

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА СТАДИИ ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ

© С. А. Фурсов, А. В. Киров, А. В. Телец

ОАО «НПП «Пульсар», 105187, г. Москва, Окружной пр., 27

В статье рассмотрены основные направления снижения интенсивности отказов на стадии производства и эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры. Предложена формула расчёта интенсивности отказов радиоэлектронной аппаратуры, как системы, состоящей из различных изделий. Приведены зависимости интенсивности отказов от проведённых испытаний по повышению качества.

Ключевые слова: надёжность, интенсивность отказов, радиоэлектронная аппаратура, производство, эксплуатация, отбраковочные испытания, безотказность

Сведения об авторах: Фурсов Сергей Андреевич, serfursv@gmail.com; Киров Алексей Витальевич, glarbb@mail.ru; Телец Андрей Витальевич, telets@pulsarnpp.ru

ENSURING THE RELIABILITY OF ELECTRONIC EQUIPMENT AT THE STAGES OF PRODUCTION AND OPERATION

S. A. Fursov, A. V. Kirov, A. V. Telets

JSC «S&PE «Pulsar», 105187, Moscow, Okružhnoy proezd, 27

Basic methods of decreasing the failure rates during production and operation of electronic equipment are studied in this article. Formula for simulating the failure rates of electronic equipment is given, considering electronic equipment as a system of different devices. Influence of performed quality increasing methods on the failure rates is presented.

Keywords: reliability, failure rate, electronic equipment, production, operation, failure tests, failure-proof

Data of authors: Fursov Sergey Andreevich, serfursv@gmail.com; Kirov Aleksey Vitalievich, glarbb@mail.ru; Telets Andrey Vitalievich, telets@pulsarnpp.ru

Введение

Наиболее широкое распространение получила радиоэлектронная аппаратура (РЭА), построенная на базе твердотельных СВЧ модулей, где одной из проблем является обеспечение требуемых показателей надёжности. Надёжность является комплексным свойством изделия, для её описания используются такие показатели, как безотказность, ремонтпригодность, долговечность и сохраняемость [1].

К современной РЭА предъявляются жёсткие требования по безотказности

твердотельных СВЧ модулей. Как правило, для СВЧ модулей задаётся среднее время наработки до отказа $t_{н.ср} = 30-50$ тыс. часов. Другим показателем безотказности, наиболее явно характеризующим надёжность твердотельных модулей РЭА как системы, является интенсивность отказов $\lambda = 1/t_{н.ср}$. Оценка интенсивности отказов, ожидаемой – на стадии разработки и реальной – при эксплуатации, а также принятие мер по её снижению позволяют повысить надёжность РЭА.

Основные мероприятия

Выполнение испытаний по снижению λ в процессе производства и эксплуатации позволяет обеспечить требуемый уровень надёжности РЭА.

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ – это отношение между количеством отказавших элементов в определённый промежуток времени к среднему количеству элементов, работоспособных в данный промежуток времени [2, 3].

Это определение характерно для единичного элемента системы (конденсатора, транзистора, микросборки и др.). Интенсивность отказов для единичного элемента можно записать в следующем виде:

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N * \Delta t}, \quad (1)$$

где N – общее количество изделий; Δt – интервал времени; $n(t)$ – количество отказов в определённый интервал времени.

Для составных частей модулей СВЧ (узлов) интенсивность отказов можно рассчитать по формуле:

$$\lambda_i = \frac{n(\Delta t_i)}{N_{срi} * \Delta t_i}, \quad (2)$$

где $n(\Delta t_i)$ – количество узлов, отказавших в i -ом интервале времени; $N_{срi}$ – среднее количество узлов, безотказно работавших в i -м интервале времени; Δt_i – ширина временного интервала.

Другими словами, интенсивность отказов численно равна числу отказов в единицу времени, отнесённому к числу узлов, безотказно проработавших до этого времени.

Суммарная интенсивность отказов РЭА (составных частей) определяется, исходя из расчётных показателей интенсивности отказов отдельных элементов:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i, \quad (3)$$

где λ_i – интенсивность отказов i -го элемента, рассчитанная с учётом коэффициента электрического режима, воздействия внешних факторов, а также конструкторско-технологических особенностей; N – количество элементов в РЭА (модуле).

