

## Разработка программы расчета усталостной надежности паяных соединений с использованием моделей Энгельмайера

М.Н. Пиганов, А.В. Иванов

Самарский национальный исследовательский университет им. акад. С.П. Королева  
443086, Российская Федерация, г. Самара  
Московское шоссе, 34

Приведен алгоритм оценки усталостной надежности паяных соединений радиоэлектронных модулей 1 и 2 уровня. В качестве исходных данных были использованы математические модели Энгельмайера. Разработана программа расчета на объектно-ориентировочном языке Java. Рассмотрена тестовая задача. Она имеет 9 классов и обеспечивает высокие быстродействия и скорость расчетов.

*Ключевые слова:* классы, программы, алгоритм, паяное соединение, припой, радиоэлектронный модуль, программа расчета.

### Введение

В настоящее время надежность паяного соединения представляет особую актуальность. Установлено, что надежность паяных соединений поверхностного монтажа определяется областью отказов типа «износ» [1]. Надежность паяного соединения – это способность функционировать в заданных условиях в течение определенного периода времени без превышения заданного уровня интенсивности отказов. Она определяется в первую очередь прочностью паяного соединения.

При механических нагрузениях паяное соединение испытывает два вида напряжений: нормальное и касательное. Соответственно существуют два типа разрушения: путем отрыва от действия максимальных нормальных напряжений и путем среза от максимальных касательных напряжений. Различают и две характеристики прочности: сопротивление отрыву и сопротивление срезу. Установлено, что для припоя сопротивление отрыву выше его сопротивления срезу, а сопротивление срезу ниже предела текучести [2]. Прочность паяного соединения зависит от дефектов в его структуре: «холодная пайка»; отсутствие смачивания; эрозия основного металла; газовые и усадочные поры; флюсовые, шлаковые и интерметаллические включения; кристаллизационные, релаксационные и термические трещины и др. [3].

В связи с этим возникает задача изучения усталостной прочности и оценки надежности паяных соединений на основе различных припоев.

Цель работы – разработка программы расчета усталостной надежности паяных соединений электронных узлов космической аппаратуры.

Модели усталостной надежности паяных соединений приведены в работах [4–12]. На их основе был разработан алгоритм расчета.

В общем виде алгоритм расчета усталостной надежности паяных соединений представлен на рис. 1.

В блоке 1 осуществляется ввод следующих параметров системы:  $I$  – количество типов компонентов в системе;  $J$  – количество нагружений системы;  $x$  – заданная вероятность отказов %;  $СТЕ_{PCB}$  – ТКЛР платы;  $N[j]$  – массив количества циклов;  $t_D[j]$  – массив переменных времени полуцикла;  $\epsilon_f[i]$ ,  $c_0[i]$ ,  $c_1[i]$ ,  $c_2[i]$ ,  $t_0[i]$  – массивы параметров припоев;  $СТЕ_{sold}[i]$  – массив ТКЛР припоев;  $\beta[i]$  – массив параметров распределения Вейбулла;  $n[i]$  – массив количеств компонентов;  $L_0$  – единичная длина смачиваемой поверхности;  $DNP[i]$  – массив расстояний до нейтральной точки/плоскости;  $h[i]$  – массив высот паяных соединений;  $lead[i]$  – массив логических переменных (true – компонент с выводами; false – безвыводной);  $L[i]$  – массив максимальных длин смачиваемых поверхностей паяных соединений (диаметр/диагональ) типов компонентов;  $K[i]$  – массив диагональных жесткостей выводов на изгиб;  $A[i]$  – массив эффективных площадей паяных соединений;  $F[i]$  – массив технических параметров типов компонентов;  $СТЕ_c[i]$  – массив ТКЛР компонентов;  $T_c[j, i]$  – двумерный массив максимальных

