

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ДОЛГОВЕЧНОСТИ УСТРОЙСТВ ОБРАБОТКИ РАДИОСИГНАЛОВ

Жаднов Валерий Владимирович,

Профессор Департамента электронной инженерии Московского института электроники и математики ВШЭ, доцент, к.т.н., ФГАО УВПО "Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Москва, Россия, vzhadnov@hse.ru

Кулыгин Владимир Николаевич,

Аспирант Аспирантской школы по техническим наукам ВШЭ, магистр техники и технологий, ФГАО УВПО "Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Москва, Россия, vkulygin@hse.ru

Лушпа Игорь Леонидович,

Студент Департамента электронной инженерии Московского института электроники и математики ВШЭ, бакалавр техники и технологий, ФГАО УВПО "Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Москва, Россия, illushpa@edu.hse.ru

Ключевые слова: надежность, долговечность, устройства обработки радиосигналов, ресурс, программное обеспечение.

Рассматриваются вопросы создания программы по оценке показателей долговечности устройств обработки радиосигналов. Устройства такого вида широко применяются в составе различных систем связи и показатели долговечности этих устройств в значительной степени влияют на показатели долговечности систем связи в целом. В принятых в настоящее время методиках оценки показателей долговечности аппаратуры предусмотрено проведение расчетов в два этапа (приближенный и уточненный расчет), что при большом количестве элементов существенно повышает их трудоемкость, связанную, в первую очередь, с поиском данных по характеристикам долговечности.

Поэтому приведенные в методиках модели, применяющиеся для пересчета показателей долговечности от предельно-допустимых режимов и условий применения элементов (приближенный расчет) к рабочим (уточненный расчет), достаточно просты. Однако использование таких моделей хотя и не сильно влияет на трудоемкость расчетов, но может привести к снижению точности оценок показателей долговечности. Эта погрешность будет тем больше, чем сильнее предельно-допустимые режимы и условия применения элементов отличаются от рабочих. Вместе с тем, модификация моделей, направленная на повышение точности расчетов, приведет не только к повышению трудоемкости расчетов, но и требований к квалификации специалистов, а следовательно, к необходимости создания соответствующего программного обеспечения и баз данных. Кроме того, потребность в создании такого программного обеспечения вызвана отсутствием в коммерческих программных средствах по расчетам надежности отечественных и зарубежных производителей модулей расчета долговечности. При создании программы расчета показателей долговечности устройств обработки радиосигналов были сформулированы основные требования, разработана схема информационного обмена с системами автоматизированного проектирования и специализированными автоматизированными системами проектных исследований, определен состав программных модулей и разработан алгоритм функционирования программы, а также спроектирована модель базы данных по характеристикам долговечности элементов.

Использованы результаты, полученные в ходе выполнения проекта (№ 15-05-0029), в рамках Программы "Научный фонд НИУ ВШЭ" в 2015 г.

Для цитирования:

Жаднов В.В., Кулыгин В.Н., Лушпа И.Л. Разработка программы для расчета долговечности устройств обработки радиосигналов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №12. – С. 61-66.

For citation:

Zhadnov V.V., Kulygin V.N., Lushpa I.L. Development of program for calculating the durability of radio-signals processing devices. T-Comm. 2015. Vol 9. No.12, pp. 61-66. (in Russian).

Программа расчета показателей долговечности устройств обработки радиосигналов (АСКОД) разрабатывается для автоматизации выполнения мероприятий по расчету надежности, предусмотренных в «Программах обеспечения надежности радиоаппаратуры», в обеспечение стандартизованных методик определения показателей надежности и предназначена для расчетной оценки показателей долговечности устройств обработки радиосигналов (УОР) по данным о характеристиках долговечности электрорадиоизделий (ЭРИ), параметрах режимов и условий их применения и временных графиков (циклограмм) работы УОР в составе систем связи.

