

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
"БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ"

УДК 621.396.6.019.3

ТАБОЛИЧ ТАТЬЯНА ГЕОРГИЕВНА

**ТЕРМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ РАНИХ ОТКАЗОВ
ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ПЛАСТИКОВЫХ КАРТ**

Специальность 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах»

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Минск 2005

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

- Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Лыньков Леонид Михайлович
(Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кафедра защиты информации)
- Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
Смирнов Александр Георгиевич
(Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», НИЛ «Устройства отображения и обработки информации» НИЧ)
- кандидат технических наук, доцент,
Хижняк Александр Вячеславович
(Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь», кафедра автоматизированных систем управления)
- Оппонирующая организация: Научно-производственное объединение
«Интеграл»

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В современных условиях важнейшим платежным инструментом являются пластиковые электронные носители информации, например электронные пластиковые карты (ЭПК). Электронный рынок любой экономически развитой страны представляет собой совокупность значительного количества различных типов и видов карт. До момента, пока количество используемых ежегодно электронных карт (платежных, контрольных и др.) исчислялось десятками и сотнями тысяч штук, основное значение среди их технико-экономических характеристик имели стоимость, защищённость информации и другие показатели назначения. Однако в последние годы, как только в республике число используемых ежегодно ЭПК приблизилось к 10 млн штук, конкуренция среди производителей карт, как отечественных, так и зарубежных (российских, западноевропейских и других), намного возросла. Для повышения конкурентоспособности своих изделий производители электронных пластиковых карт стали обращать внимание и на их надежность.

Основным радиоэлектронным компонентом электронной пластиковой карты является электронный модуль, представляющий собой герметизированную интегральную микросхему, закрепленную на пластиковом основании. Функции электронного модуля для всех видов ЭПК состоят в идентификации пользователя, выполнении различных видов транзакций, обеспечении безопасности информации, хранящейся на модуле, и т.д.

По конструктивно-технологическому исполнению близким аналогом модулей ЭПК являются SIM-карты, представляющие собой миниатюрные ЭПК, при разработке которых удалось минимизировать пустую площадь вокруг электронного модуля, и используемые в портативных (сотовых) телефонах стандарта GSM.

Анализ литературы и нормативно-технической документации, касающейся электронных пластиковых карт, показывает, что вопросам надежности пластиковых карт уделяется незначительное внимание. Публикации по проблемам надежности ЭПК являются малочисленными. Показатели надёжности, указываемые в литературе и нормативно-технической документации, разноплановые и не всегда соответствуют один другому. Недостаточно информации о причинах отказов электронных пластиковых карт или о внешних проявлениях отказов, что препятствует их устранению. Исходя из вышеуказанного, тема диссертации, посвященная методам и средствам обеспечения надежности электронных пластиковых карт, является актуальной.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный

университет информатики и радиоэлектроники» в рамках НИР «Первичная обработка данных об отказах ЭПК серий 02-17», № государственной регистрации 897986, 2002 – 2005 гг., где автор является ответственным исполнителем темы.

Цель и задачи исследования. Целью работы являются разработка новых методик испытаний на надежность электронных модулей пластиковых карт, термических методов и средств определения отказов, а также исследование их эксплуатационных характеристик.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе необходимо было решить следующие задачи:

- исследовать эксплуатационные характеристики электронных модулей пластиковых карт для безналичной оплаты на примере платежных средств телекоммуникации (таксофонные пластиковые карты);
- разработать модель развития отказа электронных модулей пластиковых карт для расчета показателей надежности;
- исследовать влияние режимов термовыдержки и термоциклирования на эксплуатационные характеристики электронных модулей пластиковых карт;
- разработать методику оценки надежности электронных модулей пластиковых карт, позволяющую оптимизировать режимы приработки;
- провести опытно-производственную проверку разработанной методики оценки надежности электронных пластиковых карт на их электронных модулях.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является электронный модуль пластиковой карты. Предметом исследования являются закономерности влияния режимов приработки на работоспособное состояние электронного модуля пластиковой карты.

Методология и методы проведенного исследования. Исследования параметров надежности электронных модулей пластиковых карт и их эксплуатационных свойств проводились с помощью методов теории случайных функций, методов статистической оценки надежности, метода наименьших квадратов, а также неразрушающих методов контроля на измерительном стенде, устройстве подключения карт и стереоскопическом микроскопе МБС-10 и отбраковочных испытаний с помощью камеры тепла КТ-0,4-350.

Достоверность результатов подтверждена современными методами и техническими средствами исследований, такими, как методы оптической микроскопии, а также совпадением теоретических и экспериментальных результатов диссертационной работы.

Научная новизна и значимость полученных результатов:

1. С использованием основных понятий теории случайных функций предложена модель развития отказа электронных модулей пластиковых карт, основанная на логарифмически нормальных законах распределения начального и граничного значений параметра, определяющего

работоспособность модуля. Предложенная модель позволила минимизировать количество случайных аргументов функции, описывающей развитие отказа, и определить параметры деградационного процесса, который имеет нелинейный характер изменения величины определяющего параметра во времени.

2. Экспериментально установлен максимальный безразмерный коэффициент однородности скорости изменения определяющего параметра (тока потребления), равный 5,49. В соответствии с предложенной моделью развития механизма отказа рассчитан относительный запас долговечности для модулей ЭПК, значение которого составляет около 30 часов.

3. Впервые предложено использование в качестве информативного параметра значения времени окончания массовых отказов пластиковых карт, которое учитывает безотказную работу электронных модулей с заданной вероятностью их отказа. Разработана экспресс-методика определения надежности электронных модулей пластиковых носителей информации, основанная на использовании времени начала и окончания массовых отказов.

