

Жаднов В.В., к.т.н., доцент, профессор Департамента электронной инженерии, yzhadnov@hse.ru

Полесский С.Н., к.т.н., доцент Департамента компьютерной инженерии НИУ ВШЭ

Кулыгин В.Н., магистр техники и технологий, аспирант Департамента электронной инженерии НИУ ВШЭ

Лушипа И.Л., аспирант Департамента электронной инженерии НИУ ВШЭ

Компьютерное прогнозирование показателей долговечности вычислительной техники

В работе рассмотрена методика прогнозирования показателей долговечности вычислительной техники с использованием компьютера. Представлены основные методики прогнозирования долговечности. Создан алгоритм работы средств автоматизации расчета показателей долговечности. А также разработана база данных по характеристикам долговечности. Статья написана в рамках научного проекта (№ 15-05-0029), выполненного при поддержке программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2015 году

В статье рассматриваются вопросы автоматизированной оценки показателей долговечности технических средств вычислительной техники. Приведены основные расчетные соотношения, использованные при создании алгоритма функционирования программного обеспечения, и модель базы данных по характеристикам долговечности компонентов компьютерной техники.

Методики прогнозирования показателей долговечности

К современным электронно-вычислительным средствам (ЭВС) ответственного назначения предъявляются высокие требования по надежности, которые необходимо обеспечивать их производителям. Так, например, сроки службы бортовых вычислителей, применяющихся в космосе, исчисляются десятками лет. Для подтверждения показателей долговечности, к которым относится срок службы [1], на ранних этапах проектирования ЭВС применяются расчетные методы, основанные на стандартизиро-

ванных методиках [2] и данных о характеристиках надежности электронной компонентной базы (ЭКБ) [3]. Следует отметить, что оценка показателей долговечности важна не только для подтверждения возможности создания ЭВС с требуемыми показателями, но и определяет время, в течение которого интенсивности отказов ЭКБ можно считать постоянными (этап 2 на рис. 1).

На рис. 1 цифрами обозначены:

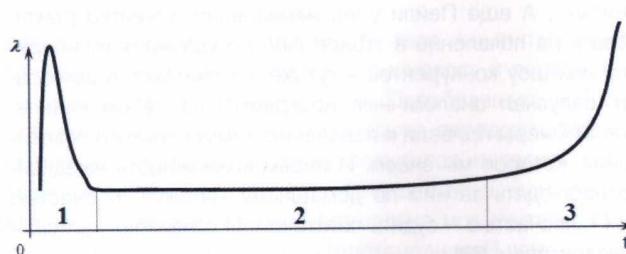
- 1 – этап приработки;
- 2 – этап нормальной эксплуатации;
- 3 – этап износа и старения.

Как видно из рис. 1, показатели долговечности характеризуют то время, начиная с которого интенсивность отказов ЭКБ резко возрастает в результате процессов износа и старения (этап 3 на рис. 1). Отказы, наступающие вследствие износа и старения ЭКБ, относятся к категории «поздних» отказов. Доля таких отказов на этапе нормальной эксплуатации должна быть настолько незначительной в общем потоке отказов ЭКБ, чтобы она не влияла на ее характеристики безотказности (интенсивность отказов). В силу этого гамма-процентные показатели долговечности нормируются для относительно высоких значений γ (95% для гамма-процентного ресурса (срока службы) и 99,9% для минимальной наработки [2, 3]).

В соответствии с принятыми в настоящее время методиками [2] расчет показателей долговечности ЭВС проводится в два этапа:

- ориентировочный расчет;
- уточненный расчет.

Рисунок 1. Типовая зависимость интенсивности отказов ЭКБ от времени



Расчетные соотношения, используемые в методики расчета показателей типа «ресурс» и «срок службы», не отличаются друг от друга, за исключением исходных данных.

Так, например, исходными данными для расчетов показателей типа «ресурс» служат:

- перечень компонентов компьютерной техники (ККТ), входящих в состав ЭВС;
- гамма-процентные ресурсы компонентов;
- средние ресурсы компонентов;
- минимальные наработки компонентов;
- вероятность (γ), для которой рассчитывается гамма-процентный ресурс ЭВС;
- модель эксплуатации ЭВС;
- критерий предельного состояния ЭВС.