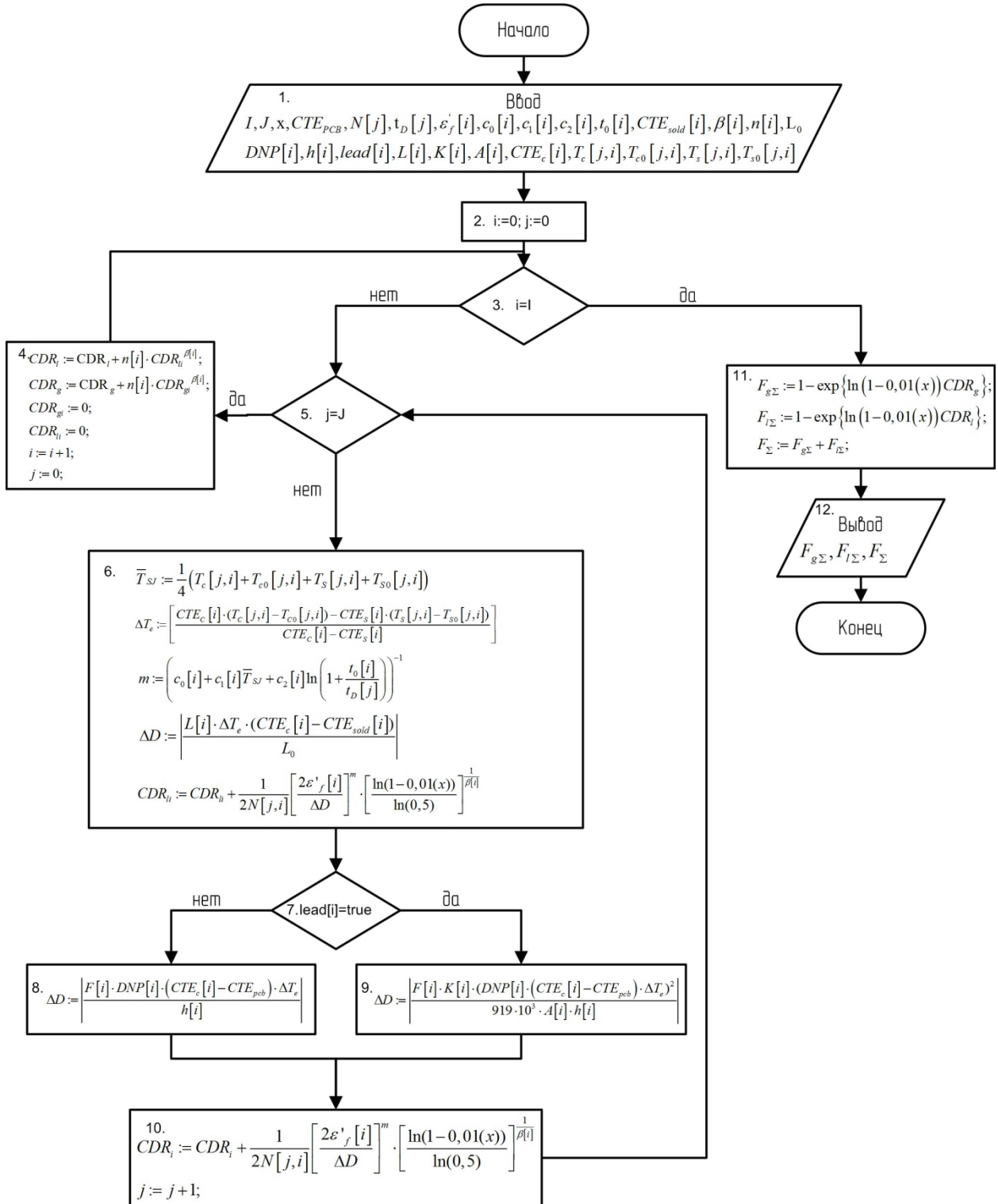


Рис. 1. Алгоритм расчета усталостной надежности паяных соединений

за цикл температур компонентов;  $T_s [j, i]$  – двумерный массив максимальных за цикл температур подложек;  $T_{c0} [j, i]$  – двумерный массив минимальных за цикл температур компонентов;  $T_{s0} [j, i]$  – двумерный массив минимальных за цикл температур подложек.

Затем в блоке 2 осуществляется инициализация счетчиков циклов  $i$  и  $j$ .

### 1. Выбор языка программирования. Модель MVC

В результате обзора языков программирования выбор пал на JAVA.