4. Для оценки надежности электронных модулей пластиковых карт предложена методика учета влияния различных механизмов отказов на их работоспособность, согласно которой время начала/окончания массовых отказов карты равно минимальному/максимальному из начальных/конечных значений времени массовых отказов, найденных предварительно для деградационных процессов относительно каждого механизма отказа.

5. Предложена расчетная методика для оптимизации режимов термовыдержки, основанная на применении уравнения Аррениуса, описывающего процессы старения, и позволившая выявить ранние отказы электронных модулей пластиковых карт.

Практическая значимость полученных результатов. Результаты диссертационной работы имеют практическую значимость, которая заключается в следующем:

1. Разработана программа на алгоритмическом языке СИ для нахождения времени окончания массовых отказов электронных модулей пластиковых карт с графической визуализацией плотности распределения наработки до отказа при воздействии внешних факторов эксплуатации. С помощью программы определено значение времени окончания массовых отказов, которое для технологической операции термовыдержки при температуре 125 °С составляет 63 часа.

2. Разработан технологический процесс сборки таксофонных электронных пластиковых карт с учетом применения операций термоциклирования и термовыдержки, позволяющих отбраковывать модули, имеющие устойчивые и перемежающиеся отказы.

4. Разработана схема анализа бракованных электронных пластиковых карт, позволяющая конкретизировать вид отказа и выявить

перемежающиеся и устойчивые отказы электронных модулей таксофонных пластиковых карт.

Результаты диссертационной работы используются в Высшем государственном колледже связи (Минск) в учебном процессе (курсы "Почтовая безопасность" и "Коммерческая деятельность и маркетинг в почтовой связи"). Предложенная схема анализа бракованных таксофонных электронных пластиковых карт в виде методики внедрена в УП «ЦНИИТУ» (Минск).

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Модель развития отказа электронных модулей пластиковых карт, основанная на логарифмически нормальных законах распределения начального и граничного значений параметра, определяющего работоспособность модуля, учитывающая нелинейный характер изменения величины этого параметра во времени и позволяющая минимизировать количество случайных аргументов функции, описывающей развитие отказа.

2. Экспресс-методика оценки надежности электронных модулей пластиковых карт, основанная на использовании предложенного информативного параметра времени окончания массовых отказов в комбинации со временем начала массовых отказов и позволяющая сравнивать параметры надежности электронных пластиковых карт.

3. Расчетная методика для оптимизации режимов термовыдержки, основанная на применении уравнения Аррениуса, описывающего процессы старения, и позволяющая выявлять ранние отказы электронных модулей пластиковых карт.

4. Введение в технологический процесс сборки электронных пластиковых карт операции термоциклирования для устранения устойчивых отказов.

Личный вклад соискателя. Содержание диссертации отражает личный вклад автора. Он заключается в проведении теоретического анализа современных методов и средств повышения надежности таксофонных электронных пластиковых карт, объединении единичных показателей качества в комплексный показатель качества и экспериментальном исследовании влияния термоциклирования на работоспособное состояние электронных модулей таксофонных пластиковых карт. Определение целей и задач исследований, интерпретация и обобщение полученных результатов проводились совместно с научным руководителем д. т. н. Л.М. Лыньковым, а также д. т. н. А.В. Прибыльским, к. т. н. Г. В. Сечко.

Апробация результатов диссертации. Материалы, вошедшие в диссертационную работу, докладывались и обсуждались на VII, VIII, IX Международных научно-технических конференциях «Современные средства связи» (Нарочь, Беларусь, 2002, 2003, 2004 гг.); I, II, III, Белорусско-российских научно-технических конференциях «Технические средства защиты информации» (Нарочь, Беларусь, 2003, 2004,

2005 г.); II, III Международных научно-технических конференциях «Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств» (Новополоцк, Беларусь, 2002, 2004 г.); Международной научно-технической конференции "Новые технологии изготовления многокристалльных модулей" (Нарочь, Беларусь, 2004 г.).

Опубликованность результатов. Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 17 печатных работах: 5 статьях в научных журналах и 12 статьях в сборниках материалов научно-технических конференций. Общее количество страниц опубликованных материалов 56.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из общей характеристики работы, четырех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, списков использованных источников и приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 143 страницы. Она включает 98 страниц основного текста, 39 иллюстраций на 18 страницах, 14 таблиц на 14 страницах, список использованных источников из 92 наименований на 5 страницах, список публикаций автора, содержащий основные научные результаты диссертации из 17 наименований на 2 страницах и 3 приложения на 6 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В общей характеристике работы определено основное направление, обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, изложены основные положения, выносимые на защиту, сформулированы научная новизна и практическая значимость полученных в работе результатов.

В первой главе рассмотрены принципы классификации электронных пластиковых карт по различным признакам в соответствии с применением и видом используемого носителя информации. Приведен анализ современных методов и средств получения информации при записи и считывании с электронной карты, считывающих устройств, таксофонов. На основе анализа информации литературных и патентных источников описаны основные конструкции электронных пластиковых карт. Показано, что наибольший опыт производства пластиковых карт в РБ накоплен в производстве карт с магнитной полосой для метрополитена и электронных пластиковых карт для таксофонов. Карты с магнитной полосой постепенно вытесняются более совершенными смарт-картами, поэтому в качестве объекта для исследования была выбрана электронная пластиковая карта, как наиболее сложное устройство из идентификационных карт. При этом результаты исследований для этого вида карт можно распространить в будущем на SIM-карты и другие аналогичные микроэлектронные компоненты. Проведенный анализ сведений о надежности электронных пластиковых карт позволяет сделать выводы о том, что недостаточно

внимания уделено проблемам надежности электронных модулей пластиковых карт и проблеме ранних отказов, как перемежающихся, так и устойчивых, присутствующих на ранней стадии эксплуатации и приводящих к уменьшению срока эксплуатации. Предложено рассмотреть наиболее распространенные способы повышения надежности электронных модулей пластиковых карт, связанные с влиянием термообработки на работоспособность электронных модулей пластиковых карт, и проанализировать развитие отказа электронного модуля на этапе эксплуатации.

