

# ДИФФЕРЕНЦИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВВФ ПРИ ПРОЕКТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

**ВАЛЕРИЙ ЖАДНОВ**, к.т.н., доц., лауреат премии Правительства РФ, доцент МИЭМ  
**АЛЕКСАНДР ГАРШИН**, аспирант МИЭМ  
**ИВАН ЖАДНОВ**, директор департамента информационных технологий, ОАО «Авиакомпания Правительства Москвы «Атлант-Союз»

При создании современной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) одной из основных задач является обеспечение (и, по возможности, повышение) её показателей качества, среди которых особую роль играют показатели надёжности, определяющие, в конечном итоге, конкурентоспособность вновь разрабатываемой или модифицируемой аппаратуры.

Обеспечение надёжности РЭА отнюдь не тривиальная задача, поэтому номенклатура мероприятий, гарантирующих создание аппаратуры с заданным уровнем надёжности, регламентирована в [1]. В совокупности эти мероприятия составляют технологии надёжностно-ориентированного проектирования, методы которого приведены в [2].

Современные тенденции развития методов и средств надёжностно-ориентированного проектирования связаны, в первую очередь, с повышением точности и достоверности расчётной оценки надёжности, автоматизацией и интеграцией в инфраструктуру ИПИ (CAL5)-технологий.

Среди технологий надёжностно-ориентированного проектирования одно из важных мест занимают методы, направленные на обеспечение надёжности при воздействии внешних воздействующих факторов (ВВФ), т.к. именно их влияние в значительной степени определяет эксплуатационную надёжность аппаратуры.

Так, например, в [3] приведена следующая диаграмма распределения отказов аппаратуры стационарных помещений, сооружений (группа 1.1 по классификации [4]) по видам и причинам (см. рис. 1).

На первый взгляд, может показаться, что эксплуатационные отказы играют незначительную роль (всего 11,5%), а отказы из-за воздействия ВВФ и того меньше — 5% от общего числа. Однако это не совсем верно, т.к. эти данные

характерны для самых «мягких» условий эксплуатации (уровней ВВФ, близких к «нормальным условиям»).

Если принять во внимание, что остальные группы аппаратуры по классификации [4] характеризуются более «жесткими» условиями эксплуатации, а ВВФ являются ускоряющими факторами и для всех остальных видов и причин отказов аппаратуры, то становится очевидным, что процент отказов бортовой аппаратуры, обусловленных влиянием ВВФ, существенно выше.

Исходя из общепринятого положения о том, что надёжность аппаратуры закладывается при проектировании, реализуется при производстве и поддерживается при эксплуатации, очевидно, что особую роль играет проектная оценка надёжности аппаратуры. Т.к. на этапе проектирования экспериментальная статистика отказов, как правило, отсутствует, то на этапе проектирования для оценки надёжности применяют расчётные методы.

Расчёты показателей надёжности РЭА в настоящее время проводятся в соответствии с методиками, приведёнными в [5]. Согласно методике «Расчёт показателей безотказности электронного модуля первого уровня (ЭМ1)» [5], интенсивность отказов электрорадиоизделий (ЭРИ) для соответствующих условий эксплуатации определяется по методике справочника «Надёжность ЭРИ» [6], или используются экспериментальные данные разработчика.

Поскольку на ранних этапах проектирования экспериментальные данные, как правило, отсутствуют, то единственным средством оценки эксплуатационной интенсивности отказов является методика, приведённая в [6].

В соответствии с положениями [7], этот справочник является официальным изданием Министерства обороны и отраслей-разработчиков и изготовителей ЭРИ. Другими словами, любые расчёты интенсивности отказов ( $\lambda$ ),

электронных компонентов (ЭК) должны проводиться по методике и с использованием данных справочника.

Впрочем, приведённая в [6] «Методика» довольно-таки проста и сводится к расчёту  $\lambda_3$  по соответствующим математическим моделям вида:

$$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot \prod_{i=1}^I K_i \quad (1)$$

где:  $\lambda_6$  — базовая интенсивность отказов ЭК;  $K_i$  —  $i$ -й коэффициент математической модели;  $I$  — число коэффициентов математической модели.

Число коэффициентов математической модели и их значения зависят от класса (группы или подгруппы по классификации [6]), к которому принадлежит ЭК.

Для учёта влияния внешних воздействующих факторов на  $\lambda_3$  в модель (1) введен ряд коэффициентов, одним из которых является коэффициент режима  $K_p$ .  $K_p$  учитывает величину электрической нагрузки и (или) температуры окружающей среды (корпуса) и показывает, во сколько раз интенсивность отказов ЭК выше (ниже) при всех прочих равных условиях, чем при температуре 25°C и номинальной электрической нагрузке.

Заметим, несмотря на то что в [6]  $K_p$  отнесён к «Общим коэффициентам моделей», в подавляющее большинство моделей эксплуатационной интенсивности отказов ЭК он не входит.