Перечень компонентов формируется на основе конструкторской документации на ЭВС (ведомости применяемых элементов, перечня элементов, спецификации и др.).

Гамма-процентный ресурс компонентов определяется по данным, приведенным в справочнике [3] или в технических условиях (ТУ). В справочнике [3] приведены нормируемые в ТУ значения гамма-процентной наработки до отказа (T_{γ}), а по компонентам, разработанным в соответствии с требованиями комплекса стандартов «Климат-6», – значения минимальной наработки ($T_{n.m}$) и гамма-процентного ресурса ($T_{p\gamma}$).

Для компонентов, гамма-процентный ресурс которых приведен для вероятности γ , отличной от той, для которой проводится расчет гамма-процентного ресурса ЭВС, гамма-процентный ресурс для требуемого значения вероятности γ пересчитывается по формуле [2]:

$$T_{p\gamma} = \frac{(1-0,15 \cdot \chi_{\gamma})}{(1-0,15 \cdot \chi_{\gamma_1})} \cdot T_{p\gamma_1}, \quad (1)$$

где χ_{γ} – квантиль нормального распределения для вероятности γ ; χ_{γ_1} – квантиль нормального распределения для вероятности γ_1 ; $T_{p\gamma_1}$ – гамма-процентный ресурс компонента по ТУ.

Для компонентов, ресурс которых задается в количествах циклов работы (срабатываний т.д.), перевод его в часы осуществляется по формуле:

$$T_{p\gamma} = \frac{N_{p\gamma}}{C}, \quad (2)$$

где $N_{p\gamma}$ – гамма-процентный ресурс компонента; С – число циклов в час.

Значение критерия предельного состояния вычисляется в зависимости от допустимого (заданного в Т3) уровня снижения эффективности функционирования ЭВС по формуле:

$$K_{nc} = \frac{n}{N} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где n – максимально-допустимое число компонентов, выработавших ресурс; N – суммарное количество числа компонентов в ЭВС.

В случае если критерием предельного состояния ЭВС из-за снижения эффективности ее использования является выработка ресурса у любого компонента, входящего в его состав, гамма-процентный ресурс ЭВС равен:

$$T_{p\gamma} = \min_{n=1,N} \{T_{p\gamma_1}, T_{p\gamma_2}, \dots, T_{p\gamma_n}, \dots, T_{p\gamma_N}\}, \quad (4)$$

где $T_{p\gamma_n}$ – гамма-процентный ресурс n -го компонента.

Если полученное по (4) значение $T_{p\gamma}$ не удовлетворяет требованиям, проводят уточненный расчет, в котором дополнительно учитываются дополнительные параметры режимов и условий применения, такие как:

- коэффициенты нагрузки компонентов по «критически-му» параметру;
- временные графики работы компонентов (циклографмы) в режиме работы ЭВС;
- модель эксплуатации ЭВС.

Если же и в этом случае окажется, что ресурс требуемого, то компонентами, у которых ресурс не удовлетворяет условию:

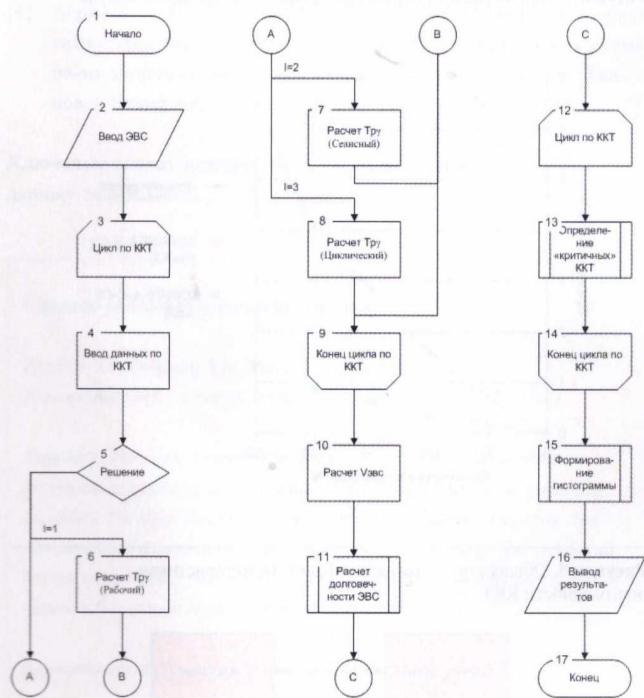
$$T_{p\gamma} \leq T_{p\gamma_n}, \quad (5)$$

дополняется комплект ЗИП в необходимом количестве.