Во второй главе описана методика сбора информации об отказах таксофонных карт с конкретизацией и расширением категорий видов отказов ЭПК, позволяющая выявить и устранить причину отказа карты. Исходя из анализа возврата брака на производство от потребителя, выявлены ранние, как перемежающиеся, так и устойчивые отказы электронных пластиковых карт. Построена гистограмма наработки до отказа таксофонных карт серии 04 и рассчитаны среднеквадратичное значение и математическое ожидание наработки до отказа карт серий 08, 13, 04. Для устранения отказов электронных модулей пластиковых карт предложено применить методы влияния термообработки на их работоспособность. Для наиболее точного определения режимов термообработки следует разработать модель развития отказа при эксплуатации, а для оценки их надежности – применить две характеристики – время начала t_n и время окончания t_k массовых ранних отказов ЭПК.

Приведена зависимость качества конструкции изделия от его себестоимости, а также показана общая схема организации производства таксофонных пластиковых карт. Для оценки качества электронных пластиковых карт единичные показатели качества (защита информации в электронном модуле, надежность, стоимость карты) объединены в комплексный показатель, который представлен в виде интегрального показателя качества по 10 - балльной шкале:

$$K = a_c \cdot C + a_3 \cdot 3 + a_n \cdot N, \quad (1)$$

где C – экономический единичный показатель качества (стоимость) таксофонных ЭПК;

3 и N – единичные показатели назначения электронных пластиковых карт (степени защиты информации и надёжности соответственно);

a_c, a_3, a_n – весовые коэффициенты при единичных показателях качества, определяемые методом экспертных оценок или социологическим опросом потребителя.

Интегральный показатель качества позволяет сравнить изделия разных производителей, учитывая единичные показатели качества.

В третьей главе представлены результаты исследований развития отказа при эксплуатации электронной пластиковой карты. Предложена математическая модель развития отказа электронных модулей пластиковых карт, математически выраженная формулой (2) и графически показанная на рис. 1, позволяющая минимизировать количество случайных аргументов функции. Параметры модели характеризуют процесс приближения к состоянию достижения определяющим параметром (ОП) границы поля допуска

$$x = x_0 \cdot \exp(v \cdot t) = \eta \cdot \exp[(v \cdot (t + \tau))] \quad (2)$$

где x_0 – случайное значение определяющего параметра $x_0 > 0$;

v – случайная скорость изменения логарифма ОП во времени, обладающая математическим ожиданием m , и среднеквадратичным отклонением σ ;

τ – временной положительный интервал, обозначающий величину сдвига полюса (μ ; η) влево от точки $t = 0$ по оси абсцисс.

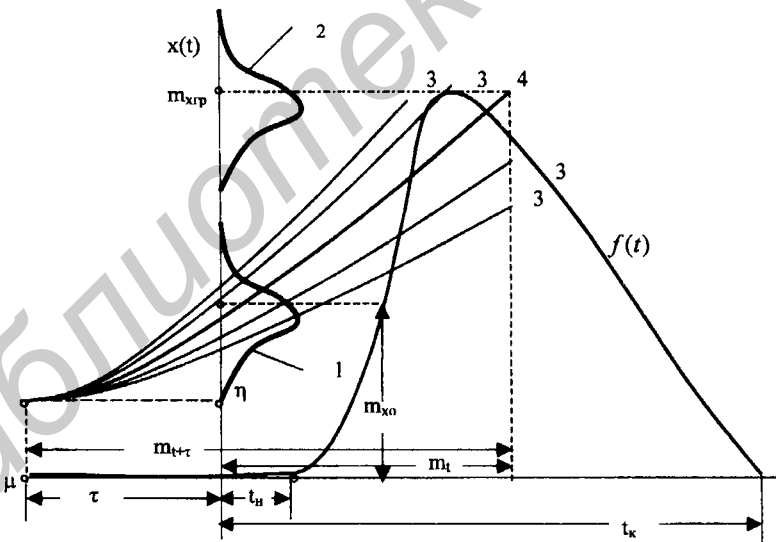


Рис. 1. Графическое изображение общей модели развития отказа модуля:
 1 – логарифмически нормальное распределение начального значения ОП; 2 – логарифмически нормальное распределение граничного значения ОП; 3 – реализации модели, аппроксимирующие отдельные реализации процесса; 4 – математическое ожидание модели развития отказа электронного модуля.

С помощью предложенной модели определен закон распределения наработки до отказа электронных модулей пластиковых карт, выраженный формулой (3):

$$f(t) = \frac{(\beta + \alpha\tau)(t + \tau) + \alpha\delta^2}{[(t + \tau)^2 + \delta^2]^{3/2} \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\beta - \alpha\tau)^2}{2[(t + \tau)^2 + \delta^2]}\right\}, \quad (3)$$

где β – относительный запас долговечности, имеет размерность времени;

α – относительная средняя скорость изменения параметра или коэффициент однородности скорости изменения параметра, безразмерен;

δ – разброс параметров распределения.

Эксперимент проводился на 35 образцах электронных модулей пластиковых карт. При этом измерялись значения: входного/выходного тока по низкому/высокому уровням, а также значение тока потребления. Для ускорения развития отказа образцы одной серии были помещены в камеру тепла на 48 часов при температуре 125 °С. Через каждые 8 часов на контрольно-измерительном стенде для электронных пластиковых карт с помощью персонального компьютера проводился замер электрических параметров. Далее определялись значения коэффициента однородности скорости изменения параметра. Исходя из этих значений, параметром, определяющим работоспособность модуля, было выбрано значение тока потребления. Критерий для отказа брался исходя из технической документации на электронный модуль пластиковой карты. Таким образом, при превышении уровня тока потребления, равного 1мА, карта отбраковывалась, так как наблюдался отказ электронного модуля.