Одно из главных преимуществ языка Java – его независимость от платформы, на которой выполняются программы. Таким образом, один

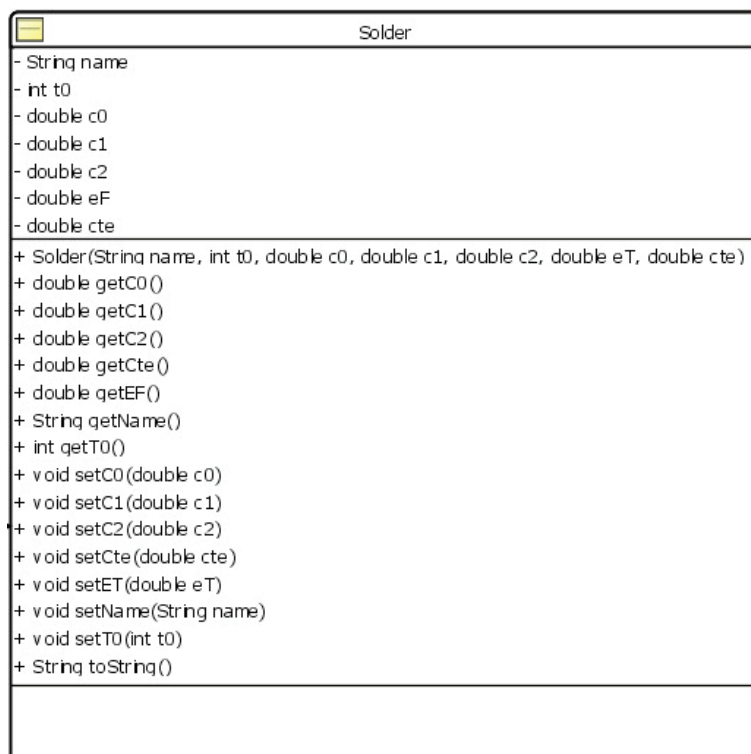


Рис. 2. Структура класса Solder

и тот же код можно запускать под управлением операционных систем Windows, Linux, FreeBSD, Solaris, Apple Mac и др. Это становится очень важным, когда программы загружаются посредством глобальной сети интернет и используются на различных платформах.

Другим, не менее важным преимуществом Java, является большая схожесть с языком программирования C++. Поэтому тем программистам, которые знакомы с синтаксисом C и C++ будет просто освоить Java.

Кроме того, Java – полностью объектно-ориентированный язык, даже в большей степени, чем C++. Все сущности в языке Java являются объектами, за исключением немногих основных типов (primitive types), например чисел. В свое время объектно-ориентированное программирование (ООП) заменило структурное программирование.

Важно и то, что разрабатывать на Java программы, которые не содержат ошибок, значительно легче, чем на C++.

Все дело в том, что разработчиками языка Java из компании Sun был проведен фундаментальный анализ программ на языке C++. Анализировались «узкие места» исходного кода, которые и приводят к появлению трудновывявимых ошибок. Поэтому было принято решение проектировать язык Java с учетом возможности соз-

давать программы, в которых были бы скрыты наиболее распространенные ошибки.

Еще одно важное преимущество Java – это тесное взаимодействие с БД. С недавнего времени язык Java принадлежит корпорации Oracle, которая является ведущей в сфере разработки БД. Один из векторов дальнейшего развития проектируемой программы является ее тесная интеграция с БД, что является немаловажным фактором в условиях современной разработки электронных изделий.

## 2. Разработка программы. Проектирование классов Java

1. Класс Solder предназначен для хранения параметров припоя. Структура класса Solder представлена на рис. 2.

2. Классы CLead, CLeadness и интерфейс Component. Классы CLead и CLeadness предназначены для хранения параметров выводных и безвыводных компонентов соответственно. Для повышения гибкости исходного кода было решено объединить эти классы интерфейсом Component. Классы CLead, CLeadness и интерфейс Component. Структура классов CLead, CLeadness и интерфейса Component представлена на рис. 3.

3. Класс PCB предназначен для хранения параметров подложки (печатной платы). Структура класса PCB представлена на рис. 4.



Рис. 3. Структура классов CLead, CLeadless и интерфейса Component

4. Класс TParametr. Класс TParametr предназначен для хранения температурных параметров компонента и подложки при нагружении. Структура класса TParametr представлена на рис. 5.