Тем не менее, например, для класса «Резисторы», группа «Резисторы постоянные не проволочные», подгруппа «Металлодиэлектрические кроме прецизионных», для коэффициента режима  $K_p$  в [6] приведена следующая математическая модель:

$$K_p = A \cdot e^{B \cdot \left(\frac{t+273}{Nt}\right)^G} \cdot e^{-\left[\frac{P}{P_1} \cdot \left(\frac{t+273}{273}\right)\right]^H} \quad (2)$$

где:  $t$  — температура окружающей среды (корпуса ЭК);  $P$  — мощность в

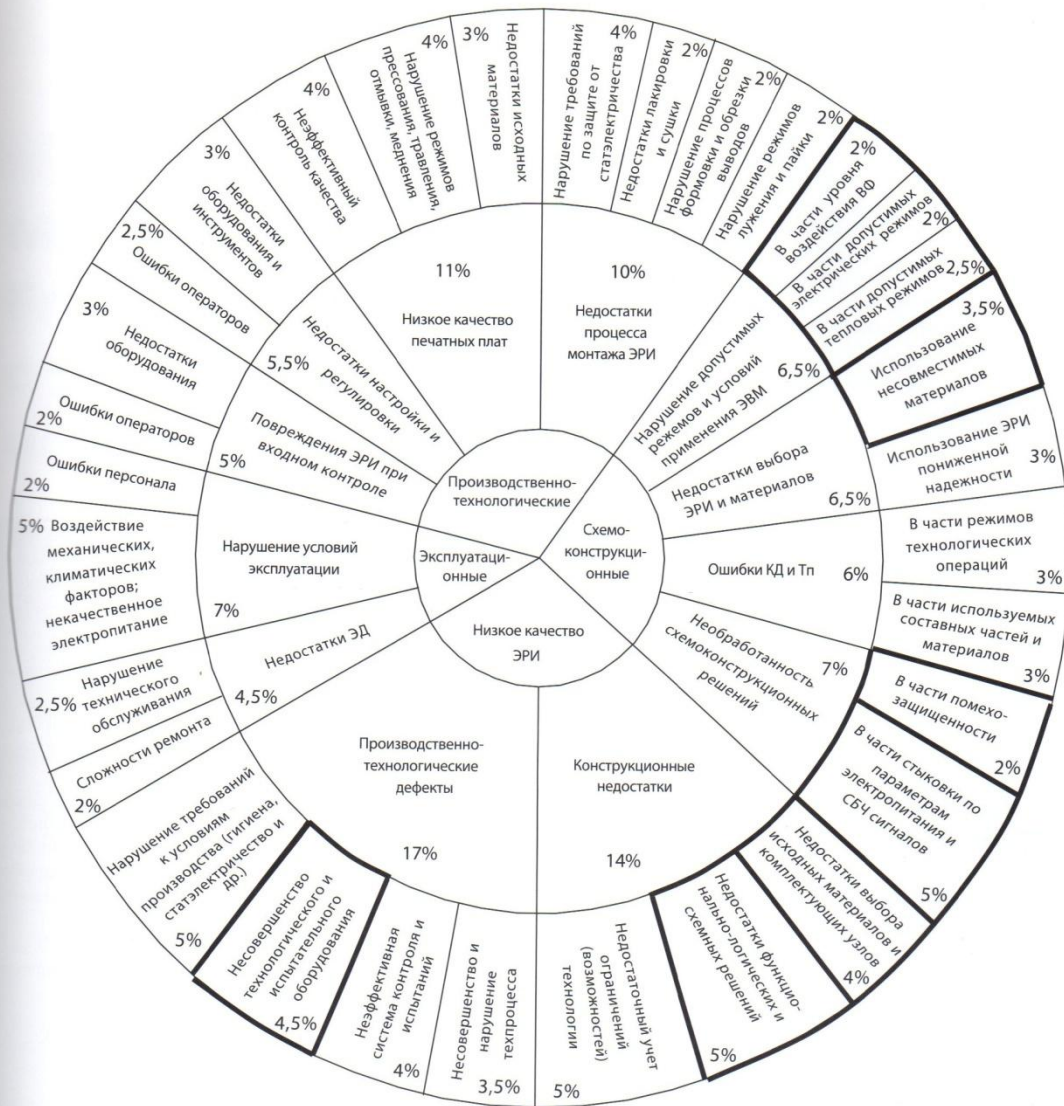


Рис. 1. Диаграмма распределения отказов аппаратуры стационарных помещений по видам и причинам

режиме применения;  $P_n$  — номинальная мощность (по ТУ);  $A, B, N_1, N_2, H, G$  — постоянные коэффициенты модели.