По средним значениям тока потребления в определенные часы форсированных испытаний построена зависимость, показанная на рис. 2.

Для определения скорости развития отказа экспериментальные данные прологарифмированы, что позволило кривую, показанную на рис. 2. линеаризовать по методу наименьших квадратов.

Затем по экспериментальным данным были рассчитаны аргументы формулы (3): математическое ожидание $m_v = 0,019082$ и среднеквадратичное отклонение логарифма скорости развития отказа $\sigma_v = 0,347 \cdot 10^{-3}$ (изменение величины тока потребления).

По найденным значениям m_v и σ_v для экспериментальных данных рассчитан коэффициент однородности скорости изменения параметра α [3]

$$\alpha = \frac{m_v}{\sigma_v} = \frac{1,9082 \cdot 10^{-3}}{0,047 \cdot 10^{-3}} = 5,49. \quad (4)$$

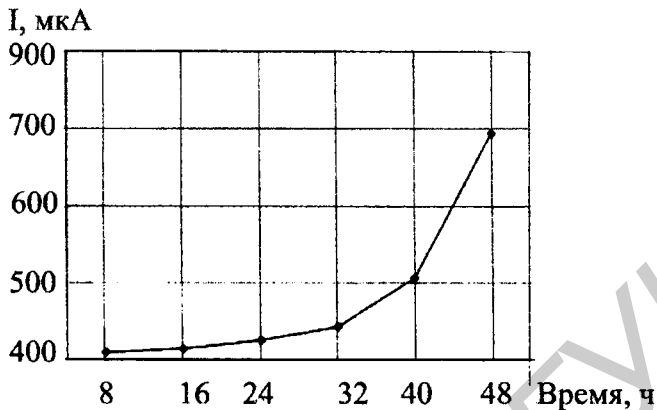


Рис. 2. Экспериментальная зависимость среднего значения тока потребления электронного модуля пластиковой карты от времени термовыдержки

Аналогично по [3] найдены относительный запас долговечности $\beta = 30$ ч, разброс параметров распределения $\delta = 5$, абсцисса полюса $\tau = 2$.

Для одновременного учета разброса случайного времени наработки относительно его среднего значения а также самого среднего значения наработки до отказа предложено использовать характерные точки распределения $f(t)$ – время начала массовых отказов t_n и время окончания массовых отказов t_k .

Под временем начала массовых отказов будем понимать момент времени, до наступления которого плотность распределения $f(t)$ и вероятность отказа пренебрежимо малы. Величину вероятности отказа при $t = t_n$ выберем постоянной и равной значению 0,01. Таким образом, площадь, ограниченная кривой плотности распределения $f(t)$, определяемой по формуле (3), и вертикальной прямой $t = t_n$ равна вероятности отказа карточки в течение времени $0 - t_n$:

$$Q = \int_0^{t_n} f(t) dt = 0,01. \quad (5)$$

По аналогии с t_n целесообразно ввести другую характерную точку распределения – время окончания массовых отказов t_k , т.е. момент, начиная с которого вероятность безотказной работы можно считать пренебрежимо малой. Пренебрежимо малой вероятностью безотказной работы будем считать величину 0,01, т.е. вероятность отказа равна 0,99. Таким образом

площадь, ограниченная кривой плотности распределения $f(t)$, также определяемой по формуле (3), и вертикальной прямой $t = t_k$ равна вероятности отказа карточки в течение времени $\theta - t_k$:

$$Q = \int_0^{t_k} f(t) dt = 0,99. \quad (6)$$

Решение уравнения (6) относительно t_k с помощью метода половинного деления реализовано в разработанной программе для расчета времени окончания массовых отказов. Текст программы представлен в приложении 1 диссертационной работы. Таким образом, при ранее полученных расчетным путем параметрах деградационного процесса время окончания массовых отказов t_k при термовыдержке с температурой 125 °С равно 63 ч.

Предложенные характерные точки имеют практическое применение. В частности, время начала массовых отказов может использоваться для расчета надежности относительно ресурсных отказов, время окончания массовых отказов может использоваться для прогнозирования периода окончания ранних отказов.

Прогнозирование ресурсных отказов в нормальных условиях эксплуатации для микросхем, в частности и для электронных модулей, имеет смысл только в том случае, если ужесточение режимов отбраковки с помощью термовыдержки снизит ресурс карты ниже некоторого заданного уровня.

Для оценки надежности модулей электронных пластиковых карт предложена методика учета влияния различных механизмов отказов на работоспособность электронных модулей. Согласно данной методике время начала/окончания массовых отказов карточки равно минимальному/максимальному из начальных/конечных значений времени, найденных предварительно для деградационных процессов, характеризующих механизм отказа времен, найденных предварительно для деградационных процессов относительно каждого механизма отказа (механизмы отказов №1, №2, №3). Графически данный способ учета изображен на рис.3.

Рассмотрены принципы применения приработки электронных модулей, при которых нагрузка не должна приводить к появлению новых механизмов отказов, но при этом должна отбраковать все отказавшие изделия. На этом принципе построен выбор предложенных режимов термовыдержки. Оптимальная длительность приработки должна равняться рассчитанному времени окончания массовых отказов или быть несколько большей, чем t_k (для гарантийного 100% исключения ранних отказов). При этом полагается, что время t , прошедшее с начала эксплуатации элемента при некоторой абсолютной температуре T , обратно пропорционально скорости V физического процесса вызывающего отказ элемента.