Программа АСКОД ориентирована на инженеров-проектировщиков УОР, не являющихся специалистами в области надежности и имеющих минимальные навыки работы на персональном компьютере. Это достигается за счет:

- разработки пользователь-ориентированного интерфейса, позволяющего вводить данные в одном окне, с динамически подгружаемыми полями по мере необходимости их заполнения, а так же перестройкой интерфейса в случае изменения введенных данных;
- введения аналитического ядра, анализирующего вводимые данные и помогающего пользователю избежать ошибок при вводе данных;
- использования встроенной системы интерактивных подсказок, помогающих пользователю определить номенклатуру показателей долговечности;
- создания интерфейсов связи с системами автоматизированного проектирования (САПР) электронных устройств для получения перечня элементов, а так же с автоматизированными системами проектных исследований (АСПИ) для получения режимов работы ЭРИ;
- создания базы данных по характеристикам долговечности ЭРИ;
- возможности сохранения проектов и формирования отчетов.

Пользователь программы АСКОД будет иметь возможность получать дополнительную информацию о степени влияния каждого ЭРИ и параметров их режимов и условий применения на общий уровень рассчитанных показателей долговечности. Анализ этой информации позволит своевременно выявить «слабые места» разрабатываемых УОР и дать обоснованные рекомендации по изменению электронной компонентной базы (ЭКБ), режимов, условий применения и временных графиков работы ЭРИ с целью обеспечения заданных уровней показателей долговечности УОР. Состав модулей программы АСКОД приведен на рис. 1.

Компонент «*Расчетное ядро*» предназначен для расчета показателей долговечности УОР, а именно:

- среднего ресурса;
- гамма-процентного ресурса;
- назначенного ресурса;
- среднего срока службы;
- гамма-процентного срока службы;
- назначенного срока службы.

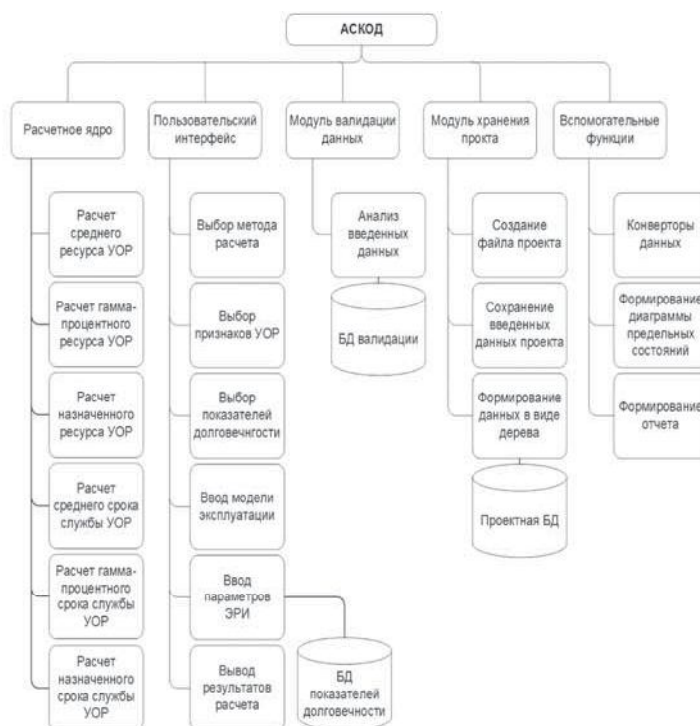


Рис. 1. Состав модулей программы АСКОД

Компонент «*Пользовательский интерфейс*» предназначен для ввода и редактирования в интерактивном режиме исходных данных, необходимых для расчета показателей долговечности УОР. В модуле использована технология «*Wizard*» для ввода данных об УОР, таких как требуемые значения показателей долговечности, параметры модели эксплуатации и др., а также описания ЭРИ, их характеристик долговечности, коэффициентов нагрузки, коэффициентов интенсивности эксплуатации и др. Кроме того, модуль имеет связь с базой данных (БД) и конверторами данных из САПР и АСПИ, входящих в состав компонента «*Модуль вспомогательных функций*».

Компонент «*Модуль валидации данных*» предназначен для контроля данных, введенных пользователем, путем сравнения их значений с ограничениями, содержащимися в базе данных (БД) «*БД валидации*». В случае обнаружения недопустимых значений пользователю выдается соответствующее сообщение об ошибке.

Компонент «*Модуль хранения проекта*» предназначен для формирования файла, содержащего исходные данные и результаты расчета показателей долговечности УОР. Для каждого проекта формируется отдельный файл, что позволяет легко переносить данные с одного компьютера на другой.

