

УДК 621.396.6.035.223.256

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАСЧЕТА ОТБРАКОВОЧНЫХ ДОПУСКОВ НА ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

К. И. Бушмелева¹, А. Б. Бажаев¹, С. У. Увайсов², П. Е. Бушмелев³

¹ Сургутский государственный университет, bkiya@yandex.ru, bazh.fit@gmail.com

² Московский технологический университет МИРЭА, uvaysov@yandex.ru

³ ООО «Газпром трансгаз Сургут», bpe@mail.ru

В данной работе представлена разработка автоматизированной системы расчета отбраковочных допусков на электрорадиоэлементы технических устройств выполненная на основе проведенного анализа и реализации по проектированию организационно-функциональной модели системы, физической модели базы данных и разработанному пользовательскому интерфейсу.

Ключевые слова: автоматизированная система, отбраковочные допуски, электрорадиоэлементы, печатный узел, организационно-функциональная модель, база данных.

AUTOMATED CALCULATION OF TOLERANCES SCREENING FOR ELECTRONIC COMPONENTS OF ELECTRONIC MEANS

K. I. Bushmeleva¹, A. B. Bazhaev¹, S. U. Uvaisov², P. E. Bushmelev³

¹ Surgut State University, bkiya@yandex.ru, bazh.fit@gmail.com

² Moscow Technological University MIREA, uvaysov@yandex.ru

³ ООО "Gazprom transgaz Surgut", bpe@mail.ru

The paper presents the development of an automated calculation system of tolerances screening for electronic components of technical devices. The study is based on an analysis and implementation for the layout of organizational-functional model of the system, physical model of the database and developed user interface.

Keywords: automated system, tolerances screening, electronic components, printed board assembly, organizational-functional model, data base.

Введение. В связи с высоким уровнем внедрения в различные сферы деятельности человека электронных средств (ЭС) их производство предполагает массовое изготовление различных узлов на платах печатного монтажа, т. е. печатных узлов (ПУ). При этом одной из основных проблем является обеспечение высоких показателей качества и надежности этой продукции, которое в свою очередь невозможно без применения на заводах-изготовителях разнообразных методов и средств контроля, в том числе технического диагностирования (ТД), на каждом этапе технологического процесса. Данное диагностирование представляет собой процесс определения технического состояния объекта диагностирования с определенной точностью и установление его вида. Существуют следующие виды технического состояния: исправность и неисправность, работоспособность и неработоспособность, правильное и неправильное функционирование.

Жизненный цикл любого объекта состоит из этапов производства и эксплуатации, к каждому из которых предъявляются определенные технические требования. Объект всегда должен удовлетворять требованиям, установленным в технической документации. Возникающие в объекте дефекты нарушают это соответствие. Задача диагностирования состоит в том, чтобы своевременно обнаружить дефекты, найти места и причины их возникновения и,

в конечном итоге, восстановить нарушенное дефектами соответствие объекта техническим требованиям [1].

Дефекты могут быть вызваны одной из следующих причин: ошибками в конструкторской и технологической документации; нарушением технологических процессов изготовления печатных узлов; отсутствием на предприятии стопроцентного входного контроля радиоэлементов электронных средств, в частности электрорадиоэлементов (ЭРЭ) (например, такие как резистор, конденсатор, катушка индуктивности и др.); нарушением технологического процесса подготовки ЭС к сборке; нарушением условий хранения и транспортировки; низкой квалификацией рабочих; психофизиологическим состоянием рабочих [2]. Ошибки проектирования представляют собой особый класс дефектов, также подлежащих устранению с помощью методов и средств ТД.

Система ТД в общем случае представляет собой совокупность: средств, объектов и, при необходимости, исполнителей, подготовленную к диагностированию или осуществляющую его по правилам, установленным соответствующей документацией. Различают системы:

- тестового диагностирования, особенностью которых является возможность подачи на объект диагностирования специально организуемых (тестовых) воздействий от средств диагностирования;

- функционального диагностирования, особенностью которых является подача на объект диагностирования только рабочих воздействий.