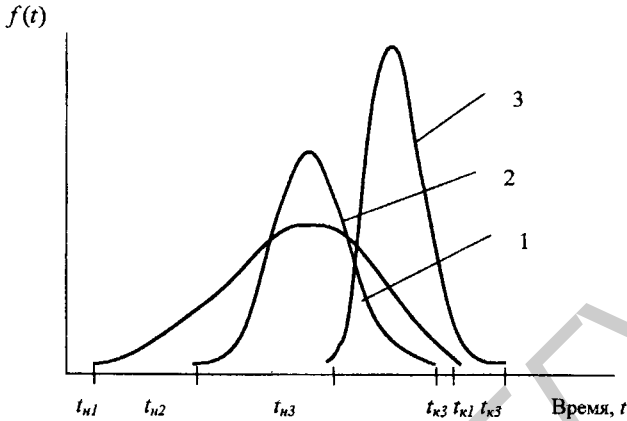


Рис. 3. Определение времени окончания массовых отказов при наличии нескольких деградиационных процессов: 1 – механизм отказов № 1 (с параметрами $f_1, t_{н1}, t_{к1}$ – время начала и окончания массовых отказов 1); 2 – механизм отказов № 2 (с параметрами $f_2, t_{н2}, t_{к2}$ – время начала и окончания массовых отказов 2); 3 – механизм отказов № 3 (с параметрами $f_3, t_{н3}, t_{к3}$ – время начала и окончания массовых отказов 3)

Таким образом, при некоторых постоянных $B; A_0; E; K_B$

$$t = \frac{B}{V}, \quad (7)$$

$$\text{где } V = A_0 \exp\left(-\frac{E}{K_B T}\right). \quad (8)$$

Здесь A_0 – константа;

E – энергия активации деградиационного процесса;

K_B – постоянная Больцмана;

T – температура окружающей среды (в °К).

Логарифмируя (8) после подстановки в него (7), получим уравнение линии Аррениуса

$$\ln t = \ln \frac{B}{A_0} + \frac{E}{K_B} \cdot \frac{1}{T}. \quad (9)$$

При уровне отказов, равном 99 %, время t является временем работы t_k электронных модулей до отказа, которое соответствует вероятности отказа 99%. К примеру, линия Аррениуса (9) при 99% устранении ранних отказов имеет вид:

$$\ln t_k = \ln \frac{B_{99\%}}{A_0} + \frac{E}{K_B} \cdot \frac{1}{T}. \quad (10)$$

Для оценки с помощью линии Аррениуса (9), (10) характеристик t_k или m_t элемента, соответствующих нормальным условиям эксплуатации, такие же характеристики для каждой из температур ускоренных испытаний отмсчаются точками в координатах $[1/T; \ln t]$ (рис.4).

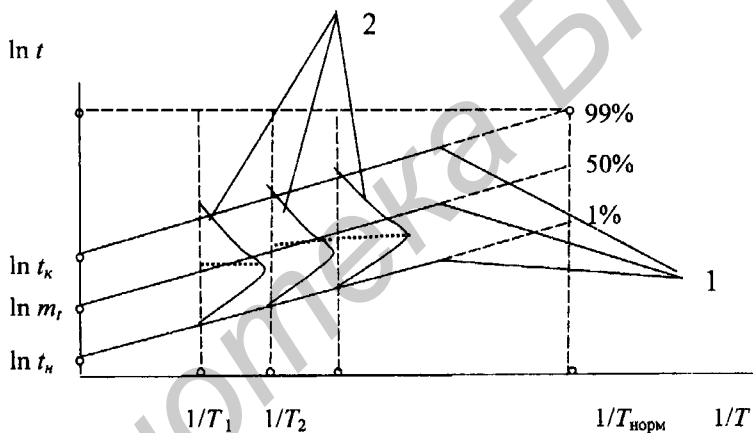


Рис. 4. Оценка надежности электронных пластиковых карт в нормальных условиях с помощью линий Аррениуса: 1 – линии Аррениуса для различных значений процента отказов; 2 – распределения наработки до отказа электронного модуля ЭПК до отказа, соответствующие температурам испытаний

Через полученные точки проводятся прямые (линии Аррениуса), далее прямые продляются в область нормальных температур, рис.4. Выбор температур для проведения расчета режимов термовыдержки выполняется исходя из значений времени и температуры, приведенных в табл. 1, и определяемых согласно нормальным условиям эксплуатации карты и режимов термовыдержки, проводимой на предприятиях по производству ЭПК.

Таблица 1

Исходные данные о температуре и времени приработки для электронных пластиковых карт к расчету уравнения линии Аррениуса

$T, ^\circ\text{C}$	$T, ^\circ\text{K}$	$1/T, ^\circ\text{K}$	$t, \text{ч}$	$\ln t$
25	298	0,0033	768	6,674561
120	393	0,002544	72	4,276666
125	398	0,002512	48	3,871201

здесь T – температура, t – время приработки.

По графической визуализации уравнения Аррениуса на оси абсцисс находятся ранее выбранные температуры с учетом $1/T$, и по оси ординат определяется логарифм длительности термовыдержки, соответствующий заданным температурам. Полученные данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

Время проведения термовыдержки электронных пластиковых карт, рассчитанное по методике с помощью линии Аррениуса и используемое на производстве

Температура, $^\circ\text{C}$	Время рассчитанное, ч	Время используемое, ч
120	84,523	72
125	63,491	48

Таким образом, сравнивая полученные расчетные режимы с существующими режимами термовыдержки на производстве, следует отметить недостаточное время проведения последних при температуре термовыдержки 125°C . Исходя из вышесказанного, режимами проведения термовыдержки для электронных модулей пластиковых карт следует выбрать режимы термовыдержки с температурой 125°C и длительностью 64 часа, что будет соответствовать устранению ранних отказов, и, следовательно, понижению числа возвращенных карт.