Как известно, в основу математической модели (2) положен закон Аррениуса:

$$K = A \cdot \exp\left(-\frac{E_A}{R \cdot T}\right) \quad (3)$$

где:  $K$  — скорость химической реакции;  $A$  — частота столкновений реагирующих молекул;  $E_A$  — энергия активации, Дж;  $R$  — универсальная газовая константа, Дж/(°К·моль);  $T$  — температура, °К.

Это уравнение применяется для описания температурной составляющей деградационного процесса, которое основано на т.н. «активационном комплексе». Понятие активационного

комплекса впервые введено шведским ученым С.А. Аррениусом в статистической теории скорости химических реакций в растворах.

Согласно этой теории, процессу химического взаимодействия предшествуют более быстрые процессы активации и установления статистического равновесия. При этих условиях оказывается справедливым уравнение Аррениуса, описывающее зависимость константы скорости химической реакции  $K_p$  от абсолютной температуры:

$$K_p(T) = A \cdot \exp\left(-\frac{E_A}{k \cdot T}\right) \quad (4)$$

где:  $K_p(T)$  — константа скорости химической реакции, отн. ед.;  $A$  — частота столкновений реагирующих молекул;

$E_A$  — энергия активации, Дж;  $k$  — постоянная Больцмана, Дж/°К;  $T$  — температура, °К.

Величина  $\exp[-E_A/(kT)]$  характеризует вероятность того, что частицы имеют энергию, достаточную для вступления в реакцию, или долю активных столкновений при температуре  $T$ ; коэффициент  $A$  является частотным фактором, означающим общее количество столкновений; постоянная  $E_A$  определяется для каждого процесса его особенностями.

При моделировании процессов отказов в твердых телах, возникающих в результате деградационных процессов, положения теории скоростей химических реакций часто переносятся и на эти процессы. Широкий круг физико-химических процессов, помимо чисто химических реакций, связан

с изменением концентрации вещества в результате переноса частиц и их взаимодействия (например, диффузия в объеме и на поверхности кристалла и корпуса ЭК, перемещение элементарных точечных и линейных дефектов и др.) и удовлетворяет основным законам этой теории.

Аналогия между деградационными процессами в твердых телах и химическими реакциями подсказывает простой способ моделирования температурной зависимости времени до отказа  $t(T_j)$  в виде экспоненциальной функции:

$$t(T_j) = \frac{t_0}{K_p} = \frac{t_0}{A \cdot \exp\left(\frac{E_A}{k \cdot T_j}\right)} = t_0 \cdot A \cdot \exp\left(\frac{E_A}{k \cdot T_j}\right) \quad (5)$$

где:  $t_0$  — время до отказа, ч;  $K_p$  — константа скорости химической реакции, отн. ед.;  $E_A$  — энергия активации, эВ;  $k$  — постоянная Больцмана, эВ/°K;  $T_j$  — температура окружающей среды (корпуса), °K.

Эта аналогия не формальна и находит практическое подтверждение при анализе реальных деградационных процессов в твердых телах. Однако на практике вместо  $K_p(T_j)$  используют отношение  $K_p(T_j)/K_p(T_0)$ , которое показывает, во сколько раз время до отказа при температуре  $T$  меньше, чем при  $T_0$ . При этом за  $T_0$  принимают температуру окружающей среды (корпуса), соответствующую нормальным условиям и равную 25°С. Тогда:

$$t(T) = t_0 \cdot \frac{K_p(T)}{K_p(T_0)} = t_0 \cdot \frac{A \cdot e^{\frac{E_A}{k \cdot T}}}{A \cdot e^{\frac{E_A}{k \cdot T_0}}} = t_0 \cdot \exp\left(\frac{E_A}{k \cdot T} - \frac{E_A}{k \cdot T_0}\right) = t_0 \cdot \exp\left[\frac{E_A}{k} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right] \quad (6)$$

где:  $t_0$  — время до отказа, ч;  $K_p$  — константа скорости химической реакции, отн. ед.;  $E_A$  — энергия активации, эВ;  $k$  — постоянная Больцмана, эВ/°K;  $T$  — рабочая температура окружающей среды (корпуса), °K;  $T_0$  — номинальная температура окружающей среды (корпуса), °K.

Кроме того, выражение (6) показывает физические источники статистического распределения времени до отказа. В этом случае вид функции распределения времени наработки до отказа  $F(t)$  (модели отказа) определяется видом функции (6). Кроме того, из (6) следует, что основой для формирования вида функции распределения случайной величины  $t(T_j)$  может являться только энергия активации  $E_A$  (т.к.  $k$  — константа, а  $t_0$  и  $T_j$  — переменные, т.е. детерминированные (не случайные) величины).