При проектировании ЭС в техническом задании на их выходные характеристики задаются допуски, которые в свою очередь должны находиться в пределах заданных допусков в процессе хранения и эксплуатации устройства. Эти допуски, в свою очередь, обеспечиваются технологическими допусками (q^H – нижний технологический допуск; q^B – верхний технологический допуск), на параметры ЭРЭ электронной схемы.

В процессе эксплуатации на параметры ЭРЭ оказывают воздействие различные внешние дестабилизирующие факторы (например, климатические: воздействие тепла и холода; давление; относительная влажность; солнечная радиация и механические: вибрационные нагрузки; ударные нагрузки), что приводит к изменению их начальных значений (рис. 1), а также влечет за собой выход этих параметров за пределы технологического допуска, происходит так называемый параметрический отказ, как результат – ЭРЭ переходит в неисправное состояние, что в свою очередь уменьшает показатель срока эксплуатации устройства. Размер влияния немало зависит от конструктивных особенностей ЭС, например, от количества и расположения элементов на печатном узле.

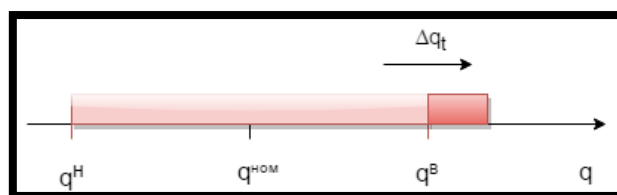


Рис. 1. Дрейф параметра ЭРЭ при воздействии дестабилизирующего фактора:

q^H – нижний технологический допуск; q^B – верхний технологический допуск;
 $q^ном$ – номинальное значение параметра; Δq_t – величина дрейфа параметра

Для предотвращения параметрического отказа ЭРЭ рассчитывают отбраковочные допуски (рис. 2), которые учитывают дрейф параметра при воздействии дестабилизирующих факторов [3].

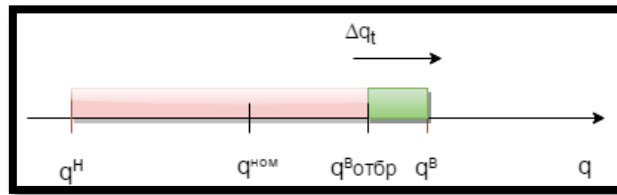


Рис. 2. Отбраковочный допуск параметра ЭРЭ:
 $q^B_{отбр}$ – верхний отбраковочный допуск

Расчет отбраковочного допуска позволяет произвести отбор элементов, параметры которых не выйдут за пределы технологического допуска, что гарантирует низкую долю вероятности выхода из строя ЭРЭ и обеспечивает на этапе проектирования исправность рассматриваемых ЭРЭ с точки зрения учитываемых факторов воздействия.

Целью данной работы является разработка автоматизированной системы, позволяющей производить расчет показателей технических систем, в частности, отбраковочных допусков на параметры ЭРЭ электронных средств на этапе проектирования с учетом таких дестабилизирующих факторов, как температурные режимы, что в свою очередь позволит повысить достоверность диагностирования ЭС.

Моделирование автоматизированной системы. На первом этапе была поставлена задача, спроектировать контекстную диаграмму автоматизированной системы. Данная диаграмма, как и диаграмма второго уровня, представлены на рис. 3, 4, выполнены по методологии функционального моделирования и графических нотаций IDEF0 [4]. Проектируемая система предстает в виде набора взаимосвязанных функциональных блоков. Каждая из четырех сторон функционального блока имеет свое определенное значение (роль):

- левая сторона имеет значение «Вход», в данном случае это данные, представляющие собой мощности тепловыделения ЭРЭ, получаемые в результате моделирования электрических процессов принципиальной схемы, геометрические и теплофизические параметры печатного узла, технологические допуски ЭРЭ;

- правая сторона имеет значение «Выход», эта характеристики, которые позволят на основе произведенных расчетов оценить различные показатели технических систем, в частности, температуру ЭРЭ, получаемую с помощью ПО по моделированию тепловых процессов; отбраковочные допуски ЭРЭ;

- верхняя сторона имеет значение «Управление», в данной системе элементом, выполняющим управляющее воздействие, являются техническая документация, в виде, технического задания (ТЗ), технических указаний (ТУ) на ЭРЭ, и печатный узел;

- нижняя сторона имеет значение «Механизм», это объекты, с помощью которых выполняется функция системы, ими являются проектировщик электронных средств, владеющий теоретическими и практическими знаниями в области радиоэлектроники, а также ЭВМ, на которой будет непосредственно осуществляется расчет.