В четвертой главе представлены результаты разработки системы, обеспечивающей надежность и качество электронных пластиковых карт. Предложено усовершенствовать систему качества и надежности на предприятии использованием банка технологических операций и расчетным математическим аппаратом с применением модели развития отказа электронных модулей пластиковых карт. Данные усовершенствования показаны на примере ликвидации устойчивых отказов таксофонных пластиковых карт. При разработке организационного обеспечения

предложено проводить анализ отказавших пластиковых карт. Так, например, были проведены исследования модулей таксофонной электронных пластиковых карт с помощью рентгена.

В дальнейшем на основании полученных результатов проведен анализ электронных модулей с помощью вскрытия корпусов (рис.5).

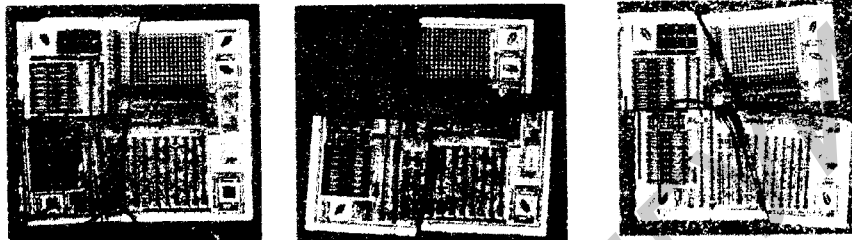


Рис. 5. Оптическая фотография кристаллов. Дефекты кристаллов, обнаруженные при вскрытии корпусов модулей пластиковых карт

Предложено для устранения выявленных дефектов применить из банка технологических операций термодиклирование. Установлено, что при применении операции термоциклирования с режимами 10 циклов по 120 минут с температурой циклирования $\pm 50^\circ\text{C}$ в качестве приработки, отбраковывается 25 % потенциально негодных электронных модулей пластиковых карт.

Разработана схема проведения анализа отказов электронных пластиковых карт, учитывающая характер и время наступления отказов.

В приложениях представлены программа для расчета времени окончания массовых отказов, акты внедрения результатов диссертационной работы при выполнении НИР и в учебный процесс, акты внедрения результатов диссертационной работы в производство электронных пластиковых карт УП «ЦНИИТУ».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. С использованием основных понятий теории случайных функций предложена модель развития отказа электронных модулей пластиковых карт, основанная на логарифмически нормальных законах распределения начального и граничного значений параметра, определяющего работоспособность модуля. Предложенная модель позволила минимизировать количество случайных аргументов функции, описывающей развитие отказа, и определить параметры деградационного процесса, который имеет нелинейный характер изменения величины определяющего

параметра во времени. Экспериментально установлен максимальный безразмерный коэффициент однородности скорости изменения определяющего параметра (тока потребления), равный 5,49. В соответствии с предложенной моделью развития механизма отказа рассчитан относительный запас долговечности для модулей электронных пластиковых носителей информации, значение которого составляет около 30 часов [5, 15].

2. Впервые предложено использование в качестве информативного параметра значение времени окончания массовых отказов пластиковых карт, которое учитывает безотказную работу электронных модулей с заданной вероятностью, и разработана экспресс-методика определения надежности электронных модулей пластиковых носителей информации, основанная на использовании времени начала и окончания массовых отказов. С помощью программы для расчета времени окончания массовых отказов определено значение времени окончания массовых отказов, которое составляет 63 часа [7, 9, 10].

3. Для оценки надежности электронных модулей пластиковых карт предложена методика учета влияния различных механизмов отказов на их работоспособность, согласно которой время начала/окончания массовых отказов карты равно минимальному/максимальному из начальных/конечных значений времени массовых отказов, найденных предварительно для деградиационных процессов относительно каждого механизма отказа [11, 12, 13].

4. Предложена расчетная методика для оптимизации режимов термовыдержки, основанная на применении уравнения Аррениуса, описывающего процессы старения, и позволяющая выявить ранние отказы электронных модулей пластиковых карт. Показано, что наибольшая эффективность операции термовыдержки электронных модулей пластиковых карт достигается при времени приработки равном 64 часа и температуре 125 °C [4, 6].

5. Предложено единичные показатели качества (стоимость, надежность электронной пластиковой карты и защищенность информации в электронном модуле пластиковой карты) объединить и представить в виде комплексного показателя качества по 10 балльной шкале. Использование введенного интегрального показателя качества позволяет сравнивать пластиковые носители информации с разными характеристиками и свойствами, что доказывает целесообразность данного введения [8, 14, 16].

6. Предложены принципы и методы создания системы управления качеством и надежностью на основе разработанных методик сбора данных об отказах электронных пластиковых карт и экспресс-методики определения надежности электронных модулей. Теоретически обоснована и практически реализована операция термоциклирования с режимами 10 циклов по 120 минут с температурой циклирования ± 50 °C на этапе

технологической сборки электронных пластиковых карт. С помощью операции термодублирования, введенной в процесс сборки, было отбраковано 25% электронных модулей таксофонных пластиковых карт [1, 2, 3, 17].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Статьи в научных журналах

1. Вечер Д.В., Прибыльский А.В., Реуцкий В.С., Таболич Т.Г. Сравнение кристаллов пластиковых карт по степени защиты информации // Докл. Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2003. – № 1/1. – С. 32 – 34.

2. Вечер Д.В., Сечко Г.В., Таболич Т.Г. Система VT-ДИСКОНТ на базе чип-карт // Известия Белорусской инженерной академии. – 2004. – № 2(18)/1. – С. 114 – 115.