5. Класс NCycles предназначен для хранения параметров системы компонентов при нагружении. Структура класса NCycles представлена на рис. 6.

6. Классы, реализующие интерфейс TableModel. Интерфейс TableModel поставляется в JDK и определяет методы класса JTable, который будет использован далее, для представления данных в виде таблиц. Интерфейс TableModel был реализован следующими классами: ComponentTableModel, NCyclesTableModel, PCBTableModel, SolderTableModel, TParametrTableModel. Структура классов представлена на рис. 7–11.

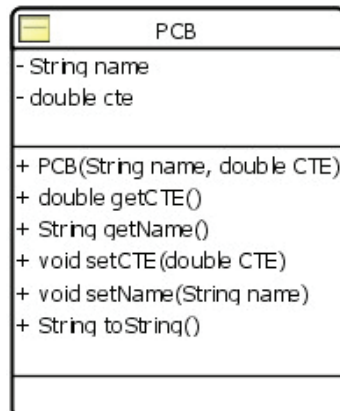


Рис. 4. Структура класса PCB

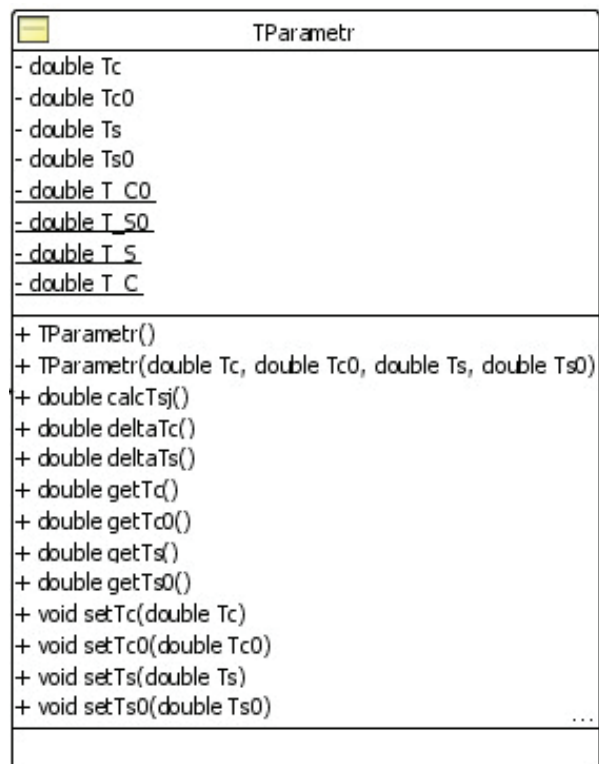


Рис. 5. Структура класса TParametr

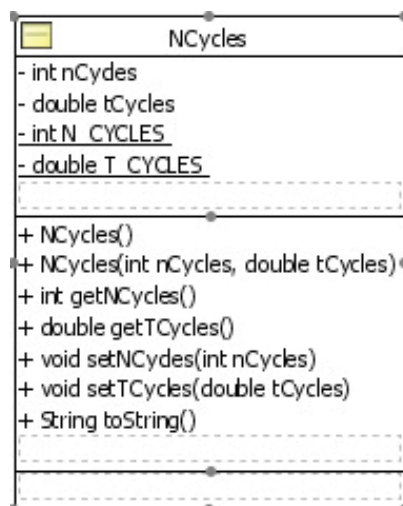
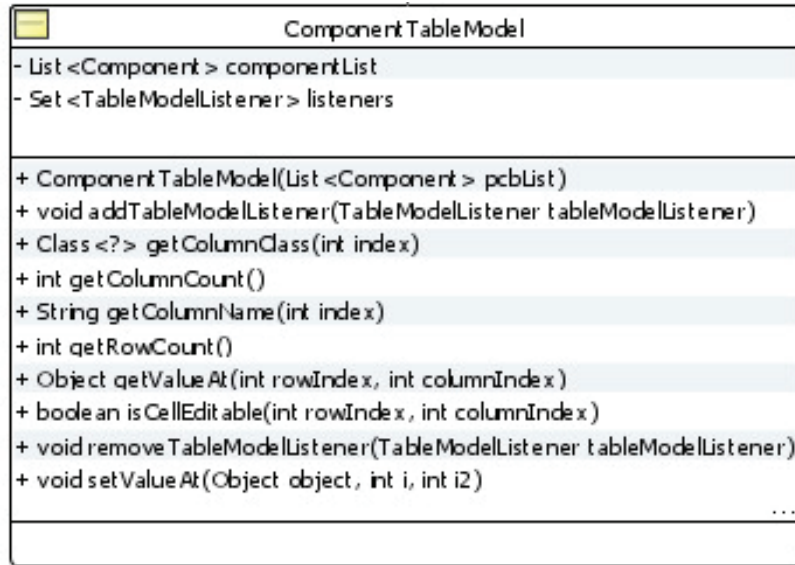
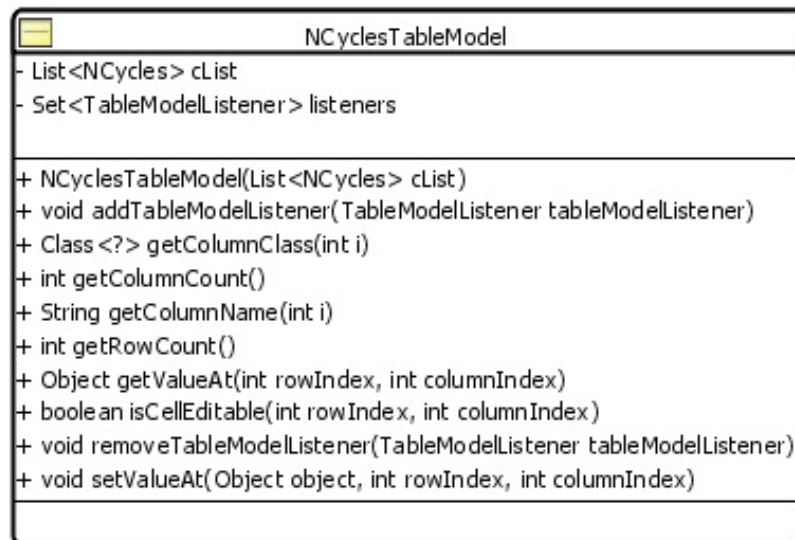
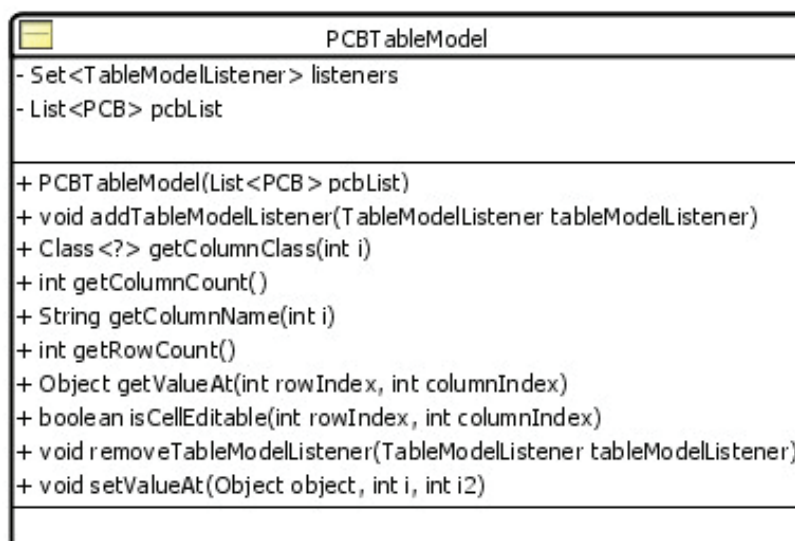


Рис. 6. Структура класса NCycles

Рис. 7. Структура класса `ComponentTableModel`Рис. 8. Структура класса `NCyclesTableModel`Рис. 9. Структура класса `PCBTableModel`