Рис. 3. Контекстная диаграмма IDEF0 системы расчета отбраковочных допусков ЭРЭ

Декомпозированная контекстная диаграмма (рис. 4) состоит из трех функциональных блоков, один из которых представлен диаграммой третьего уровня. Первый функциональный блок описывает добавление в базу данных (БД) автоматизированной системы, информации о мощностях тепловыделения ЭРЭ. На вход второго функционального блока подаются данные по ЭРЭ. Во втором функциональном блоке производится расчет температур ЭРЭ при номинальных параметрах мощностей тепловыделения с помощью ПО моделирования тепловых процессов печатного узла. Кроме данных по ЭРЭ, входной информацией для данного блока является геометрические и теплофизические параметры печатного узла. Входными параметрами третьего функционального блока являются технологические допуски ЭРЭ, данные по ЭРЭ, полученные из первого блока.

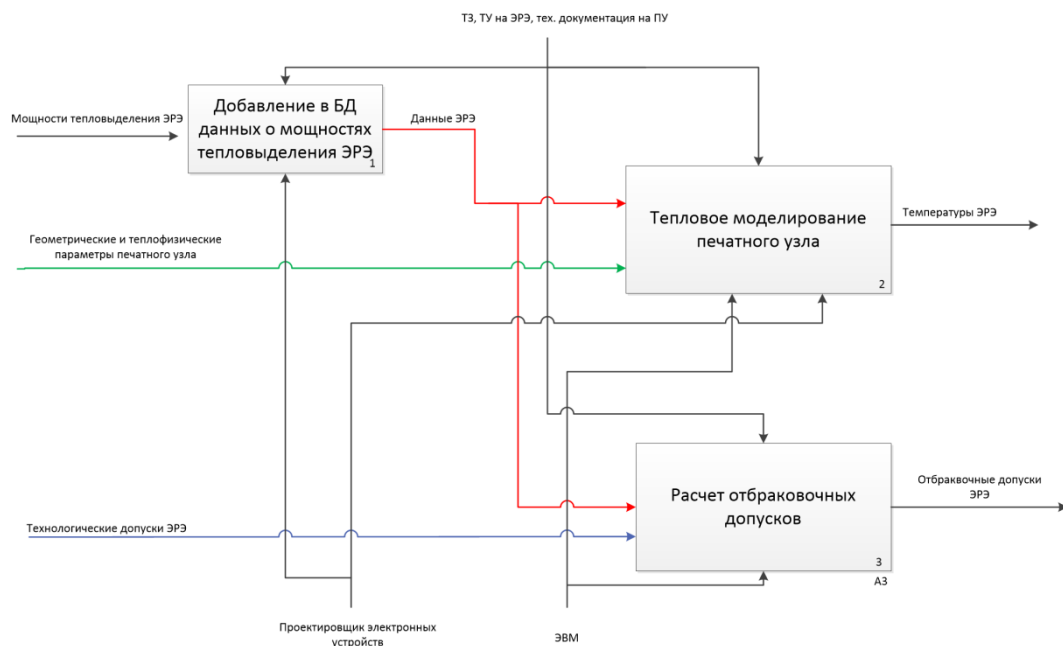


Рис. 4. Диаграмма второго уровня системы расчета отбраковочных допусков ЭРЭ

Задача расчета отбраковочных допусков, проводимая после расчета температур ЭРЭ при номинальных параметрах элементов, описана диаграммой третьего уровня. Расчет отбраковочных допусков проходит в два этапа. На первом этапе происходит получение температур ЭРЭ с учетом разброса посредством проведения теплового расчета модели печатного узла с помощью ПО моделирования тепловых процессов [5, 6]. Второй этап – это расчет отбраковочных допусков, сопровождаемый последующей проверкой теплофизических параметров ЭРЭ на основании заданного алгоритма, с целью коррекции нижних и верхних границ рабочих температур и теплофизических параметров ЭРЭ [7, 8].