Компонент «*Модуль вспомогательных функций*» предназначен для импорта данных о режимах применения ЭРИ из выходных файлов САПР и АСПИ, необходимых для проведения «уточненного» расчета, построения диаграммы значений ресурсов ЭРИ, а так же формирование отчета работы программы в формате MS Excel.

Особенностью математического ядра программы АСКОД является то, что в нем реализовано два метода расчета показателей долговечности радиоэлектронной аппаратуры, а именно метод, рекомендованный в нормативных документах и модифицированный метод [1]. В основу модифицированного метода для расчета показателей долговечности типа «ресурс» положена аппроксимация зависимости минимальной наработки ЭРИ от коэффициента нагрузки функцией вида:

$$T_{M.H} = \frac{T_{M.H.ож} \cdot (P_{M.H} - P_{ож})}{(P_{M.H} - P_{ож}) + \left(\frac{T_{M.H.ож}}{T_{M.H}} - 1 \right) \cdot (P_{раб} - P_{ож})},$$

где $T_{M.H}$ – минимальная наработка ЭРИ «во всех режимах» по техническим условиям (ТУ); $T_{M.H.ожл}$ – минимальная наработка ЭРИ в режиме ожидания (хранения) по ТУ; $P_{M.H}$ – комплексный коэффициент нагрузки ЭРИ «во всех режимах» по ТУ; $P_{ож}$ – комплексный коэффициент нагрузки ЭРИ в режиме ожидания (хранения); $P_{раб}$ – комплексный коэффициент нагрузки ЭРИ в рабочем режиме.

Значения $T_{M.H}$ и $T_{M.H.ож}$ определяются по таблицам справочника «Надежность ЭРИ» [2] (или ТУ) и содержатся в БД «БД показателей долговечности».

Значения комплексных коэффициентов $P_{M.H}$, $P_{ож}$ и $P_{раб}$ рассчитываются по формуле [3]:

$$\Pi = \prod_{i=1}^I K_i,$$

где K_i – коэффициенты, учитывающие влияние режимов и условий применения ЭРИ; I – общее число коэффициентов.

Номенклатура коэффициентов K_i определяются по методике, приведенной в [1], а их значения – по таблицам справочника «Надежность ЭРИ» [2].

В основу модифицированного метода для расчета показателей долговечности типа «срок службы» положена математическая модель [4, 5] вида:

$$T_{CC} = K_{и.э} \cdot T_{C.C.РАБ} + (1 - K_{и.э}) \cdot T_{C.C.ОЖ},$$

где $K_{и.э}$ – коэффициент интенсивности эксплуатации УОР; $T_{C.C.РАБ}$ – срок службы УОР в режиме работы; $T_{C.C.ОЖ}$ – срок службы УОР в режиме ожидания.

Для хранения файлов проекта разработана БД, инфологическая модель которой представлена на рис. 2.

Данные в проектной БД хранятся в таблицах. Таблица «project» содержит общие данные для проекта. Данные по компонентам (составным частям) УОР содержатся в таблице «node», причем для каждого компонента создается отдельная запись. Данные на ЭРИ содержатся в таблице «eri», при этом для каждого ЭРИ так же создается отдельная запись с массивом введенных параметров и характеристик, хранящихся в поле «INPAR_LST» и представляющем собой список id из таблицы «LST_INPAR». Поля «GR_ID» и «ERI_ID» заполняются при выборе ЭРИ из специализированной базы данных («БД показателей долговечности») и ис-

пользуются для получения комплексных коэффициентов (Π). Каждая запись в таблице «eri» имеет отношение к таблице «node» по полю «node_id», что позволяет при расчетах ЭРИ использовать характеристики модели эксплуатации компонента, в состав которого оно входит. Таблица «LST_INPAR» относится к базе данных «БД валидации» (см. рис. 1) и содержит описания и ограничения на характеристики, которые вводятся пользователем. Таблица «struct» создана для хранения структуры УОР.