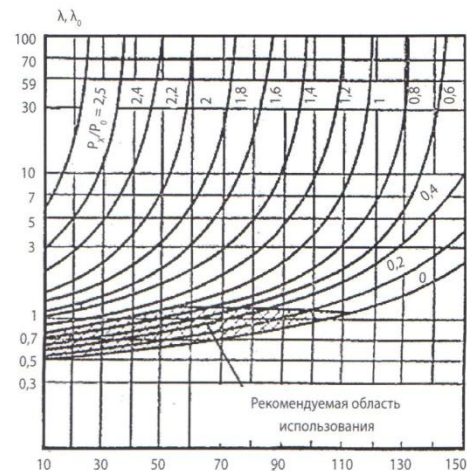


Рис. 2. Зависимость  $\lambda/\lambda_0$  от температуры окружающей среды

Поэтому, в отличие от (5), в (6) энергия активации является не детерминированной, а случайной величиной. Такая ситуация может возникнуть, например, в процессах, обусловленных диффузией, когда величина энергии активации изменяется от элемента к элементу, в зависимости от вариаций структурных дефектов.

Эти положения послужили толчком для развития т.н. «физики отказов», значительный вклад в развитие которой внёс Б.С. Сотсков, а её практические результаты нашли своё отражение в ранних редакциях справочника «Надёжность ЭРИ».

В работах Б.С. Сотскова (например, [8]) приведены математические модели эксплуатационной интенсивности отказов ЭК, учитывающие не только температуру окружающей среды (корпуса) но и давления  $P$  и влажности  $V$  и др. Рассмотрим эти модели на примере резистора.

Отказы в работе резистора определяются физико-химическими изменениями в материале, из которого изготовлен резистивный слой или его изолирующая оболочка. Если известна величина интенсивности отказов  $\lambda_0$  при нормальных условиях  $\theta = \theta_0$  и  $P = P_0$ , то можно найти интенсивность отказов при других значениях  $\theta = \theta_x$  и  $P = P_x$ .

Нагрев резистора определяется температурой окружающей среды  $\theta_{0x}$  и перегревом за счёт выделения тепла при прохождении тока:

$$\Delta\theta = R_0 P_x$$

где:  $R_0$  — тепловое сопротивление °C/Вт;  $P_x$  — выделяемая в резисторе мощность, Вт.

Значение рабочей температуры резистора определяется как:

$$T_x = 273 + \theta_{0x} + R_0 P_x$$

Тогда зависимость отношения  $\lambda_2/\lambda_1$  от температуры  $\theta_{0x}$  и величины мощности  $P$ , рассеиваемой в сопротивлении, может быть представлена в виде:

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = e^{\alpha(\theta_{x2} - \theta_{x1})} = e^{\left[\alpha(\theta_{02} - \theta_{01}) + \alpha R_0 (P_2 - P_1)\right]} \quad (7)$$

Графики зависимости  $\lambda_2/\lambda_1$  от температуры  $\theta_{0x}$  для различных  $P_x/P_0$  приведены на рисунке 2.

Изменение давления среды, окружающей резистор, меняет условия теплопередачи. В связи с этим необходимо (для сохранения той же величины интенсивности отказов  $\lambda$ ) уменьшить номинальное значение мощности, рассеиваемой резистором.

На рисунке 3 представлена зависимость:

$$\frac{P_{HFx}}{P_{H760}} = f(P_x) = f_1(H),$$

где:  $H$  — высота над уровнем моря.

Тогда итоговая зависимость отношения  $\lambda_2/\lambda_1$  от температуры и давления окружающей среды может быть представлена в виде:

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right) \cdot e^{\left[\alpha(\theta_{02} - \theta_{01}) + \alpha[R_{02}P_2 - R_{01}P_1]\right]} \quad (8)$$

где:

$$R_{02} = R_{01} \cdot \sqrt{\frac{P_2}{P_1}}$$

Влажность также существенно влияет на надёжность резистора, находящегося под напряжением. Это проявляется в уменьшении толщины слоя резистивного материала за счёт электролиза и других факторов (окисление и т.д.). Результирующее уменьшение слоя резистивного материала в единицу времени равно:

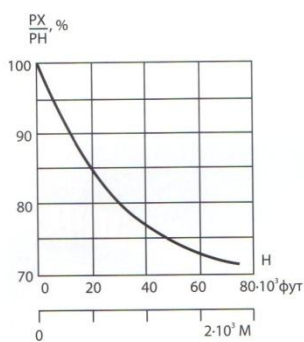


Рис. 3. Зависимость  $P/P_n$  от высоты над уровнем моря

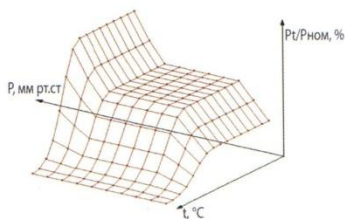


Рис. 4. Зависимость  $P/P_{ном}$  номинальной мощности резистора P1-37 от температуры и давления

$$k_p = k_{p1} + k_{p2} = -\frac{dm_1 + dm_2}{dt} = k_0 \cdot l + a_c \cdot m_x,$$

где:  $a_c$  — коэффициент пропорциональности;  $k_{p1}$  — скорость уменьшения толщины слоя резистивного материала вследствие электролиза;  $k_{p2}$  — скорость уменьшения толщины слоя резистивного материала вследствие других физико-химических процессов.