При расчёте интенсивности отказов РЭА в целом или в составе системы (РЛС) используют выражение:

$$\Lambda_{РЭА} = \sum_{i=1}^v \Lambda_i * m_i * K_{н.соед} * K_i, \quad (4)$$

где m_i – количество модулей определённого (i -го) типа в составе РЭА (РЛС); v – число разновидностей модулей; $K_{н.соед}$ – коэффициент надёжности соединений, рассчитанный, исходя из надёжности соединений между элементами системы (функциональными блоками РЭА); K_i – поправочный коэффициент, зависящий от математической модели описания надёжности РЭА (например, коэффициент температурного режима, коэффициент жёсткости условий эксплуатации и др.).

Исходя из этого выражения, можно сделать вывод, что повышение надёжности путём резервирования частей РЭА рационально только при известной интенсивности отказов отдельных составных частей резервируемых элементов. Именно поэтому производители РЭА, требующие высокой надёжности, должны иметь данные о статистической надёжности используемых при производстве элементов (составных частей).

Более детально рассмотрим основные направления снижения интенсивности отказов РЭА (отдельных модулей) на стадии производства и эксплуатации.

Основными направлениями по снижению интенсивности отказов на стадии производства РЭА являются:

- разработка программ обеспечения надёжности (на стадии производства) и их выполнение;

- анализ рабочей конструкторской документации с целью определения материалов и комплектующих изделий с наибольшей интенсивностью отказов ($\lambda_{iрасч.} \gg \lambda_{iзадан.}$);

– анализ данных о статистической надёжности комплектующих изделий, составных частей РЭА;

– выявление составных частей РЭА, наиболее чувствительных к внешним воздействующим, специальным факторам;

– анализ предстоящих условий применения (по опыту эксплуатации аналогичных систем или путём проведения испытаний);

– выявление комплектующих изделий, применение которых планируется в повышенных электрических режимах ($K_n \geq 1$). Следует использовать показатель коэффициента электрической нагрузки комплектующих изделий ($K_n = 0,2 \dots 0,6$) с учётом $t_{\text{окр.ср.}} = +25 \text{ }^\circ\text{C}$, что обеспечит наиболее безопасный режим работы комплектующих изделий, при увеличении температуры интенсивность отказов большинства изделий электронной техники возрастает;

– анализ технологических процессов для выявления операций с возможными ошибками монтажа;

– предотвращение возможных причин появления дефектов производственного характера;

– обязательное метрологическое обеспечение производства с целью получения достоверных показателей работы РЭА;

– постоянный контроль качества приобретаемых комплектующих изделий и материалов с возможной заменой ненадёжных по результатам эксплуатации;

– при производстве РЭА отдельное внимание следует уделять качеству соединений между модулями и составными частями (внутриблочные соединения).

При построении математической модели интенсивности отказов учитывают: статистическую интенсивность отказов применения в другой РЭА, электрическую нагрузку, температурные показатели работы, количество соединений-разъединений, количество контактов, категорию качества и другие показатели учитываемы при расчёте надёжности.

При выполнении вышеуказанных мероприятий, а также при постоянном совершенствовании технологического процесса и организации контроля качества интенсивность отказов снижается. Такой вывод можно сделать исходя из зависимости λ от проведённых мероприятий при производстве приёмопередающих модулей (рис. 1).