Автоматизация расчетов показателей долговечности
Несмотря на то что расчетные соотношения, приведенные в [2] достаточно простые, при большом количестве компонентов трудоемкость расчетов показателей долговечности резко возрастает. Поэтому в ходе выполнения работ была разработана автоматизированная система комплексной оценки долговечности (АСКОД), укрупненный алгоритм функционирования которой приведен на рис. 2.

Алгоритм включает в себя макроблоки, описание которых приведено ниже:

Рисунок 2. Алгоритм функционирования программы АСКОД



Блок 1. Начало. Запуск программы АСКОД.

Блок 2. Ввод ЭВС. Ввод требуемых значений показателей долговечности ЭВС, коэффициента интенсивности эксплуатации, вероятности γ , критерия предельного состояния.

Блок 3. Начало цикла по компонентам.

Блок 4. Ввод ККТ. Ввод значений минимальной наработки, гамма-процентного ресурса, вероятности γ_1 , минимального срока хранения, коэффициента интенсивности эксплуатации.

Блок 5. Решение. Определение модели эксплуатации ЭВС.

Блок 6. Расчет $T_{p,y}$ (раб). Расчет коэффициента вариации ресурса и гамма-процентного ресурса компонента для режима работы.

Блок 7. Расчет $T_{p,y}$ (сесанс). Расчет коэффициента вариации ресурса, гамма-процентного срока хранения и гамма-процентного ресурса компонента для сеансового режима работы.

Рисунок 3. АСКОД: результаты расчета ПЭВМ



Рисунок 4. Время расчета наработка на отказ электронного модуля

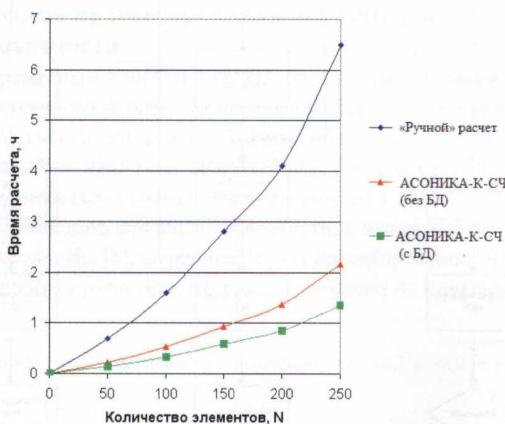
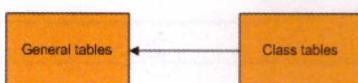


Рисунок 5. Общая структура таблиц БД по характеристикам долговечности ККТ



Блок 8. Расчет $T_{p,y}$ (цикл). Расчет коэффициента вариации ресурса, гамма-процентного срока хранения и гамма-процентного ресурса компонента для циклического режима применения.

Блок 9. Окончание цикла по компонентам.

Блок 10. Расчет v ЭВС. Расчет коэффициента вариации ресурса ЭВС.

Блок 11. Расчет гамма-процентного ресурса, гамма-процентного срока службы, среднего ресурса и среднего срока службы ЭВС.

Блок 12. Начало цикла по компонентам.

Блок 13. Определение «критических» ККТ. Формирование перечня «критических» компонентов.

Блок 14. Окончание цикла по компонентам.

Блок 15. Формирование гистограммы. Формирование гистограммы гамма-процентных ресурсов компонентов.

Блок 16. Вывод результатов расчетов.

Блок 17. Конец. Завершение работы программы АСКОД.