Интенсивность отказов, в свою очередь, равна:

$$\lambda = k_m \cdot k_p = k_m \cdot (k_0 \cdot l + a_c \cdot m_x) = k_1 \cdot \left( \frac{k_0 \cdot \pi \cdot D}{a_n} \cdot \frac{b_b}{\rho_b} \cdot U + a_c \cdot \pi \cdot D \cdot b \cdot h \right) \quad (9)$$

где:  $h$  — толщина резистивного слоя;  $b$  — ширина проводящего слоя;  $\rho_b$  — удельное сопротивление;  $b_b$  — толщина пленки воды.

Однако рассмотренные выше модели, как и приведённые в [8], не нашли широкого применения в инженерной практике, т.к. требуют трудоемких экспериментальных исследований для определения значений их коэффициентов.

Тем не менее некоторые модели [6] также позволяют учитывать влияние ряда ВВФ на  $\lambda$ . Например, в модели (2) одним из параметров является номинальная мощность резистора  $P_n$ . Как было показано выше,  $P_n$  не является константой, а зависит от температуры, давления и влажности окружающей среды. Такие зависимости приводятся в ТУ на ЭК.

На рисунке 4 в качестве примера приведён график зависимости отношения номинальной мощности  $P$  к номинальной по ТУ ( $P_{ном}$ ) от температуры и давления для резистора типа P1-37.

Впрочем, с одной стороны, таких моделей в [6] относительно немного, а с другой стороны, они позволяют учитывать влияние лишь ограниченного числа ВВФ (в основном климатических). В то же время в [4], наряду с климатическими факторами, приведены также механические факторы воздействия специальных сред и др. (см. табл. 1).

Для учёта влияния этих факторов в математические модели (1) введен коэффициент эксплуатации  $K_3$ .  $K_3$  учитывает степень жесткости условий эксплуатации и показывает, во сколько раз интенсивность отказов ЭРИ в РЭА конкретного класса (группы эксплуатации

по классификации [4]) выше при всех прочих равных условиях, чем в наземной стационарной РЭА (группа 1.1).

Нетрудно заметить, что  $K_3$ , по сути, представляет собой интегральную оценку степени влияния ВВФ на эксплуатационную надёжность ЭК т.к. значение  $K_3$  зависит не от номенклатуры и характеристик ВВФ, а только от группы эксплуатации по классификации [4].

Такой подход к учёту влияния ВВФ не вызывал бы особых возражений, если бы не одно обстоятельство: в [4] приведены уровни ВВФ в месте установки аппаратуры, в то время как уровни тех же ВВФ в месте установки ЭК могут отличаться в десятки и сотни раз [9].

Приведённые в [6] методики отчасти позволяют разрешить эту проблему следующим образом: значение  $K_3$  следует выбирать не для группы эксплуатации аппаратуры, заданной в техническом задании, а предварительно, на основе номенклатуры ВВФ, действующих на ЭК, и их характеристик в месте его установки, и по данным [4] идентифицировать новую группу эксплуатации. И только после этого выбирать значение  $K_3$ , но уже для этой группы.

Такая возможность реализована в системе АСОНИКА-К-СЧ программного комплекса АСОНИКА-К [10] (см. рис. 5).

Однако не всегда удаётся подобрать группу эксплуатации, т.к. уровни ВВФ в месте установки ЭК могут не совпадать с диапазонами изменения ВВФ той или иной группы. Кроме того, и в ТЗ на аппаратуру довольно часто встречается требование вида: «Группы эксплуатации аппаратуры ГОСТ РВ 20.39.304-98 — Х,Х, за исключением...», после чего идет перечень тех ВВФ и их характеристик, которые не совпадают с приведёнными в [4].

В этом случае для более полной реализации технологий надёжностно-ориентированного проектирования целесообразно перейти от интегральной оценки влияния ВВФ к дифференцированной, т.е. идентификацию значений  $K_3$  проводить не по совокупности ВВФ, а по каждому фактору в отдельности.