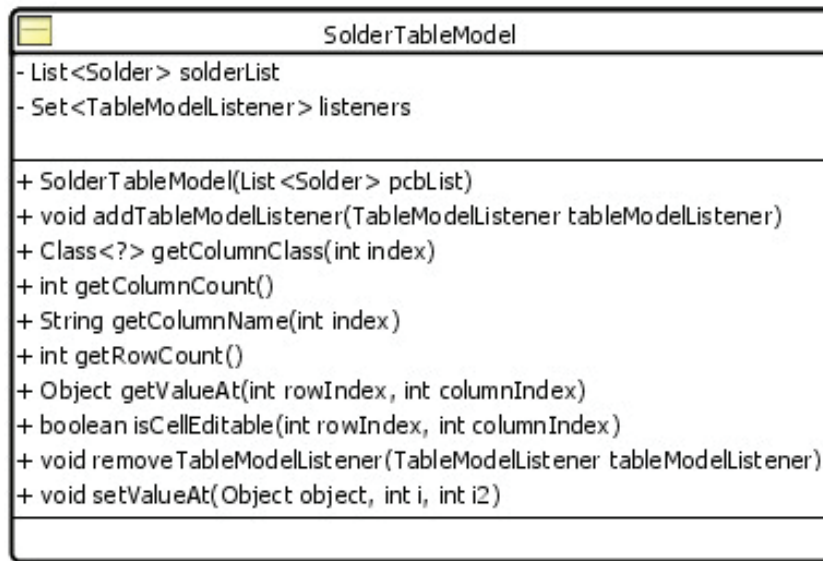


Рис. 10. Структура класса SolderTableModel

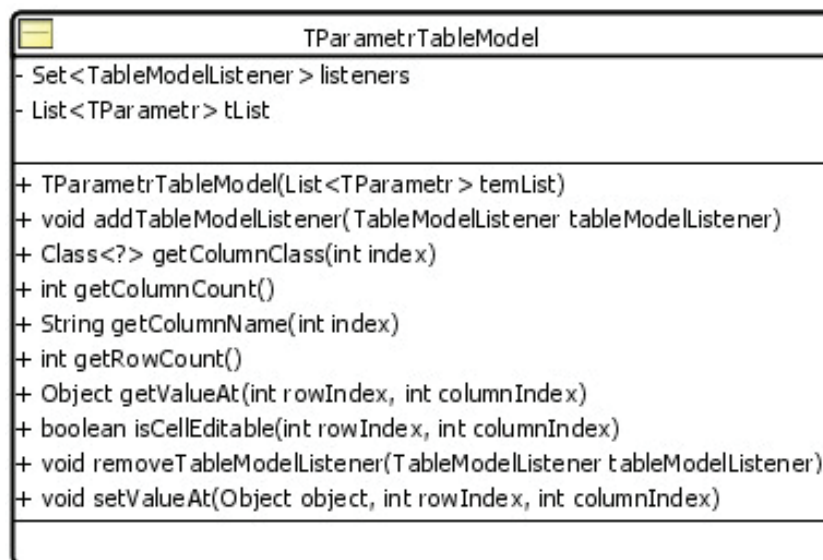


Рис. 11. Структура класса TParametrTableModel

7. Класс чтения, сохранения библиотек компонентов, припоев и подложек Libs. Для удобства пользования программой и возможной интеграции в будущем ее с БД, было решено сделать возможность сохранения созданных объектов в библиотеки, а библиотеки хранить в памяти программы в виде структуры типа List. Для сохранения библиотек на жесткий диск виде соответствующих XML файлов был создан класс Libs. Структура класса Libs представлена на рис. 12.

8. Класс ElementOfSystem хранит группу компонентов одного типа, припой при помощи которого они припаяны, параметр распределения отказов Вейбулла, а также температурные параметры нагружений компонентов данной груп-

пы. Структура класса ElementOfSystem представлена на рис. 13.

9. Класс SystemSolder хранит все необходимые расчёта усталостной надёжности параметры. Является наследником класса LinkedList<ElementOfSystem> (двусвязный циклический список). При помощи класса SystemSolder осуществляется расчёт всех параметров надёжности исследуемой системы. Структура класса SystemSolder представлена на рис. 14.