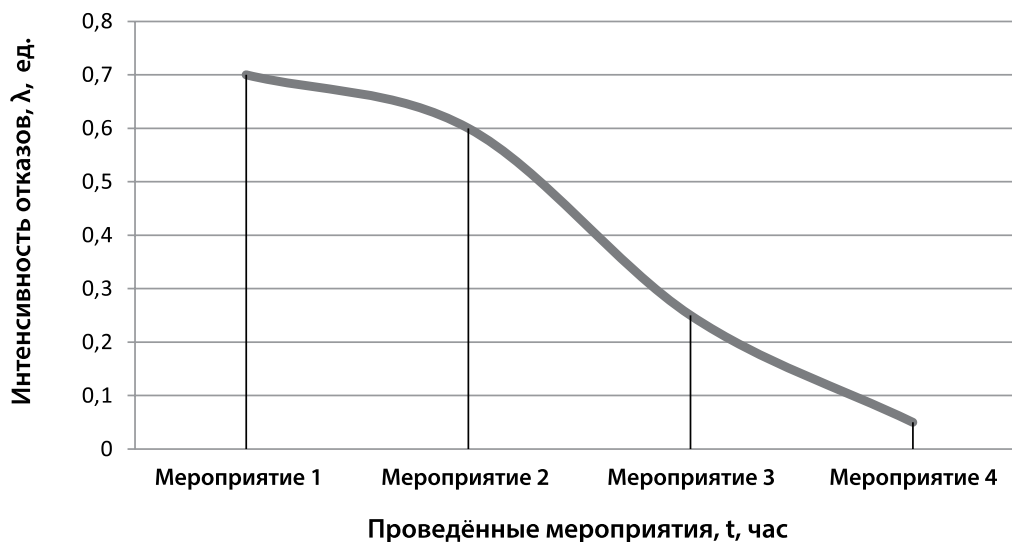


Рис. 1

Зависимость снижения интенсивности отказов приёмопередающих модулей от проведённых испытаний по повышению качества: мероприятие 1 – проведение контроля службой контроля качества (СКК) монтажных операций и выполнение мероприятий по результатам проверки; мероприятие 2 – внесение конструктивных изменений по совершенствованию прочности конструкции; мероприятие 3 – замена комплектующих изделий на изделия более высокой категории качества; мероприятие 4 – совершенствование технологии монтажа (улучшение теплопроводности конструкции)

Отдельное внимание необходимо уделить проведению испытаний на этапе производства РЭА, так называемые отбраковочные испытания.

В ходе отбраковочных испытаний осуществляется:

- проведение «входного» контроля комплектующих изделий, что позволяет исключить потенциально ненадёжные элементы и разместить в РЭА более надёжные;
- проверка соответствия составных частей РЭА заданным показателям надёжности путём проведения испытаний в процессе производства. По результатам испытаний можно получить первые реальные показатели интенсивности отказов разработанной РЭА (её составных частей);
- проведение анализа отказавших элементов и выявление причин отказов, проведение корректирующих воздействий (совершенствование конструкции, совершенствование технологии производства и т.п.);
- разработка специального испытательного оборудования для проведения отбраковочных испытаний, направленных на выявление скрытых дефектов;
- выявление скрытых производственных и технологических дефектов осуществляется путём проведения воздействия внешних факторов, а также путём превышения норм работы комплектующих изделий ($K_n \geq 1$). Для РЭА воздействующими факторами, при которых наиболее часто возникают отказы (проявляются дефекты), являются:

1. воздействие циклических изменений температуры;

2. воздействие вибрации (в том числе случайной);

3. работа РЭА при повышенной температуре и напряжении питания (электротермотренировка);

4. циклы работы «включение-выключение», «антенна-эквивалент».

Время и характер воздействия должны быть разработаны при расчёте надёжности.

По результатам воздействий отбраковочных испытаний возможно избежать резкого увеличения интенсивности отказов на стадии «приработки» аппаратуры, так как скрытые дефекты будут выявлены до получения аппаратуры потребителем [4, 5].

На стадии эксплуатации интенсивность отказов при нормальных условиях (факторы влияющие на снижение надёжности) характеризуется зависимостью (рис. 2).

Исходя из этой зависимости видно, что на этапе приработки наблюдается высокая интенсивность отказов, а при нормальной эксплуатации она существенно снижается, что связано с проявлением скрытых дефектов. Увеличение интенсивности отказов на этапе износа связано с проявлением деградационных отказов и старением материалов.

Одним из важнейших направлений по снижению интенсивности отказов РЭА и, как следствие, повышению её надёжности, является соблюдение нормальных условий экс-

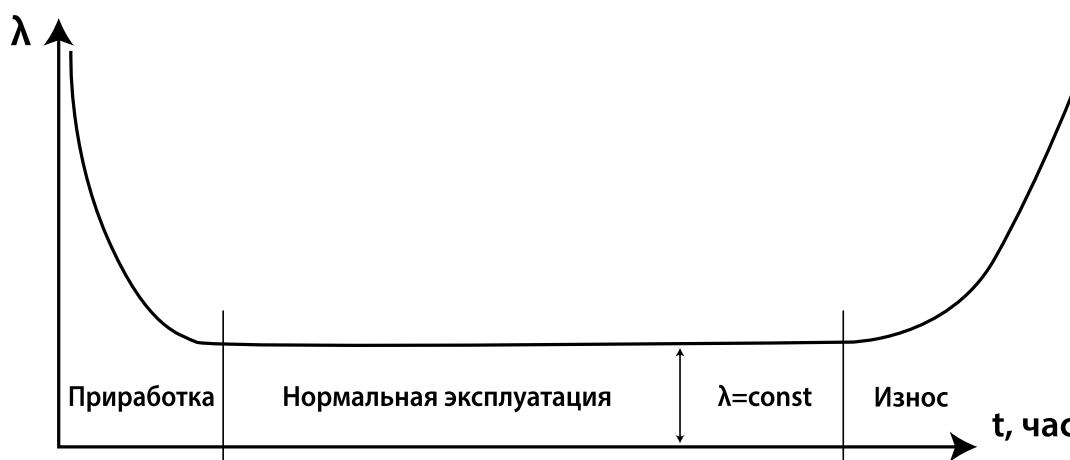


Рис. 2

Зависимость интенсивности отказов от времени на стадии эксплуатации

платации. При анализе статистики возвратов (рекламаций) твердотельных СВЧ модулей значительное количество отказов возникает по причине нарушения условий эксплуатации:

- превышение входной мощности;
- неправильное включение;
- излом соединений и др.