Физическая модель БД разработана в среде Microsoft Management Studio в СУБД SQL Server и представлена на рис. 5. БД состоит из шести взаимосвязанных таблиц, основные характеристики которых представлены ниже.

Таблица «Проекты» содержит данные о значениях параметров электрического моделирования. Значения атрибута «Файл с остальными элементами», «Электрическая схема», «Модель печатной платы» являются типом *varbinary*, размер хранимых данных складывается из фактического размера хранимых данных плюс 2 байта. Таблица «Резисторы» содержит атрибуты, которые полностью описывают необходимые характеристики резистора, а также данные о результатах электрического моделирования и значение линейного температурного коэффициента. Таблица «Конденсаторы» содержит название элемента в схеме, названия производственной модели. Таблица «Модели конденсаторов» содержит атрибуты, которые

описывают характеристики конденсатора, не зависящие от конкретного конденсатора в принципиальной схеме. Таблицы «Катушки индуктивности» и «Модели катушек индуктивности» в первом случае содержат название элемента в схеме и ее производственной модели. Во втором – атрибуты, которые описывают характеристики катушек индуктивности, не зависящие от конкретной катушки индуктивности в принципиальной схеме. При этом информация о производственных моделях важна при проведении теплового расчета. От параметров моделей зависят геометрические параметры элементов модели печатного узла, например, размеры резистора прямо пропорционально зависят от мощности рассеивания, аналогично, размеры конденсатора прямо пропорционально зависят от напряжения.

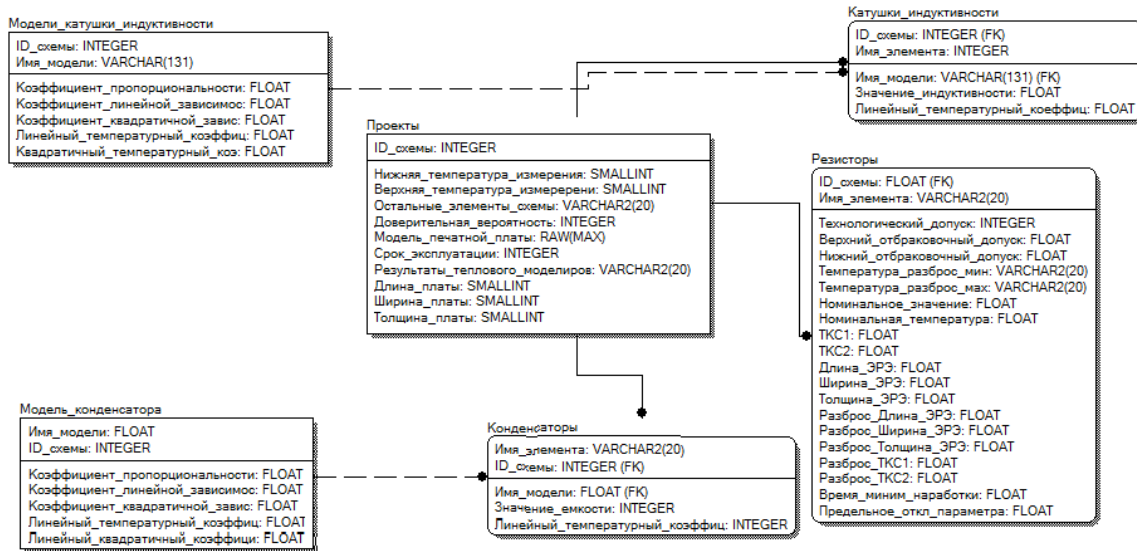


Рис. 5. Физическая модель БД системы расчета отбраковочных допусков ЭРЭ

Методика расчета отбраковочных допусков. Для расчета отбраковочных допусков ЭРЭ необходимо получить доверительные интервалы температур анализируемых элементов. Для этого проводят тепловое моделирование. Проведя заданное количество расчетов теплового режима модели конструкции печатного узла, получаем K значений температур на каждом элементе. Для вычисления допустимых интервалов на температуры ЭРЭ используется аппарат математической статистики, где первоначально рассчитывается математическое ожидание $M(T_n)$ по формуле (1):

$$M(T_n) = \frac{\sum_{k=1}^K T_n^k}{K}, \quad (1)$$

где T_n^k – значение температуры n -ого элемента на k -ой реализации;

K – количество значений температурных показателей ЭРЭ.