### Заключение

Разработана программа расчёта усталостной прочности и оценки надёжности паяных соединений на основе различных припоев. Для этого был выбран язык программирования Java, ко-



Рис. 12. Структура класса Libs

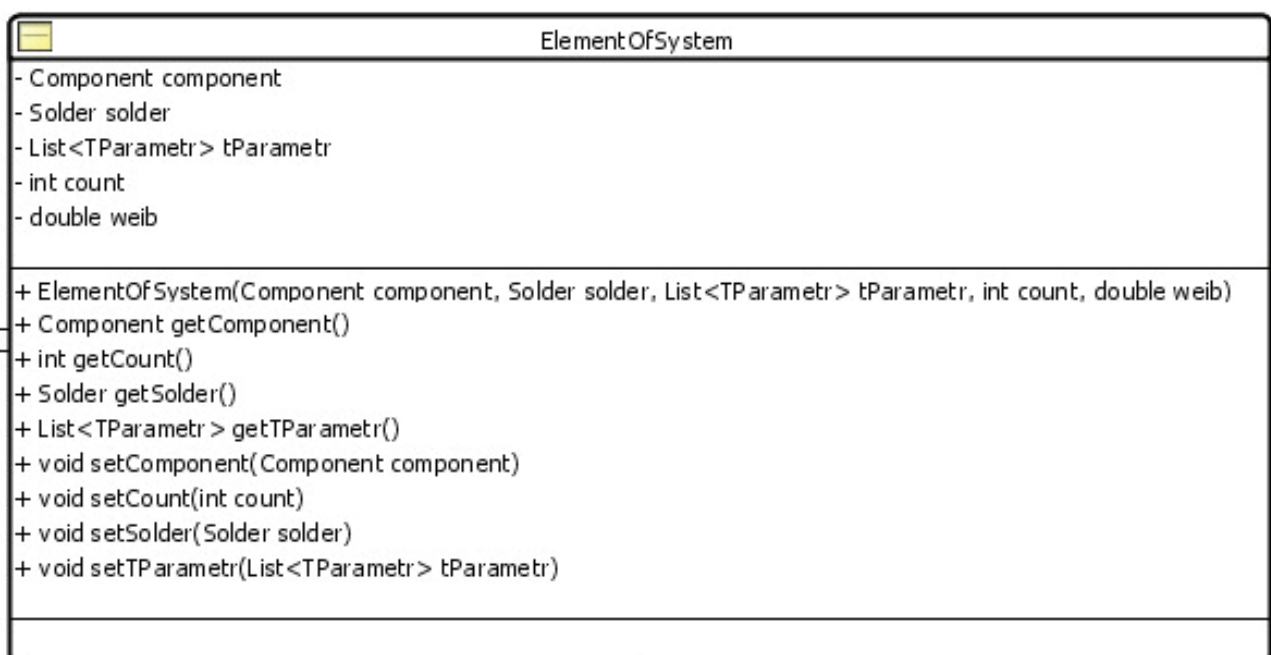


Рис. 13. Структура класса ElementOfSystem



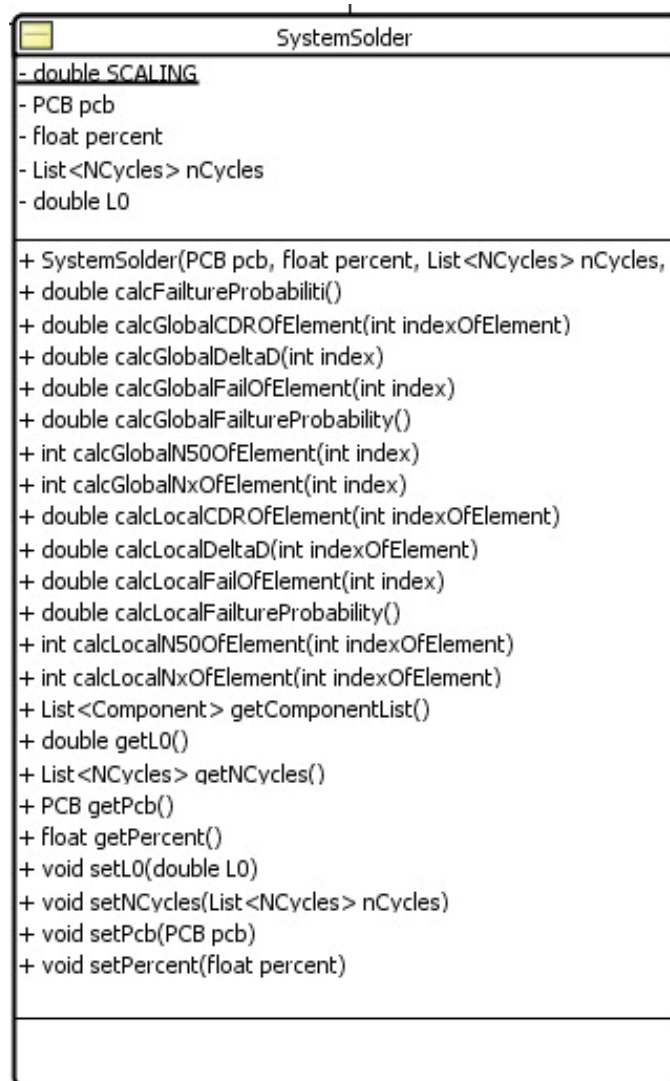


Рис. 14. Структура класса SystemSolder

торый не зависит от платформы и тесно взаимодействует с базами данных. Программа имеет 9 классов. В качестве исходных данных использованы математические модели Энгельмайера. Решение тестовой задачи показало точность расчетов порядка 1 %. Использование данной программы резко сокращает время выбора припоев на этапе технологического проектирования и отработки режимов пайки радиотехнических систем для космических аппаратов.

### Список литературы

1. Руководящие указания по ускоренным методам испытаний на надежность паяных соединений технологии поверхностного монтажа: IPC-SM-785. Нортбрук: IPC, 1992. 44 с.
2. Парфенов А.Н. Введение в теорию прочности паяных соединений // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 2. С. 46–52.
3. Кузнецов О.А., Погалов А.И. Прочность паяных соединений. М.: Машиностроение, 1987. 112 с.
4. Engelmaier W. How to estimate solder joint reliability, part 1 // Global SMT and Packaging. January 2007. P. 60–64.
5. Werner Engelmaier. How to estimate solder joint reliability, part 2 Global SMT and Packaging. October 2007. P. 45–46.
6. Manson S.S. Behavior of materials under conditions of thermal stress // Heat Transfer Symposium. 1953. P. 9–75.
7. Coffin L.F. Jr. A study of the effects of cyclic thermal stresses on a ductile metal // Transactions of ASME. 1954. Vol. 76. P. 931–950.