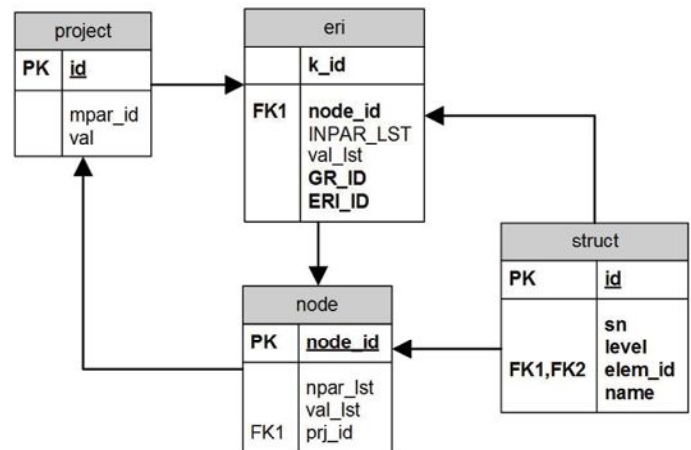


Рис. 2. Инфологическая модель базы данных «Проектная БД»

При проектировании БД по характеристикам долговечности ЭРИ за основу была взята база данных по характеристикам безотказности ЭРИ и механических элементов (МЭ) [6]. Созданная на этой основе инфологическая модель базы данных «БД показателей долговечности» приведена на рис. 3.

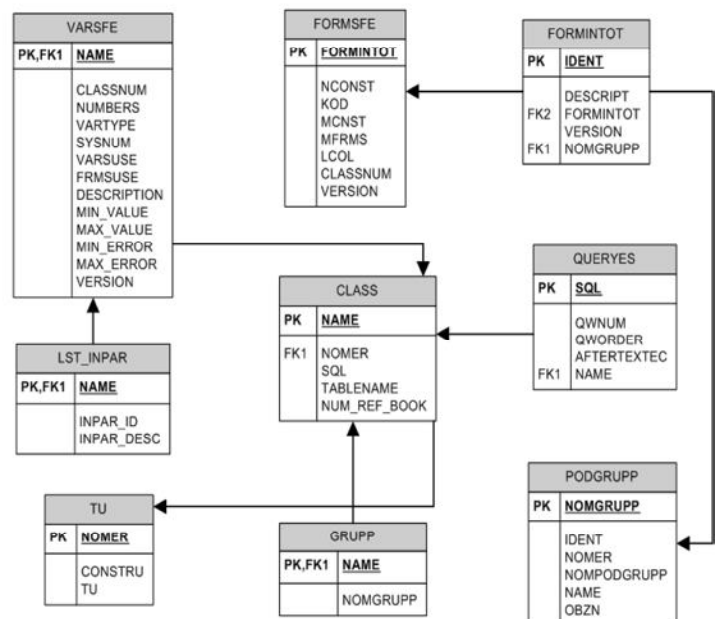


Рис. 3. Инфологическая модель базы данных «БД показателей долговечности»

Так же, как и в «Проектной БД», данные в «БД показателей долговечности» хранятся в таблицах. Таблица «*VARSAFE*» содержит информацию о параметрах и коэффициентах математических моделей гамма-процентного ресурса, а так же параметры и коэффициенты, необходимые для расчета комплексных коэффициентов, которые входят в эти модели. В таблице «*FORMSAFE*» содержится информация о математических моделях показателей долговечности. В таблице «*FORMINTOT*» содержатся структуры математических моделей. В таблице «*QUERYES*» содержатся SQL-запросы для получения данных. Таблица «*CLASS*» – главная таблица для всех классов ЭРИ. В таблице «*GRUPP*» содержится общая информация о группах, которые входят в данный класс ЭРИ. В таблице «*PODGRUPP*» содержится общая информация о подгруппах, которые входят в данную группу ЭРИ. В таблице «*TU*» содержится номер ТУ на ЭРИ и его уникальный номер, что позволяет хранить в БД несколько номеров ТУ на один тип ЭРИ (эта таблица является общей для всех классов ЭРИ).

База данных по показателям долговечности ЭРИ содержит данные о гамма-процентном ресурсе, минимальной наработке и сроке хранения ЭРИ, в объеме, соответствующем объему данных, приведенном в справочнике «Надежность ЭРИ» [2], а в случае отсутствия типонаименований ЭРИ в этом справочнике, она может пополняться данными из ТУ. На рис. 4, в качестве примера, приведена инфологическая модель раздела базы данных для класса «Резисторы».