Тогда итоговое значение  $K_3$  может быть получено на основе следующего соотношения:

$$K_3 = -\ln \left\{ 1 - \sum_{i=1}^2 \left[ \frac{n_i}{100} \cdot \left[ \sum_{j=1}^j \frac{m_{i,j}}{100} \right] \times \left[ 1 - \exp \left\{ -K_3(z_{i,j}^{раб.}) \right\} \right] \right] \right\} \quad (10)$$

где:  $n_i$  — процент отказов по  $i$ -му виду ВВФ, %;  $i$  — номер вида ВВФ (механические воздействия —  $i = 1$ ; климатические —  $i = 2$ );  $m_{i,j}$  — процент отказов по  $j$ -му типу ВВФ  $i$ -того вида, %;  $j$  — номер

Таблица 1. Номенклатура и параметры основных ВВФ

№ п/п	Вид воздействия	Параметры воздействия
1	Синусоидальная вибрация	Амплитуда ускорения, g
		Диапазон частот, Гц
2	Случайная широкополосная вибрация	Спектральная плотность виброускорения, м/с <sup>2</sup> g
		Диапазон частот, Гц
3	Акустический шум	Диапазон частот, Гц
		Уровень звукового давления, дБ
4	Механический удар одиночного действия	Пиковое ускорение, g
		Длительность ударного ускорения, мс
5	Механический удар многократного действия	Пиковое ускорение, g
		Длительность ударного ускорения, мс
6	Сейсмический удар взрыва	Ускорение, g
		Длительность ударного ускорения, мс
7	Линейное ускорение	Значение ускорения, g
8	Атмосферное пониженное давление	При эксплуатации, мм. рт. ст.
		При авиатранспортировке, мм. рт. ст.

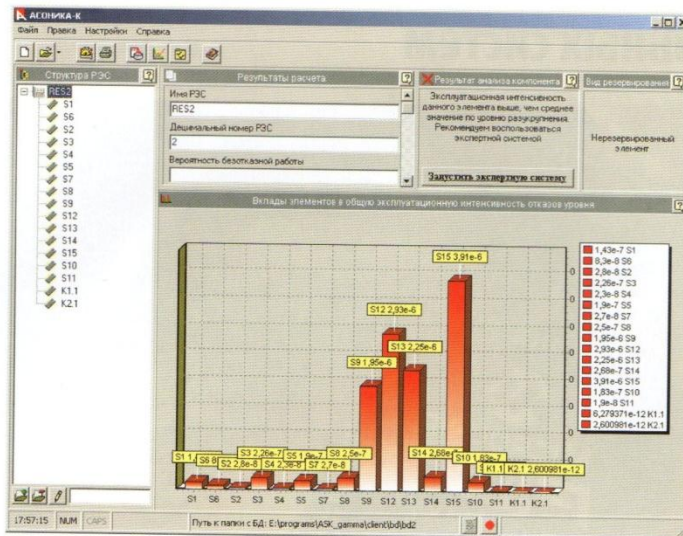


Рис. 5. Система АСОНИКА-К-СЧ: интерфейс пользователя

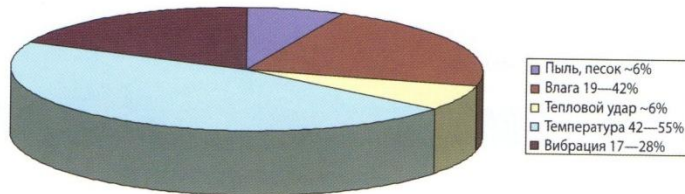


Рис. 6. Распределение отказов по видам ВВФ

типа ВВФ ( $j = 1, J$ );  $J_j$  — количество типов ВВФ  $i$ -го вида;

$$K_3(z_{i,j}^{раб}) = \min_{j=1, J_i} \{K_3(z_{i,j}^k)\},$$

при условии, что величина  $z_{i,j}^{раб}$  принадлежит области  $Z_{i,j}^k$ ,  $z_{i,j}^{раб}$  — рабочее (расчетное) значение  $j$ -го ВВФ  $i$ -го вида, воздействующего на данный ЭК;  $Z_{i,j}^k$  — область изменения  $j$ -го ВВФ  $i$ -го вида, действующего в месте установки РЭА (заданная для  $k$ -й группы в [4]).

Значения  $n_i$  и  $m_{i,j}$  можно получить по результатам испытаний и подконтрольной эксплуатации на предприятиях-разработчиках РЭА. Так, на рисунке 6 в качестве примера показано распределение эксплуатационных отказов РЭА по видам ВВФ, приведенное в [11].

Очевидно, что применение модели (10) в инженерной практике приведет к существенному повышению трудоемкости расчетов надежности ЭК, не говоря уже об аппаратуре в целом. Поэтому естественным выходом в данной ситуации является создание программных средств, реализующих методы [5, 6], дополненные моделью (10).

Основой для создания такого программного обеспечения послужила система АСОНИКА-К-СЧ.

Для реализации метода расчета  $K_3$  справочная часть её базы данных (БД) была дополнена специализированной БД, в которой содержится номенклатура и характеристики ВВФ из [4], а также проценты отказов по видам ВВФ.

Для снижения объема исходной информации и при этом уменьшения числа возможных ошибок при вводе данных был разработан преобразователь выходных файлов подсистемы АСОНИКА-ТМ.