Дисперсия температуры $D(T_n)$ рассчитывается по формуле (2):

$$D(T_n) = \frac{\sum_{k=1}^K (T_n^k - M(T_n))^2}{K-1}, \quad (2)$$

Среднеквадратичное отклонение $\sigma(T_n)$ температуры ЭРЭ рассчитывается по формуле (3):

$$\sigma(T_n) = \sqrt{D(T_n)}. \quad (3)$$

Для вычисления верхней и нижней границ диапазона, в котором может находиться температура ЭРЭ, задают доверительную вероятность, на основании которой определяют интервал нахождения температуры ЭРЭ.

Величина χ (обратное значение функции стандартного нормального распределения) показывает для нормального закона распределения число среднеквадратических отклонений, которое нужно отложить вправо и влево от математического ожидания $M(T_n)$ для того, чтобы вероятность попадания в полученный интервал была равна β .

Нижняя T_n^H и верхняя T_n^B границы допуска на значение температуры n -го элемента для заданной вероятности β определяется по формулам (4) и (5):

$$T_n^H = M(T_n) - \chi\sigma(T_n); \quad (4)$$

$$T_n^B = M(T_n) + \chi\sigma(T_n). \quad (5)$$

Как правило, значение доверительной вероятности выбирается равным $\beta = 0,9973$, при этом $\chi \approx 3$ (реальное значение 2,58).

Для обеспечения параметров ЭРЭ в пределах допусков во всем диапазоне температур, заданном в техническом задании на ЭС, тепловых процессов необходимо проводить при минимальной и максимально возможной температурах. При расчете отбраковочных допусков необходимо использовать максимальное и минимальное значения температур элементов для соответствующих случаев (изменение параметра в сторону увеличения или уменьшения). Максимальной температурой элемента $T_{\max}$ будет являться верхняя граница допуска на значение температуры элемента T_n^B при условии, что моделирование проводилось при максимальной температуре окружающей среды.

Минимальной температурой элемента является нижняя граница допуска на значение температуры элемента при условии моделирования схемы при минимальной температуре окружающей среды.

После расчета доверительного интервала допустимо переходить к расчету отбраковочных допусков. Расчет отбраковочных допусков начинается после завершения этапов схемотехнического, конструкторского проектирования печатного узла ЭС [9].

Коэффициент старения β рассчитывается по формуле (6):

$$\beta = \frac{\Delta q_{\text{ст. max}}}{t_{\text{м.н.}} * 100}, \quad (6)$$

где $\Delta q_{\text{ст. max}}$ – предельное значение изменения параметра ЭРЭ;

$t_{\text{м.н.}}$ – часы минимальной наработки электронного средства.

Верхние и нижние границы технологических допусков q^B и q^H рассчитываются по формулам (7) и (8):

$$q^B = q^{\text{ном}} * \left(1 + \frac{\delta}{100}\right), \quad (7)$$

$$q^H = q^{\text{ном}} * \left(1 - \frac{\delta}{100}\right), \quad (8)$$

где $q^{\text{ном}}$ – номинальное значение параметра ЭРЭ;

δ – допуск на параметр ЭРЭ.