Таблица «*General tables*» на рис. 4 представляет собой совокупность главных таблиц базы данных «БД показателей долговечности» (см. рис. 3), в которых хранятся системные данные. Главными таблицами для раздела БД класса «Резисторы» являются таблицы «*Resistor_durability*» и «*Resistor_durability_grupp*». Таблица «*Resistor_durability*» служит для связи главных таблиц базы данных и таблиц поправочных коэффициентов. Кроме того, в ней хранятся значения гамма-процентного ресурса (Trg), минимальной наработки (Trm) и минимального срока сохраняемости резисторов (Txp). Таблица «*Resistor_durability_grupp*» служит для связи таблиц коэффициентов моделей (A, B, Nt, G, J b и др.) и таблиц математических моделей коэффициентов, учитывающих влияние режимов и условий применения ЭРИ (K_i).

Например, в таблице «*Resistor_durability_power*» хранится значение отношения рабочей и максимальной мощности (Power) и значение поправочного коэффициента (Km). Связь между таблицами осуществляется по первичному ключу Nomgrupp и вторичному ключу Nompodgrupp.

Разработанные базы данных составят основу информационного обеспечения программы АСКОД, которая будет интегрирована в информационную технологию обеспечения надежности радиоэлектронной аппаратуры [7]. Схема информационных потоков (схема взаимодействия программы АСКОД с Altium Designer [7]

и ПК АСНИКА-К [8], а также с базами данных «БД валидации», «Проектная БД», «БД показателей долговечности»), которая будет реализована в этой технологии, приведена на рис. 5.

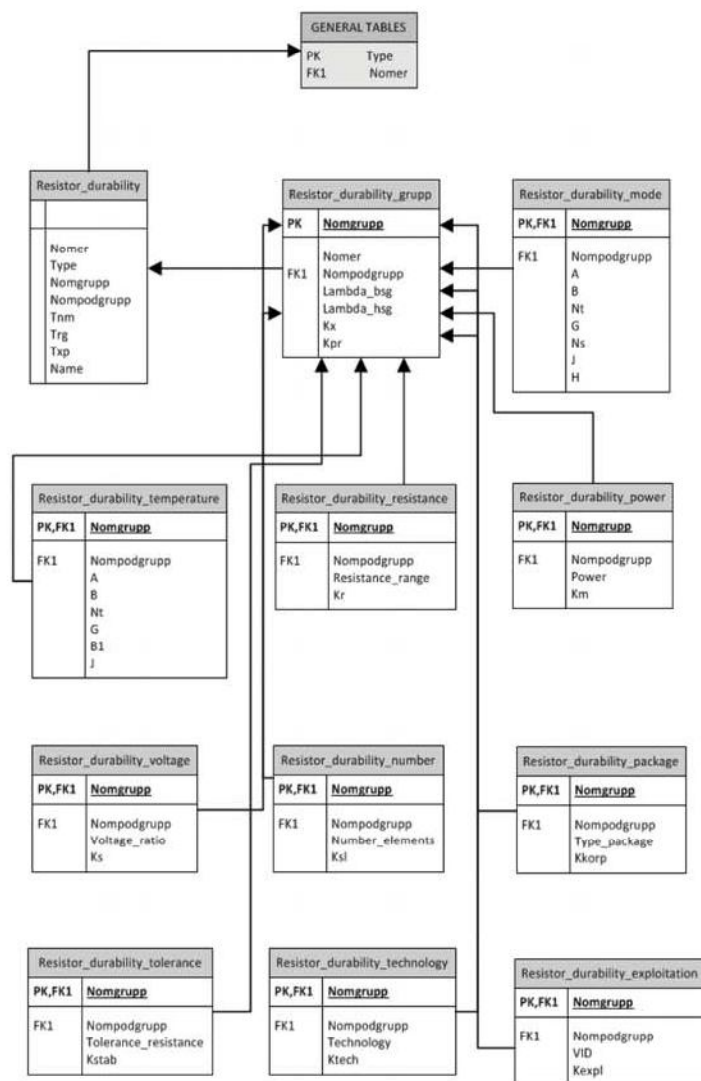


Рис. 4. Инфологическая модель раздела базы данных для класса «Резисторы»