Особенностью алгоритма, приведенного на рис. 2, является то, что расчет гамма-процентного ресурса для режима работы – $T_{p,y}$ (раб) – в Блоке 6 на рис. 2 проводится по формуле:

$$T_{p,y}(\text{раб}) = \frac{T_{p,y}}{K_3}, \quad (6)$$

где $T_{p,y}$ – гамма-процентный ресурс ККТ по ТУ; K_3 – коэффициент эксплуатации.

Расчет гамма-процентного ресурса компонента для сеансового режима работы – $T_{p,y}$ (сесанс) – в Блоке 7 на рис. 2 проводится по формуле:

$$T_{p,y}(\text{сесанс}) = \frac{1}{\frac{K_{И,Э_{раб}}}{T_{p,y}(\text{раб})} + \frac{(1 - K_{И,Э_{раб}}) \cdot K_3}{T_{p,y}(\text{раб})}}, \quad (7)$$

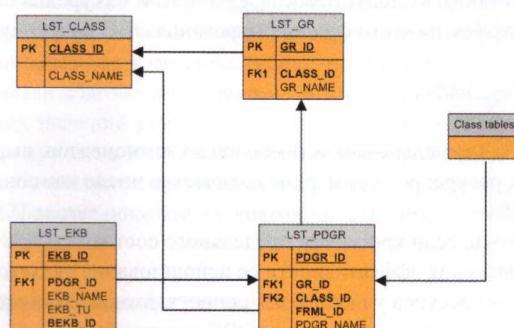
где $K_{И,Э_{раб}}$ – коэффициент интенсивности эксплуатации ККТ в режиме работы; $T_{p,y}$ (раб) – гамма-процентный срок хранения ККТ.

Расчет гамма-процентного срока службы компонента для циклического режима применения – $T_{c,сл,чен}$ (цикл) – в Блоке 8 на рис. 2 проводится по формуле:

$$T_{p,y}(\text{цикл}) = (1 - K_{И,Э_{раб}}) \cdot T_{p,y}(\text{сесанс}) + \frac{K_{И,Э_{раб}} \cdot T_{p,y}(\text{раб})}{K_{сл}}, \quad (8)$$

где $K_{И,Э_{раб}}$ – коэффициент интенсивности эксплуатации ККТ в режиме хранения; $K_{сл}$ – коэффициент, учитывающий условия хранения ЭВС.

Рисунок 6. Структура таблиц «General tables»



На рис. 3 в качестве примера приведены результаты расчета показателей долговечности персонального компьютера с помощью программы АСКОД.

Однако, как показал опыт автоматизированной оценки показателей долговечности ЭВС с помощью программы АСКОД, значительную часть времени занимает поиск исходных данных (характеристик долговечности ККТ). В то же время опыт расчетов показателей безотказности электронных модулей с помощью системы АСОНИКА-К-СЧ [4] показывает, что это время можно существенно сократить, если создать базу данных (БД). Так, на рис. 4 приведена зависимость времени расчета наработки на отказ электронного модуля в зависимости от количества комплектующих элементов.

Как видно из рис. 3, время расчета наработки на отказ электронного модуля, состоящего из 250 элементов, при использовании системы АСОНИКА-К-СЧ без БД сокращается в три раза по сравнению с «ручным» расчетом, а при использовании БД - в пять раз.

Поэтому дальнейшим развитием данного программного продукта является создание базы данных по характеристикам долговечности ККТ. Поскольку программа АСКОД будет интегрирована с программным комплексом АСОНИКА-К [4], то за основу создаваемой БД была взята модель базы данных системы АСОНИКА-К-СЧ, обобщенная структура таблиц которой показана на рис. 5.

В таблицах «General tables» хранится информация о типономиналах ККТ, их технологических классах, группах и подгруппах. Структура таблиц «General tables» представлена на рис. 6.

Таблица «LST_EKB» служит для хранения основной информации о ККТ. В ней находятся номер ТУ, тип ККТ, его подгруппа и ID-номера. Таблица «LST_CLASS» служит для хранения информации о классах ККТ. В ней находится ID-номера классов их имена. Таблица «LST_GR» служит для хранения информации о группах. В ней находятся ID-номера групп, их имена и ID-номер класса. Таблица «LST_PDGR»

служит для хранения информации о подгруппах ККТ. В ней находятся ID-номера подгрупп, их имена, ID-номер группы, ID-номер класса и формулы расчета характеристик долговечности. Эта таблица также служит связи таблиц «General tables» с таблицами «Class tables».