Верхний и нижний отбраковочные допуски $q_{\text{отбр}}^B$ и $q_{\text{отбр}}^H$ рассчитываются по формулам (9) и (10):

$$q_{\text{отбр}}^B = \frac{q^B}{1 + \alpha_q^B * (T^B - T_0) + \beta_q * t}, \quad (9)$$

$$q_{\text{отбр}}^H = \frac{q^H}{1 + \alpha_q^H * (T^H - T_0) - \beta_q * t}, \quad (10)$$

где α_q^B, α_q^H – верхний и нижний температурные коэффициенты;

β_q – коэффициент старения элемента печатного узла;

t – время эксплуатации электронного средства;

T_0 – номинальная температура элемента;

T^H – нижняя граница температуры;

T^B – верхняя граница температуры;

q^H, q^B – нижний и верхний технологические допуски.

Случайные геометрические $q^{\text{геом}}$ и теплофизические $q^{\text{тепл}}$ параметры ЭРЭ рассчитываются по формулам (11) и (12):

$$q^{\text{геом}} = q^{\text{геом_ном}} * (1 + \delta_{\text{геом}} * \xi), \quad (11)$$

$$q^{\text{тепл}} = q^{\text{тепл_ном}} * (1 + \delta_{\text{тепл}} * \xi), \quad (12)$$

где $q^{\text{геом_ном}}, q^{\text{тепл_ном}}$ – номинальные геометрические и теплофизические параметры ЭРЭ;

$\delta_{\text{геом}}, \delta_{\text{тепл}}$ – разбросы геометрических и теплофизических параметров ЭРЭ соответственно;

ξ – случайная величина, сгенерированная по заданной пользователем плотности распределения (нормальное, экспоненциальное, распределение Парето).

Проектирование автоматизированной системы. При проектировании системы расчета отбраковочных допусков ЭРЭ использовались дополнительно системы автоматизированного проектирования (САПР): Altium Designer, SolidWorks, SolidWorks Flow Simulation, SolidWorks Flow Simulation Electronic Cooling Module Add-In, реализующие следующие функции: создание моделей ЭРЭ; проектирование печатных плат; реализация 3D модели печатной платы; тепловое моделирование.

Altium Designer – система автоматизированного проектирования радиоэлектронных устройств. Редактор печатных схем содержит средства для автоматического и интерактивного размещения компонентов плат. Преимуществами данной программы являются 3D моделирование схемы с последующим экспортом в механические САПР, а также мощного инструмента разработки ПЛИС. Программа располагает большим количеством библиотек разработки микросхем, а также возможностью рендеринга. Иерархическая методология проектирования позволяет контролировать процесс проектирования, начиная от создания электрической принципиальной схемы, заканчивая 3D моделью печатного узла [10].

SolidWorks – программный комплекс САПР для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства. В состав пакета входит 3D проектирование изделий, инженерный анализ (прочность, устойчивость, теплопередача, частотный анализ) [11]. *SolidWorks Flow Simulation* – система аэродинамического моделирования, позволяющая анализировать и прогнозировать поведение в среде реальных газов [12]. В программном модуле возможны следующие типы моделирований физического характера: комплексный тепловой расчет; создание газо/гидродинамических и тепловых моделей технических устройств; нестационарный анализ; расчет показателей вращающихся объектов. *SolidWorks Flow Simulation Electronic Cooling Module Add-In* – дополнительный модуль для теплового расчета электронных устройств, характеризующийся проведением анализа с расширенной базой данных вспомогательных компонентов.

Разработка автоматизированной системы велась в среде Microsoft Visual Studio 2015 и имеет клиент-серверную архитектуру. Для хранения информации о параметрах ЭРЭ, геометрических и теплофизических параметров печатного узла и ЭРЭ была выбрана СУБД Microsoft SQL Server. Для взаимодействия с базой данных использовалась технология Entity Framework – объектно-ориентированная технология доступа к данным, представляющая возможность взаимодействия с объектами посредством SQL-запросов. Для генерации базы данных был использован подход Code First (БД генерируется на основе кода приложения).

Интерфейс автоматизированной системы расчета отбраковочных допусков ЭРЭ включает в себя несколько окон. Первоначально при запуске программы появляется старто-

вое окно системы, которое предоставляет пользователю возможность выбрать действия по осуществлению теплового расчета или расчета отбраковочных допусков ЭРЭ.