Соблюдение правил эксплуатации позволяет существенно увеличить продолжительность нормальной эксплуатации ($\Lambda_{РЭА} = \text{const}$).

На основании показателей безотказности, полученных при эксплуатации, необходимо проводить корректировку периодичности и состава технического обслуживания РЭА.

Как правило, для систематизации мероприятий по повышению надёжности разрабатывают программы. Эти программы используются на всех стадиях жизненного цикла, а служба контроля качества (СКК) обеспечивает их выполнение.

Выводы

1. Интенсивность отказов является одним из наиболее объективных показателей безотказности РЭА, так как РЭА включает в себя большое количество составных частей.

2. Мероприятия, направленные на снижение интенсивности отказов, следует проводить на всех стадиях жизненного цикла аппаратуры. Результаты выполнения мероприятий должны подвергаться анализу эффективности.

3. При проектировании РЭА необходимо осуществлять расчёт $\Lambda_{РЭА}$ (показателя интенсивности отказов РЭА) как системы, состоящей из отдельных элементов с учётом соединений этих элементов через коэффициент, учитывающий надёжность соединений $K_{н.соед}$ и поправочные коэффициенты, зависящие от математической модели описания надёжности РЭА.

4. Контроль производства РЭА, режимов нагруженности комплектующих элементов в совокупности с испытаниями, разработанными при анализе зарекламированных изделий, позволяет влиять на величину интенсивности отказов.

5. Проведение отбраковочных испытаний составных частей в предельных режимах существенно снижает интенсивность отказов на начальной стадии эксплуатации.

Литература

1. Каленкович Н. И. Радиоэлектронная аппаратура и основы её конструкторского проектирования. – Минск: БГУИР, 2008. – 144 с.
2. ГОСТ 27.002-89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения, с. 28-30.
3. Боровиков С. М., Цырельчук И. Н., Троян Ф. Д. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств. – Минск: БГУИР, 2010. – С. 7-12.
4. Синкевич В. Ф., Телец А. В., Фурсов С. А. Методы отбраковочных испытаний твердотельных СВЧ модулей и стенды для их проведения // Материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции специалистов «Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА», г. Москва, 7-9 октября 2015, с. 300-302.
5. Евстигнеев А. С., Сендерук Ю. С., Фурсов С. А., Телец А. В., Басляев А. А. Результаты выполнения комплекса работ по повышению качества СВЧ усилителей мощности для твердотельных передатчиков радиолокационных станций систем управления воздушным движением // Материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции специалистов «Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА», г. Москва, 7-9 октября 2015, с. 303-306.

References

1. Kalenkovich N. I. *Radioelektronnaya apparatura i osnovy ee konstruktorskogo proektirovaniya* [Electronic equipment and basics of its design]. Minsk, BGUIR Publ., 2008, 144 p.
2. GOST 27.002-89. Engineering Reliability. Basics. Terms and Definitions, pp. 28-30.
3. Borovikov S. M., Tsyrelchuk I. N., Troyan F. D. *Raschet pokazateley nadezhnosti radioelektronykh sredstv* [Simulation of reliability values for electronic devices]. Minsk, BGUIR Publ., 2010, pp. 7-12.
4. Sinkevich V. F., Telets A. V., Fursov S. A. *Materialy XIV Vserossiyskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Tverdotelnaya elektronika. Slozhnye funktsionalnye bloki REA»* [Proceedings of XIV Russian scientific conference «Solid-state electronics. Complex functional REB»]. Moscow, 7-9th of October 2015, pp. 300-302.
5. Evstigneev A. S., Senderuk Yu. S., Fursov S. A., Telets A. V., Baslyayev A. A. *Materialy XIV Vserossiyskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Tverdotelnaya elektronika. Slozhnye funktsionalnye bloki REA»* [Proceedings of XIV Russian scientific conference «Solid-state electronics. Complex functional REB»]. Moscow, 7-9th of October 2015, pp. 303-306.