Рис. 5. Схема информационных потоков при анализе долговечности УОР

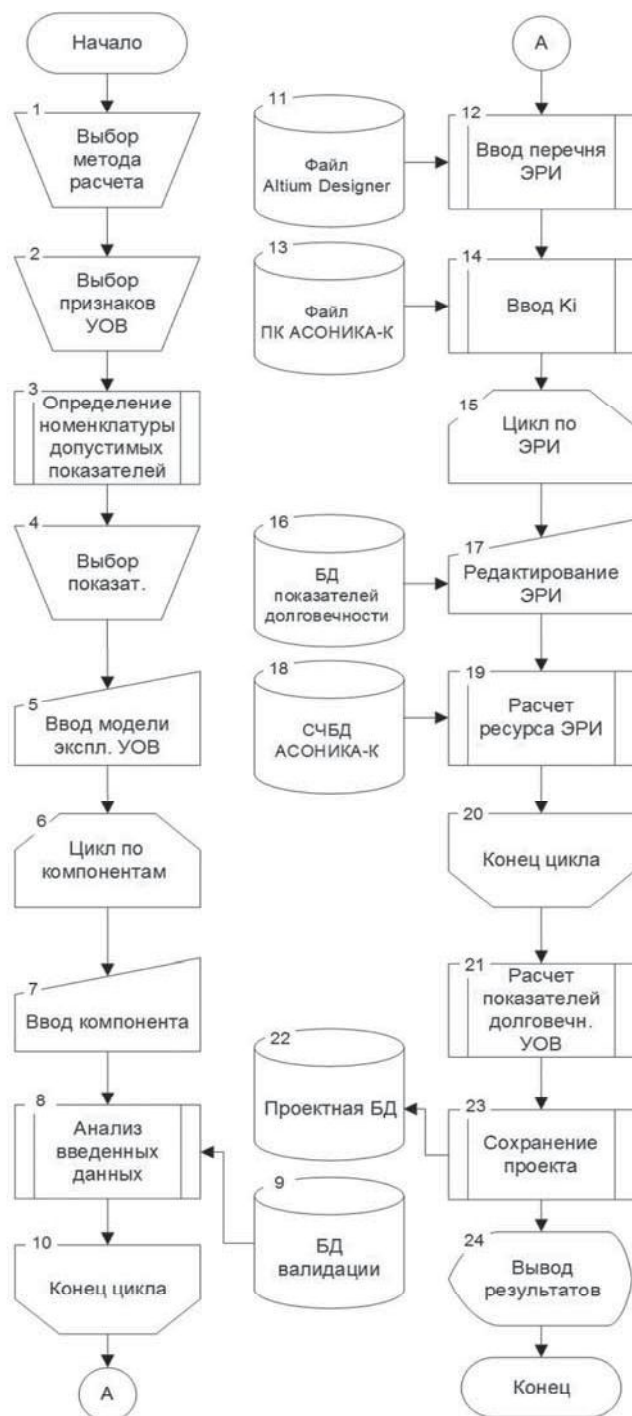


Рис. 6. Блок-схема алгоритма функционирования программы расчета показателей долговечности УОР

Конверторы (см. рис. 5) с САПР предназначены для автоматического ввода списка ЭРИ, применяемых в УОР, а конверторы с АСПИ - для ввода данных о режимах их применения (электрических, тепловых и др.) и коэффициентов нагрузки. Данные об УОР (модели эксплуатации, структуре и др.), а также временные графики работы ЭРИ вводятся пользователем. Использование конверторов и базы данных «БД показателей долговечности» позволяет существенно снизить объем данных, вводимых пользователем, а использование

«Модуля валидации данных» и «БД валидации» - снизить возможность ошибок при их вводе. Файлы проекта, содержащие исходные данные и результаты расчета, сохраняются в «Проектной БД» Укрупненная блок-схема алгоритма функционирования программы АСКОД [9], позволяющая реализовать такие информационные потоки, приведена на рис. 6.

Ниже приведено краткое описание основных операций алгоритма.

Блок 1 – выбор метода расчета показателей долговечности УОР (стандартизованный или модифицированный).

Блок 2 – выбор классификационных признаков УОР для определения номенклатуры нормируемых показателей долговечности.

Блок 3 – формирование номенклатуры нормируемых показателей долговечности.

Блок 4 – выбор показателей долговечности, которые необходимо рассчитать для УОР.

Блок 5 – ввод модели эксплуатации УОР и ее параметров (коэффициентов интенсивности эксплуатации для режимов работы, ожидания и хранения).