Внешняя подсистема передает ID схемы, требуемую задачу (указывается символом), а также необходимые расчетные данные в формате контейнера List. Для теплового расчета в первом элементе указывается тип расчета (с номинальными параметрами, либо с учетом разброса), во втором – температура окружающей среды, в последующих – строка следующего вида: «Имя_элемента мощность_тепловыделения». Активность кнопок определяется по импортируемым данным.

Для теплового расчета ЭРЭ требуется импорт файла с мощностями тепловыделения, а также скриншот температурного разброса на поверхности печатного узла, с целью сохранения в соответствующую директорию проекта. При расчете с учетом разброса теплофизических и геометрических параметров пользователю требуется указать плотность распределения в выпадающем окне при нажатии пункта меню «Плотность распределения случайной величины». Окно заполнения представлено на рис. 6.

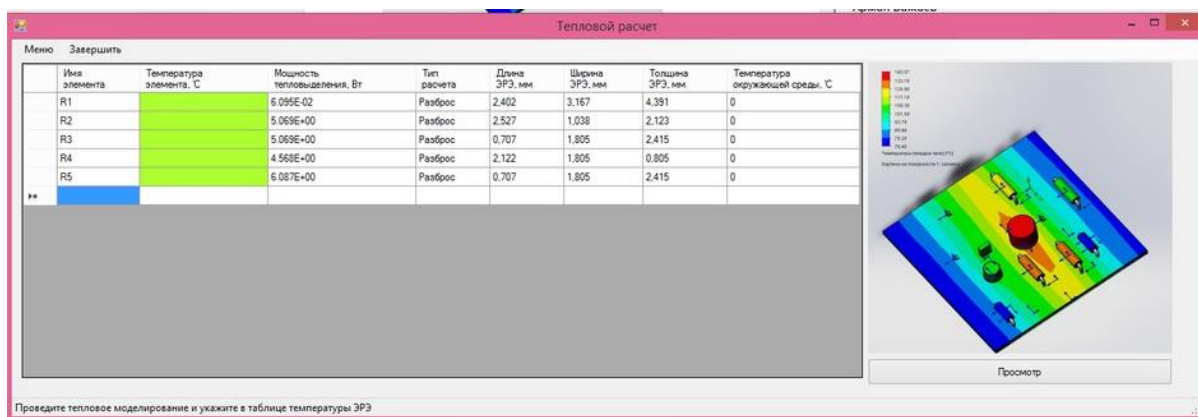


Рис. 6. Окно ввода данных теплового расчета ЭРЭ

Для проведения генерации случайной величины система предоставляет окно ввода данных заданной плотности распределения, а также других необходимых параметров. В результате выходные данные формируются в контейнер List с указанием в первой строке ID схемы и далее в последующих строках записи указываются в следующем формате: «Наименование_элемента», «Значение_температуры». После этого данные обрабатываются внешней подсистемой.

Для расчета отбраковочных допусков ЭРЭ пользователь просматривает расчетные параметры элемента, с целью проверки указания всех необходимых значений (рис. 7).

Рис. 7. Окно просмотра исходных данных, используемых для расчета отбраковочных допусков ЭРЭ

После завершения этапа проверки производится расчет отбраковочных допусков. Полученные значения заносятся в базу данных, и отправляется ответ внешней системе (рис. 8).

	Наименование элемента	Номинальное значение, Ом	Нижняя граница технологического допуска, Ом	Нижняя граница отбраковочного допуска, Ом	Верхняя граница отбраковочного допуска, Ом	Верхняя граница технологического допуска, Ом
▶	R1	10000	9000	9145,928	10733,723	11000
	R2	150	142,5	143,868	152,05	157,5
	R3	150	142,5	147,406	151,188	157,5
	R4	2000	1900	1932,669	2029,009	2100
	R5	6000	5100	5158,143	5682,525	6900
	R6	7000	5950	6335,471	6622,449	8050
*						

Сохранить результаты в базу данных

Сохранить как...

Рис. 8. Окно отображения результата расчета отбраковочных допусков ЭРЭ

Для пользователя также предоставляется возможность записи расчетных данных в таблицу и сохранения результата в соответствующую директорию корневой папки проекта.