3. Таболич Т.Г. Электронные пластиковые карточки и их безопасность // Докл. Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2004. – № 6. – С.71 – 77.

4. Лыньков Л.М., Таболич Т.Г. Определение оптимального времени приработки таксофонных пластиковых карт // Известия Белорусской инженерной академии. – 2005. – № 1(19)/4. – С. 110 – 113.

5. Таболич Т.Г., Лыньков Л.М. Модель развития отказа таксофонных электронных пластиковых карточек // Докл. Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2005. – № 3. – С.86 – 96.

Материалы научных конференций

6. Вечер Д. В., Кривальцевич С. А., Лившиц М. З., Таболич Т. Г. Автоматизация прозвонки выводов «глухих» электронных пластиковых карт // Современные средства связи: Мат VII Междунар. науч.-техн. конф., Беларусь, Нарочь, 2002 г. – Минск, 2002. – С. 136 – 137.

7. Таболич Т.Г. Технологический процесс приработки электронных карточек // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Мат. 2-й Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 15 – 17 мая 2002г. – Новополоцк: ПГУ, 2002. – С. 149 – 151.

8. Прибыльский А.В., Таболич Т.Г. Основные направления защиты информации на промышленных предприятиях // Технические средства защиты информации: Мат. III Белорусско-российской науч.-техн. конф., Беларусь, Нарочь, 19 – 23 мая 2003 г. – Минск, 2003. – С. 31 – 32.

9. Вечер Д.В., Таболич Т.Г. Об отказах телефонных электронных пластиковых карт // Современные средства связи: Мат. VIII Междунар. науч.-техн. конф., Беларусь, Нарочь, 2003 г. – Минск, 2003. – С. 58 – 59.

10. Вечер Д.В., Таболич Т.Г. Оценка фактической надежности телефонных ЭПК относительно перемежающихся отказов // Современные средства связи: Мат. VIII Междунар. науч.-техн. конф., Беларусь, Нарочь, 2003 г. – Минск, 2003. – С. 60 – 62.

11. Вечер Д.В., Таболич Т.Г. Сравнение проектной надежности ИМС телефонных карт с различной степенью защиты информации // Технические средства защиты информации: Мат. III Белорусско-российской науч.-техн. конф., Беларусь, Нарочь, 17-21 мая 2004 г. – Минск, 2004 – С. 62 – 63.

12. Вечер Д.В., Таболич Т.Г. Сравнение расчетной и фактической надежности телефонных чип-карт // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Мат. 2-й Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 15 – 17 мая 2004г. – Новополоцк: ПГУ, 2004. – Т. 1. – С. 237 – 239.

13. Таболич Т.Г. Методы устранения ранних отказов кристаллов чип – карт // Новые технологии изготовления многокристалльных модулей Мат. II Междунар. науч.-техн. конф., 27 сентября – 1 октября 2004 г. – Мн: БГУИР, 2004. – С. 172 – 174.

14. Вечер Д.В., Сечко Г.В., Таболич Т.Г. Краткий анализ рынка возможных потребителей чип-карт в республике и перспективы его развития // Современные средства связи: Мат. IX Междунар. науч.-техн. конф., Беларусь, Нарочь, 2004 г. — Минск, 2004. — С. 115–116.

15. Лыньков Л.М., Таболич Т.Г. Отбраковочные испытания электронных пластиковых карт // Технические средства защиты информации: Мат. III Белорусско-российской науч.-техн. конф., Беларусь, Нарочь, 23 – 27 мая 2005 г. – Минск, 2005. – С. 57-60.

16. Таболич Т.Г., Сечко Г.В. Оценка интегральных показателей качества таксофонных интеллектуальных пластиковых карт (ТИПК) // Технические средства защиты информации: Мат. III Белорусско-российской науч.-техн. конф., Беларусь, Нарочь, 23 – 27 мая 2005 г. – Минск, 2005. – С. 60 – 61.

17. Таболич Т.Г. Методика и условия применения системы управления качеством и надежностью электронных пластиковых карт // Современные средства связи: Мат. X Междунар. науч.-техн. конф., Беларусь, Нарочь, 2005 г. – Т. 4. – Минск, 2005. – С. 113 – 115.

РЭЗІЮМЭ

Таболіч Таццяна Георгіеўна. ТЭРМІЧНЫЯ МЭТАДЫ ВЫЯЎЛЕННЯ РАННІХ АДМОВАЎ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЯЎ ПЛАСТЫКАВЫХ КАРТАК

Ключавыя словы: электронны модуль, пластыкавая картка, працэс развіцця адмовы, адмова, прыработка, тэрмавытрымка, час заканчэння масавых адмоваў.

Аб'ектам даследавання з'яўляецца электронны модуль пластыкавай карткі. **Прадметам даследавання** з'яўляюцца заканамернасці ўплыву рэжымаў прыработкі на працаздольнае становішча электроннага модуля пластыкавай карткі.

Мэтаю работы з'яўляецца даследаванне эксплуатацыйных характэрыстык электронных пластыкавых насіцелей інфармацыі, распрацоўка мэтадаў і умоў выпрабаванняў на надзейнасць модуляў пластыкавых насіцелей інфармацыі і ацэнка іх падзейнасці.

Распрацавана мадэль развіцця адмовы электронных модуляў пластыкавых карт, якая пазваляе мінімізаваць колькасць выпадковых аргументаў функцыі. Эксперыментальна устаноўлен маскімальны беспамсрны кафіцыент аднароднасці хуткасці змены асноўнага параметра (тока ужывання) які роўны 5,49. У саадносінах з прапанаванай мадэллю развіцця адмовы электронных модуляў пластыкавых карт адносны запас даўгавечнасці для электронных модуляў пластыкавай карткі, значэнне якога саставляе каля 30 гаўдзін.