Блоки 6-10 – ввод компонентов УОР, их параметров (наименования компонента, коэффициентов интенсивности эксплуатации для режимов работы и ожидания и др.) и формирование структуры УОР. В процессе ввода компонентов предусмотрена проверка правильности введенных данных - Блок 8.

Блок 11 – ввод перечня ЭРИ. Для автоматизации этой операции предусмотрена возможность конвертации данных из выходного файла САПР Altium Designer.

Блок 12 – ввод параметров и режимов применения ЭРИ, используемых в моделях долговечности (коэффициентов нагрузки, рабочих температур и др.). Для автоматизации этой операции предусмотрена возможность ввода данных из ПЧ БД системы АСОНИКА-К-СЧ ПК АСОНИКА-К.

Блоки 15-20 – расчет гамма-процентного ресурса ЭРИ. В Блоке 17 осуществляется ввод характеристик долговечности ЭРИ (минимальной наработки, гамма-процентного ресурса, минимального срока сохраняемости и др.). Для автоматизации этой операции предусмотрена возможность ввода данных из «БД показателей долговечности». При этом, если в Блоке 1 был выбран модифицированный метод расчета, то для расчета коэффициентов, учитывающих влияние режимов и условий применения ЭРИ, используются данные, хранящиеся в СЧ БД системы АСОНИКА-К-СЧ.

Блок 21 – расчет показателей долговечности УОР, номенклатура которых была определена в Блоке 4.

Блок 23 – формирование файла-проекта и сохранение его в «Проектной БД».

Блок 24 – формирование диаграммы ресурсов ЭРИ и вывод результатов расчетов.

Таким образом, разработанные в ходе проведенных исследований состав, алгоритм функционирования и модели баз данных программы АСКОД позволят

обеспечить простоту и удобство ввода исходных данных, а также повысить точность расчетной оценки показателей долговечности УОВ. В дальнейшем разработанная программа по оценке долговечности УОВ будет интегрирована в состав программного комплекса АСОНИКА-К.

Литература

1. Жаднов В.В. Расчетная оценка показателей долговечности электронных средств космических аппаратов и систем // Надежность и качество сложных систем, 2014. – № 2. – С. 65-73.
2. Справочник «Надёжность ЭРИ». – М.: МО РФ, 2006. – 641 с.
3. Жаднов В.В. Повышение точности расчётной оценки показателей долговечности бортовой космической аппаратуры // Радиовысотометрия-2013: Сборник трудов Четвертой Всероссийской научно-технической конференции / Под ред. А.А. Иофина, Л.И. Пономарева. – Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2013. – С. 164-169.
4. Карапузов М.А., Полесский С.Н., Жаднов В.В. Влияние внешних воздействующих факторов на долговечность СВЧ-

устройств // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2014. – № 12. – С. 29-31.

5. Карапузов М.А., Полесский С.Н., Жаднов В.В. Влияние внешних возмущающих факторов на долговечность СВЧ-устройств // Надежность и качество сложных систем, 2014. – № 2. – С. 14-21.

6. Жаднов В.В., Лушпа И.Л. Прогнозирование показателей безотказности механических элементов электронных средств при проектировании // Информационные технологии в проектировании и производстве, 2014. – № 4. – С. 17-23.

7. Суходольский В.Ю. Altium Designer. Сквозное проектирование функциональных узлов РЭС на печатных платах. – СПб: БХВ-Петербург, 2015. – 560 с.

8. Абрамешин А.Е., Жаднов В.В., Полесский С.Н. Информационная технология обеспечения надёжности электронных средств наземно-космических систем: научное издание / Отв. ред. В.В. Жаднов. – Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2012. – 565 с.

9. Кулыгин В.Н. Разработка программы оценки показателей долговечности РЭА // Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов НИУ ВШЭ им. Е.В. Арменского. Материалы конференции. – М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2015. – С. 101-103.

DEVELOPMENT OF PROGRAM FOR CALCULATING THE DURABILITY OF RADIO-SIGNALS PROCESSING DEVICES

Valery Zhadnov, National research university "Higher school of economics", professor of Department of electronic engineering of Moscow institute of electronics and mathematics HSE, vzhadnov@hse.ru

Vladimir Kulygin, National research university "Higher school of economics", postgraduate student of Doctoral school on engineering sciences, vkulygin@hse.ru.