В таблицах «Class tables» хранится информация о ресурсах ККТ каждого типономинала и коэффициенты математических моделей расчета ресурса.

В качестве примера на рис. 7 приведена структура таблиц «Class tables» класса «Резисторы».

Таблицы «TRES_krej», «TRES_kvvk», «TRES_kvke», «TRES_ogr», «TRES_korn», «TRES_kvns», «TRES_kvnm», «TRES_kogn», «TRES_keks» и «TRES_kvd» служат для хранения информации, необходимой для расчета ресурса ККТ. В них хранятся поправочные коэффициенты и константы, использующиеся в математических моделях ресурса ККТ. Таблицы «TRES_subgen» и «TRES_tmn» служат для хранения информации о характеристиках долговечности ККТ. В них хранятся значения гамма-процентных ресурсов, минимальных наработок и сроков хранения.

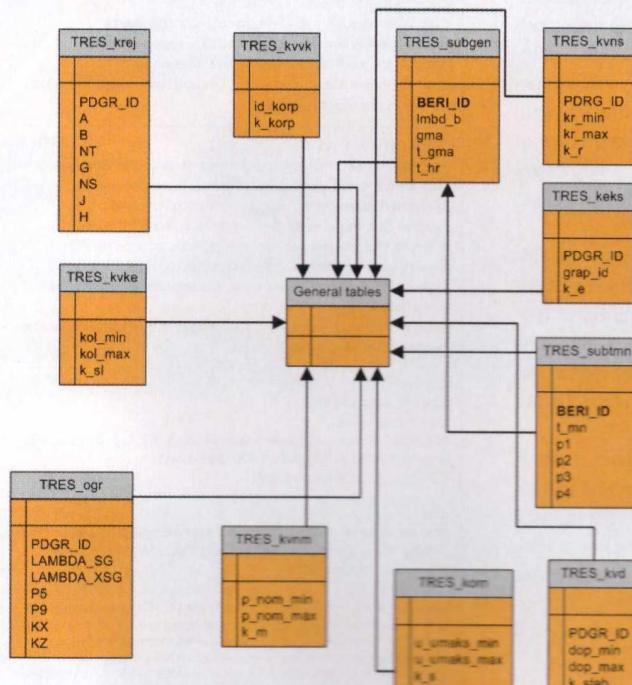
Заключение

Таким образом, использование программы АСКОД при проектировании электронно-вычислительных средств позволит не только снизить трудоемкость прогнозирования показателей их долговечности, но и выявить «критичные» компоненты. Это может оказаться полезным не только при разработке вычислительной техники ответственного назначения, но и для обоснования выбора компонентов для локальных вычислительных сетей, информационных систем и др., а также формирования запасов в комплектах ЗИП. EOF

- [1] ГОСТ 27.003-90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности.
- [2] ОСТ 4.012.013-84. Аппаратура радиоэлектронная. Определение показателей долговечности.
- [3] Надежность ЭРИ: Справочник. – М.: МО РФ, 2006.
- [4] Абрамешин А.Е., Жаднов В.В., Полесский С.Н. Информационная технология обеспечения надежности электронных средств наземно-космических систем: научное издание. / Отв. ред. В.В. Жаднов. – Екатеринбург: «Форт Диалог-Исеть», 2012. – 565 с.

Ключевые слова: долговечность, вычислительная техника, база данных, надежность.

Рисунок 7. Структура таблиц «Class tables»



Computer forecasting of durability computing

Zhadnov V.V., Polesskiy S.N., Kulygin V.N., Lushpa I.L.
National Research University Higher School of Economics (NRU HSE)

Summary: The paper considers the method for predicting the durability performance computing using a computer. The basic technique of forecasting durability. The algorithm works of automation of calculating durability. And also developed a database on the characteristics of durability. This article was written as part of a research project (№ 15-05-0029), made with the support of «Science Foundation Higher School of Economics» in 2015.

Keywords: durability, computer engineering, databases, reliability.