Распрацавана экспрэс-мэтодыка вызначэння надзейнасці электронных модуляў пластыкавых насіцеляў інфармацыі, якая улічвае час пачатку і заканчэння масавых адмоў. З дапамогай праграмы для разліку часу заканчэння масавых адмоў, вызначана значэнне часу заканчэння масавых адмоў, якое утварае 63 г.

Для ацэнкі надзейнасці электронных модуляў пластыкавых карт прапанавана мэтодыка уплыву разналькавых механізмаў адмоў на працаздольнасць электронных модуляў пластыкавай карткі.

Прапанавана мэтодыка, якая заснавана на ужыванні ўраўнення Аррэніуса, і якая дапамагае аптымізаваць рэжымы тэрмавытрымкі, для ўстранення пераважаючых адмоў.

Тэрэтычна абаснавана і практычна рэалізавана аперацыя тэрмаціклавання на этапе выхаднога кантролю электронных пластыкавых картак. З дапамогай аперацыя тэрмаціклавання якая уведзенна ў працэс зборкі пластыкавых картак, была адбракавана 25% электронных модуляў пластыкавых картак.

Разпрацаваныя мэтодыкі і прынцыпы ацэнкі надзейнасці электронных модуляў пластыкавых карт прапанавана выкарыстаць у мэтах зніжэння ранніх адмоў электронных модуляў.

РЕЗЮМЕ

**Таболич Татьяна Георгиевна. ТЕРМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ВЫЯВЛЕНИЯ РАННИХ ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ
ПЛАСТИКОВЫХ КАРТ**

Ключевые слова: электронный модуль, пластиковая карта, процесс развития отказа, ранний отказ, приработка, термовыдержка, время окончания массовых отказов.

Объектом исследования является электронный модуль пластиковой карты. **Предметом исследования** являются закономерности влияния режимов приработки на работоспособное состояние электронного модуля пластиковой карты.

Целью работы являются разработка новых методик испытаний на надежность электронных модулей пластиковых карт, термических методов и средств определения отказов и исследование эксплуатационных характеристик электронных модулей.

Разработана модель развития отказа электронных модулей пластиковых карт, позволяющая минимизировать количество случайных аргументов функции. Экспериментально установлен максимальный безразмерный коэффициент однородности скорости изменения определяющего параметра (тока потребления), равный 5,49. В соответствии с предложенной моделью развития механизма отказа рассчитан относительный запас долговечности для модулей электронных пластиковых носителей информации, значение которого составляет около 30 часов.

Разработана экспресс- методика определения надежности электронных модулей пластиковых карт, учитывающая времена начала и окончания массовых отказов. С помощью программы для расчета времени окончания массовых отказов, определено значение времени окончания массовых отказов, которое составляет 63 часа.

Для оценки надежности электронных модулей пластиковых карт предложена методика учета влияния различных механизмов отказов на работоспособность электронных модулей пластиковой карты.

Предложена методика, основанная на применении уравнения Аррениуса, позволяющая оптимизировать режимы термовыдержки, для устранения перемежающихся отказов.

Теоретически обоснована и практически реализована операция термоциклирования на этапе выходного контроля электронных пластиковых карт. С помощью операции термоциклирования, введенной в процесс сборки было отбраковано 25% электронных модулей таксофонных пластиковых карт.

Разработанные методики и оценки надежности электронных модулей пластиковых карт рекомендовано использовать в целях снижения ранних отказов электронных модулей.

SUMMARY

Tabolich Tatiana Georgievna. THE THERMAL METHODS OF DETECTION OF PLASTIC CARDS ELECTRONIC MODULES EARLY FAILURES

Key words: electronic modules, plastic card, process of failure development, early failure, burn-in, temperature endurance, time of mass fails termination.

The researches are concerned with electronic modules plastic cards. **Object of investigations** is electronic modules plastic cards. Methods and realizing means for provision of electronic plastic cards single components quality.

The aim of the work electronic modules plastic cards operating characteristics, development of security modules reliability testing methods and express-evaluation based on them.

Model of failure development electronic modules plastic cards components using main equations of mechanism of failure development model of general theory of mathematical statistics and probability theory is worked over. It is shown that electronic plastic card failure development depends on speed of basic efficiency index change uniformity coefficient, longevity reserve and parameters diversity; and time dependence of failure density has normal logarithmic distributive law. Maximum dimensionless coefficient of speed of basic determinant index change uniformity of predominant degradation process is experimentally determined equal to 5,49. According to developed model relative longevity reserve of electronic modules of plastic cards is estimated equal to 30 hours.

Method of express evaluation of electronic plastic cards reliability using main characteristic points of hazard distribution density, formed in result of intermittent failure revealing, is developed. It is shown that at degradation parameters valucs time of mass failure termination is 63 hours.

Method of optimization characteristic of burn-in operation, that foundation on application equations of Arrhenius.

Principles and methods of creation of quality and reliability control system based on developed methods of data collection and reliability express evaluation using distribution characteristic points are posed.

Theoretical and practical realization operation of thermocycling of output control of electronic plastic cards. Application operation of thermocycling shows, that 25% of electronic modules plastic cards was cull.

Methods and principles of evaluation of electronic modules plastic cards reliability using with high performance lowering early failures.

ТАБОЛИЧ ТАТЬЯНА ГЕОРГИЕВНА

**ТЕРМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ РАННИХ ОТКАЗОВ
ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ПЛАСТИКОВЫХ КАРТ**

Специальность 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать	20.12.2005.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.		Усл. печ. л. 1,4.
Уч.-изд. л. 1,3.	Тираж 60 экз.		Заказ 784.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.
Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0131518 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровка, 6.