Igor Lushpa, National research university "Higher school of economics", student of Department of electronic engineering of Moscow institute of electronics and mathematics HSE, illushpa@edu.hse.ru

Abstract. The article examines the creation of program to assess the performance durability of radio-signals processing devices. This type devices are widely used in various communication systems and performance durability of these devices have a significant impact on performance durability communication systems. In the currently accepted methods of assessment of the durability indicators of device can be performing calculations in two stages (approximate and refined calculation). This is when a large number of elements significantly increases the complexity associated, primarily, with the search data on the durability characteristics. Therefore, given in the methods the model used for the conversion of durability indicators of the maximum allowed modes and conditions of the use of elements (approximate calculation) to operating modes (refined calculation), is quite simple. However, the use of such models although not strongly influences the complexity of the calculations, but may lead to less accurate estimates of durability indicators. This error will be greater than the maximum allowed modes and the conditions of application of elements differ from operating modes. However, modification of models aimed at improving the accuracy of the calculations that will lead not only to increased complexity of the calculations, but also requirements for the qualification of specialists and, consequently, to the need to create appropriate software and databases. In addition, the need to create such software due to the lack of commercial software tools for the calculation of reliability of domestic and foreign manufacturers of modules of calculation of durability. When creating the calculation program of durability indicators of the radio-signals processing devices were the main requirements, the scheme of information exchange with CAD-systems and specialized CAE-systems, to determine the composition of software modules and the functioning algorithm of the program and designed the model database according to the durability characteristics of elements. This research carried out in 2015 was supported by "The National Research University "Higher School of Economics" Academic Fund Program" grant (No. 15-05-0029).

Keywords: reliability, durability, radio signals processing devices, life, software.

References

1. Zhadnov V.V. (2014), "The estimated measure of durability of spacecraft electronics and systems", Reliability & Quality of Complex Systems, No 2, pp. 65-73.
2. Spravochnik "Nadjozhnost ERI" [Handbook "Reliability ED"] (2006), MoD RF, Moscow, Russia. (in Russian)
3. Zhadnov V.V. (2013), "Improving the accuracy of the estimated indicators of the durability of the onboard space equipment", Radiovysotometriya-2013: Sbornik trudov Chetvertoj Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii [Proceedings of the Fourth all-Russian scientific-technical conference "Radiovysotometriya-2013"], Kamensk-Ural'skiy, Russia, 22-24 October 2013, pp. 164-169. (in Russian)
4. Karapuzov M.A., Polesskiy S.N. and Zhadnov V.V. (2014) "Addiction of environment factors to of SHF devices", T-Comm, No. 12, pp. 29-31. (in Russian)
5. Karapuzov M.A., Polesskiy S.N. and Zhadnov V.V. (2014), "Influence of external disturbing factors on the durability of microwave devices", Reliability & Quality of Complex Systems, No 2, pp. 14-21. (in Russian)
6. Zhadnov V.V. and Lushpa I.L. "Reliability prediction of mechanical elements electronic equipment for design", Informacionnye tehnologii v proektirovanii i proizvodstve, No 4. pp 17-23. (in Russian)
7. Suhodolskiy V.U. (2015), Altium Designer. Skvozhnoe proektirovanie funktsional'nyh uzlov RJeS na pechatnyh platah [Altium Designer. End-to-end functional design of the REE nodes on printed circuit boards], BHV-Petersburg, St. Petersburg, Russia. (in Russian)
8. Abrameshin A.E., Zhadnov V.V. and Polesskiy S.N. (2012), Informacionnaya tehnologiya obespecheniya nadjozhnosti jelektronnyh sredstv nazemno-kosmicheskikh sistem: nauchnoe izdanie [Information technology to ensure the reliability of electronic equipment in earth and space systems: scientific publication], in Zhadnov V.V. (ed.), Fort Dialog-Iset', Ekaterinburg, Russia. (in Russian)
9. Kulygin V.N. (2015), "Development of a program evaluation measure of durability of REA", Nauchno-tehnicheskaja konferencija studentov, aspirantov i molodykh specialistov NIU VSHJe im. E.V. Armenskogo. Materialy konferencii [Scientific-technical conference of students, postgraduates and young professionals HSE named after Armenskiy E.V. The conference materials], Moscow, Russia, 3-13 February 2015, pp. 101-103. (in Russian)