Заключение. Подводя итог можно отметить, что в результате проведенной работы была разработана автоматизированная система расчета отбраковочных допусков с учетом температурного фактора и старения. В ходе исследований, с помощью данной системы, были проведены расчеты отбраковочных допусков ЭРЭ с использованием предварительно полученных значений технологических допусков и по реализуемым расчетным формулам. В результате при диагностировании ЭРЭ в составе ЭС непосредственно после подачи на вход требуемых воздействий по отбраковочным допускам повышается его достоверность. Кроме того, отбор элементов по отбраковочным допускам позволяет сохранить электрические параметры элементов в пределах заданных технологических допусков, т. е. это в свою очередь предотвратит параметрический отказ элементов в отдельности и переход ЭС в целом в неисправное состояние.

Хотелось бы также отметить, что реализованная система требует дальнейшей доработки, связанной с обеспечением взаимодействия с механической САПР, использующей готовые интерфейсы, так как заранее неизвестно, какой пакет программ будет использовать пользователь для проведения процессов моделирования.

Литература

1. Техническая диагностика : справочник : в 10 т. / ред. совет: В. С. Авдеевский [и др.]. ; под общ. ред. В. В. Ключева, П. П. Пархоменко. М. : Машиностроение, 1987. Т. 9. 352 с.
2. Лихтциндер Б. Я. Внутрисхемное диагностирование узлов радиоэлектронной аппаратуры. М. : Техника, 1988. 168 с.
3. Долматов А. В., Лобурец Д. А., Увайсов С. У. Определение допусков на параметры электрорадиоизделий функциональных узлов с учетом дестабилизирующих факторов // ЛП научная сессия, посвященная Дню радио : тез. докл. М. : РНТО РЭС им. А. С. Попова, 1998.

4. Стандарт IDEF0. 2017. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cfin.ru/verniov/idef/idef0.shtml> (дата обращения: 10.10.2017).
5. Долматов А. В., Лобурец Д. А., Увайсов С. У. Комплексное электротепловое моделирование при проектировании и диагностировании радиоэлектронных средств // Информатика-машиностроение. 1998. № 2. С. 23–31.
6. Bushmeleva K. I., Plyusnin I. I., Bushmelev P. E., Uvaysov S. U. Modeling the optimal parameters for a remote sensing device // Measurement Techniques. 2011. Т. 54. № 3. Р. 294–299.
7. Еремина В. Е., Абрамешин А. Е., Арестова А. Ю., Адюкова Е. В. Методика расчета отбраковочных допусков на комплектующие элементы в составе печатного узла с учетом влияния температуры и старения на примере резисторов // Инновационные информационные технологии : мат-лы междунар. науч.-практ. конф. ; под ред. С. У. Увайсова. М. : МИЭМ, 2012. 602 с.
8. Еремина В. Е. Выражение для расчета в общем виде отбраковочного допуска на сопротивление резисторов с учетом температурного фактора // Ежегодная науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых специалистов МИЭМ : тез. докл. М. : МИЭМ, 2011.
9. Еремина В. Е., Увайсова С. С., Масленникова Я. Л. Синтез отбраковочного допуска на емкость конденсаторов с учетом температурного фактора // Инновационные технологии, научные и технические достижения, их правовая защита : Сб. стат. IV Междунар. науч.-практ. конф. Тольятти. М. : Типография Ника, 2011.
10. Документация Altium Designer. 2017. [Электронный ресурс]. URL: <http://wiki.altium.com/display/RUPROD/Altium+Designer/> (дата обращения: 12.10.2017).
11. Уроки по SolidWorks. 2017. [Электронный ресурс]. URL: <http://cad.life/index/rascheti/teplovoj-raschet-radiatora-oxlazhdeniya-v-solidworks-simulation.html/> (дата обращения: 12.10.2017).
12. Справочник по SolidWorks. 2017. [Электронный ресурс] URL: http://help.solidworks.com/2013/russian/SolidWorks/cworks/c_Thermal_Analysis.htm (дата обращения: 12.10.2017).