Конвертор позволяет загружать данные (тепловые и механические режимы работы ЭК) из выходных файлов подсистемы АСОНИКА-ТМ в проекты системы АСОНИКА-К-СЧ для реализации одного из важнейших принципов ИПИ(CALS)-технологий — электронного обмена данными.

Кроме того, дифференцированная оценка влияния ВВФ позволяет уже в ходе проведения расчета выявить факторы, наиболее сильно влияющие на значение  $K_3$ , а следовательно, предложить рекомендации, направленные на повышение надежности, что является одной из основных операций технологий надежно-ориентированного проектирования.

Однако для большей обоснованности таких рекомендаций одним только характеристик надежности ЭК, необ-

ходимых для расчетов  $\lambda_3$ , оказалось недостаточно. Поэтому в справочную часть базы данных (СЧБД) был добавлен ряд таблиц, содержащих изображения ЭК, значения его геометрических характеристик и др. Изменение СЧБД потребовало создания новой версии модуля администрирования, который позволяет не только редактировать (добавлять, изменять, удалять) данные в ней, но и просматривать её содержимое, т.е., по сути, СЧБД превратилась в информационно-справочную систему.

Задавая критерии поиска ЭК (класс или типоминимал), пользователь может получить их изображение и параметры. Возможен и расширенный поиск ЭК как по параметрам, так и по типу корпуса.

Для непосредственного расчета  $K_3$  по модели (10) был создан модуль расчета коэффициента эксплуатации. Модуль предназначен для работы с проектами, созданными в системе АСОНИКА-К-СЧ, и позволяет ввести рабочие значения ВВФ ( $z_{i,j}^{раб}$ ) и процент отказов по  $j$ -му типу ВВФ  $i$ -го вида ( $m_{i,j}$ ) на каждый ЭК. Возможен как «ручной» ввод рабочих значений ВВФ ( $z_{i,j}^{раб}$ ), так и автоматический путем преобразования выходных файлов подсистемы АСОНИКА-ТМ.

После ввода данных проводится расчет. Основными операциями алгоритма расчета являются:

- для каждого ВВФ ищется группа аппаратуры со значениями воздействий, большими или равными рабочим ( $z_{i,j}^{раб}$ );
- для найденных групп аппаратуры определяются значения коэффициентов эксплуатации  $K_3$ ;
- если для одного и того же ВВФ найдено несколько  $K_3$ , из них выбирается наименьший;
- рассчитывается значение  $K_3$  ЭК по модели (10);
- на основании новых значений  $K_3$  пересчитываются значения интенсивности отказов ЭК для режимов эксплуатации и хранения;
- на основании новых значений интенсивностей отказов ЭК пересчитываются значения показателей надежности аппаратуры.

Интерфейс пользователя модуля расчета коэффициента эксплуатации приведен на рисунке 7.

Кроме того, модуль позволяет провести графический анализ влияния каждого ВВФ на показатели надежности ЭК.

И, наконец, данные, используемые при дифференцированной оценке влияния ВВФ, и данные, содержащиеся в Информационно-справочной системе, позволяют автоматизировать формирование карт режимов работы (КРР) [12].

В методике [5] КРР отнесены к исходным данным, необходимым для расчета надежности ЭМ1, т.е. перед проведением расчета комплект КРР

должен быть полностью оформлен. Однако это, на наш взгляд, абсолютно неверно, т.к. противоречит основным принципам технологий надёжно-ориентированного проектирования и ИПИ (CALS)-технологий.

Во-первых, исходными данными является не комплект КРП (документация, содержащая константы), а данные, характеризующие режимы работы ЭК (переменные проектирования).

Во-вторых, наличие оформленного комплекта КРП на практике приводит лишь к тому, что значительная часть мероприятий, направленных на обеспечение (или повышение) надёжности, и так или иначе связанных с изменением режимов работы ЭК, не может быть реализована из-за необходимости повторного оформления документации (комплекта КРП).

Поэтому формирование КРП (выпуск документации) должно проводиться не до, а после проведения расчётов и подтверждения установленных требований по надёжности на аппаратуру.

Модуль формирования карт режимов работы позволяет сформировать комплект КРП в соответствии с требованиями [12]. Если ЭК был импортирован из ПЧБД (или АЧБД) системы АСОНИКА-К-СЧ, то кроме значений параметров по ТУ, в карты автоматически вносятся и значения рабочих режимов, введённые при расчёте показателей надёжности в системе АСОНИКА-К-СЧ. Если значения рабочих режимов ЭК больше значений по ТУ, то они выделяются красным цветом. Сформированные карты рабочих режимов сохраняются в формате .doc редактора MS Word.

