЭС. В работе представлен всесторонний взгляд на то, как виртуальные УИ могут быть легко интегрированы в цикл разработки продукта, тем самым позволяя производителям повысить надежность РЭС и активно обнаруживать и устранять потенциальные дефекты в РЭС.

Развитие теоретических основ УИ и виртуализации УИ играют большую роль в совершенствовании процесса оценки надежности современного радиоэлектронного оборудования.

УИ являются важным способом инженерной оценки надежности, предназначенным для прогнозирования срока службы и определения параметров надежности в условиях, моделирующих стрессовые факторы, с которыми сталкиваются РЭС во время эксплуатации. Основным принцип УИ заключается в воздействии на РЭС высоких уровней нагрузок, таких как температура, влажность, ударная вибрация, электрическая нагрузка и т.д., чтобы вызвать более быстрый механизм отказа, чем при нормальной эксплуатации. Такой подход позволяет выявлять потенциальные слабые места и прогнозировать срок службы и надежность РЭС в течение сокращенного периода времени [1].

В соответствии с ГОСТ Р 57700.37-2021 цифровые (виртуальные) испытания представляют собой определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата исследования свойств цифровой модели (или цифрового двойника) этого объекта [2].

По рисунку 1 видно, что с течением времени количество виртуальных испытаний возрастает, а количество натуральных, наоборот, уменьшается и приближается к минимуму. Это показывает, что с развитием специализированного программного обеспечения для поддержки моделирования и высокопроизводительных компьютеров возрастает количество и качество процедур, связанных с виртуализацией испытаний.

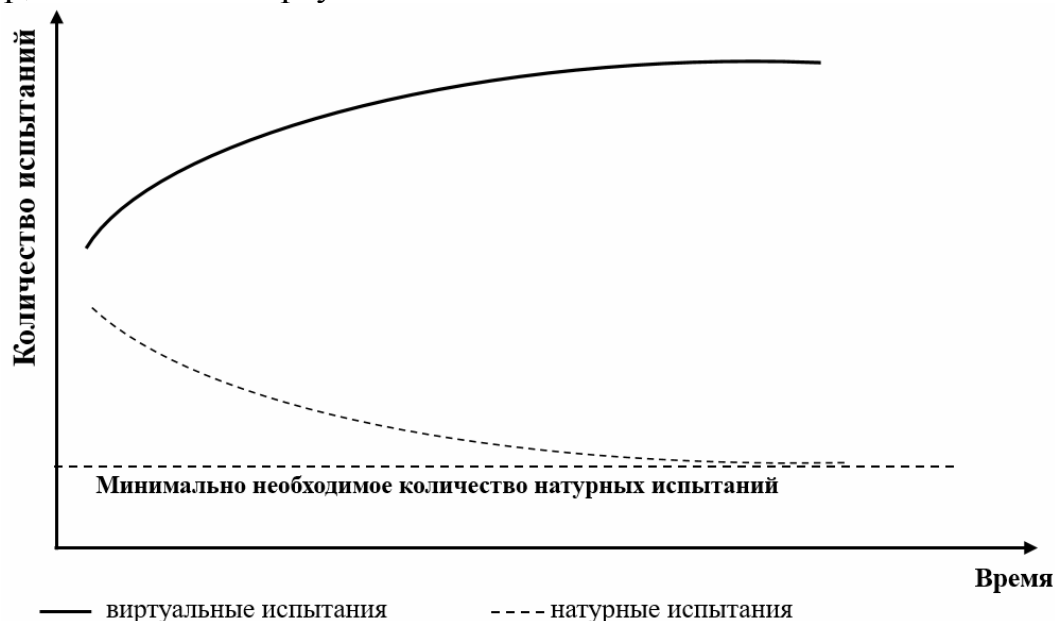


Рис. 1. Снижение объемов натуральных испытаний за счет проведения достаточного количества виртуальных испытаний

Центральным моментом виртуализации УИ является точное описание модели деградации РЭС с течением времени, что требует глубокого понимания различных подходов к моделированию и сущности физических процессов.

Существует множество моделей, которые можно использовать для моделирования процессов старения и деградации РЭС, среди которых можно выделить модель Гамма-процесса. Модель Гамма-процесса имеет множество подходящих точек для применения в виртуализации УИ благодаря своей способности точно представлять процессы монотонной деградации [3].

Гамма процесс — это случайный процесс, характеризующийся независимыми приращениями, где величина каждого приращения соответствует гамма-распределению. Это свойство делает его очень подходящим для моделирования непрерывных и постоянно возрастающих процессов деградации, таких как износ и усталость в РЭС.

Математически деградацию с течением времени t можно описать гамма-процессом следующим образом. Когда значение вероятности безотказной работы достигает порога отказа, это означает, что производительность продукта серьезно ухудшилась: даже если он работает нормально, это считается отказом. Срок службы продукта — это время от момента начала использования продукта до времени достижения порога отказа. Таким образом, срок службы изделия определяется как:

$$T = \inf\{X(t) \geq l\} = \{t \mid X(t) \geq l, X(s) < l, 0 \leq s < t\}.$$

где l – порог отказа, s – вероятность отказа, $X(t)$ – случайный процесс, моделируемый с использованием методов дискретизации Монте-Карло и Эйлера, $X(s)$ – функция вероятности s [4, 5].

Прогнозирование надежности на основе виртуальных УИ предполагает создание модели, которая адекватно отражает функционирование РЭС в реальных условиях. Этот процесс важен для обеспечения соответствия продукта РЭС требованиям надежности до его ввода в эксплуатацию. Благодаря ряду предположений и детальному анализу как УИ, так и нормальных условий работы РЭС, можно разработать модель, которая точно прогнозирует распределение времени безотказной работы для РЭС в будущем.

Такой подход не только ускоряет процесс оценки надежности, но и обеспечивает более полное понимание потенциальных механизмов отказа в рамках РЭС, существенно способствуя разработке более надежных радиоэлектронных средств.

Хотя УИ и виртуализация УИ открывают большие возможности для улучшения прогнозирования надежности РЭС, они не лишены проблем и ограничений. Ключевые из них:

- Точное моделирование сложных условий эксплуатации РЭС в реальном мире остается сложной задачей.

- Чтобы обеспечить согласованность между результатами виртуальных и натуральных испытаний, необходима идентификация параметров модели для виртуальных УИ с использованием надежных источников информации.

- Сложность обработки результатов виртуальных УИ для точного прогнозирования надежности в реальных условиях эксплуатации РЭС.

Ожидается, что в будущем достижения в области вычислительной техники, искусственного интеллекта и алгоритмов машинного обучения для прогнозного моделирования помогут смягчить эти проблемы. Это открывает путь к более комплексным, эффективным и точным методам испытаний на надежность.

Список литературы

1. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.
2. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. – М.: Российский институт стандартизации, 2021.
3. Christophe Letot, Pierre Dehombreux. Degradation models for reliability estimation and mean residual lifetime [Electronical resorse]. – Access mode: <https://www.researchgate.net/publication/228929416>.
4. Meeker William, Escobar Luis, Hong Yili. Using Accelerated Life Tests Results to Predict Product Field Reliability // Technometrics. 2009, vol. 51, pp. 146-161. DOI: 10.1198/TECH.2009.0016.
5. Meeker William, Escobar Luis, Lu C. Accelerated Degradation Tests: Modeling and Analysis // Technometrics. 1999, vol. 40. DOI: 10.1080/00401706.1998.10485191.

Сведения об авторах:

Фам Суан Хань – аспирант;

Долматов Алексей Вячеславович – к.т.н., доцент кафедры КИРЭС.