В заключение следует отметить, что использование модели (10) позволяет проводить расчёты аппаратуры, содержащей ЭК не только отечественного, но и иностранного производства, несмотря на то, что ни классификация аппаратуры, ни численные значения ВВФ в [6] и зарубежных справочниках (см., например, [13]) не совпадают, т.к. в этом случае значение  $K_p(\pi_r)$  определяется не по вектору ВВФ, действующему на аппаратуру, а по вектору ВВФ, действующему непосредственно на ЭК.

Использование дифференцированной оценки влияния ВВФ в расчётах эксплуатационной интенсивности отказов ЭК в итоге даёт значительно меньшую погрешность, чем в случае, когда используется общепринятое допущение о том, что в аппаратуре данной группы для всех ЭК одного типоминимала  $K_p \approx \text{const}$  (значения рабочих значений ВВФ в месте установки ЭК принимаются равными значениям ВВФ в месте установки аппаратуры).

Кроме того, расширение возможностей в части детального анализа влияния каждого ВВФ на надёжность

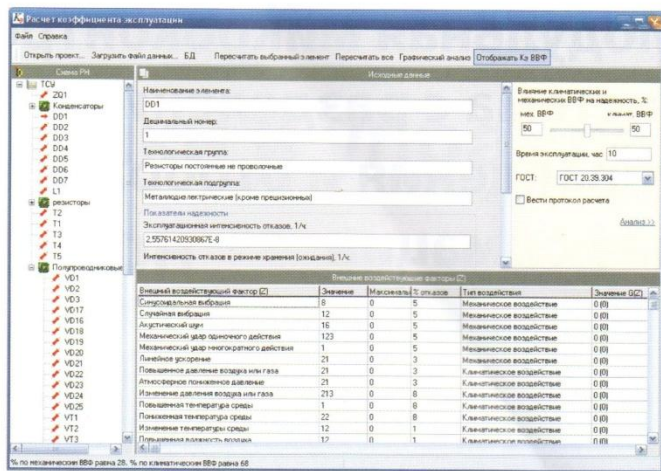


Рис. 7. Модуль расчёта коэффициента эксплуатации: интерфейс пользователя

ЭК, которые позволяют научно обосновать необходимость проведения тех или иных мероприятий, направленных на обеспечение (повышение) надёжности, несомненно, является одним из перспективных направлений дальнейшего совершенствования технологий надёжно-ориентированного проектирования аппаратуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ РВ 20.39.302-98. КСОТТ. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования к программам обеспечения надёжности.
2. РДВ 319.01.10-98. КСОТТ. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Методы надёжно-ориентированного проектирования и изготовления РЭА.
3. В.В. Гольдин Информационная поддержка жизненного цикла электронных средств/В.В. Гольдин, В.Г. Журавский, А.В. Сарафанов и др. — М.: Радио и связь, 2002. — 386 с.
4. ГОСТ РВ 20.39.304-98. КСОТТ. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования стойкости к внешним воздействующим факторам.
5. ОСТ 4Г 0.012. 242-84. Аппаратура радиоэлектронная. Методика расчёта показателей надёжности.
6. Надёжность ЭРИ: Справочник./ 22 ЦНИИ МО РФ. — М.: МО РФ, 2006. — 641 с.
7. РДВ 319.01.20-98. Положение о справочнике «Надёжность электрорадиоизделий».

8. Б.С. Сотсков. Основы теории и расчёта надёжности элементов и устройств автоматики и вычислительной техники. / Б.С. Сотсков. — М.: Высшая школа, 1970. — 270 с.

9. А.С. Шалумов. Автоматизированная система АСОНИКА для проектирования высоконадёжных радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий: Том 1. / А.С. Шалумов, Ю.Н. Кофанов, В.В. Жаднов и др. // Под ред. Ю.Н. Кофанова, Н.В. Малютина, А.С. Шалумова. — М.: Энергоатомиздат, 2007. — 538 с.

10. А.С. Строгонов. Обзор программных комплексов по расчёту надёжности сложных технических систем. / А.С. Строгонов, В. Жаднов, С. Полесский. // «Компоненты и технологии», № 5 (70), 2007. — с. 74—81.

11. Писарев, В. Система испытаний — основа обеспечения надёжности. / В. Писарев, М. Критенко, В. Постнов. // «Электроника: НТБ», № 5, 2002. — с. 32—35.

12. РДВ 319.01.09-98. КСОТТ. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Руководство по оценке правильности применения ЭРИ в РЭА.

13. MIL-HDBK-217F. Reliability prediction of electronic equipment.

ООО  
СМР

ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН  
**www.SMD.ru**

## электронные компоненты для поверхностного монтажа

НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК

Кнопка с ходом 1,3 мм  
Алюминиевые конденсаторы с твёрдым электролитом

Москва, ул. Балтийская, 13; e-mail: sale@smd.ru  
Тел.: (499) 158-7396, (495) 940-6244, (499) 943-8780