8. Wild R.N. Some fatigue properties of solders and solder joints // IBM Tech. Rep. 1973. 73Z000421.
9. Morrow J.D. Cyclic plastic strain energy and fatigue of metals // International Friction, Damping and Cyclic Plasticity; ASTM STP 378; ASTM: West Conshohocken, PA, USA, 1965. P. 45–87.
10. Suhir E. Axisymmetric elastic deformation of a finite circular cylinder with application to low temperature

strains and stresses in solder joints // J. Appl. Mech. 1989.  
Vol. 56. № 2. P. 328–333.

11. Palmgren A. Die Lebensdauer von Kugellagern // Zeitschrift des VDI. 1924. Vol. 68. P. 339–341.

12. Design Guidelines for Reliable Surface Mount Technology Printed Board Assemblies: IPC-D-279. Northbrook: IPC, 1996. 126 p.

## Development of a program for calculating the fatigue reliability of solder joints using the Engelmayr models

*M.N. Piganov, A.V. Ivanov*

The algorithm for estimating the fatigue reliability of soldered joints of radioelectronic modules of level 1 and 2 is given. Engelmayr's mathematical models were used as initial data. The program of calculation in the object-oriented language Java is developed. The test task is considered. It has 9 classes and provides high speed and speed calculations.

*Keywords:* class, program, algorithm, solder joint, solder, radio-electronic module, calculation program.

**Антипов, О.И.**

**Детерминированный хаос и фракталы в дискретно-нелинейных системах /** О.И. Антипов, В.А. Неганов, А.А. Потапов. – М.: Радиотехника, 2009. – 235 с., ил.

**ISBN 978-5-88070-237-4**

УДК 530.1:621.372+621.396

ББК 32.96

Антипов О.И., Неганов В.А., Потапов А.А.

Детерминированный хаос и фракталы  
в дискретно-нелинейных системах



В монографии рассмотрены явления детерминированного хаоса и фрактальности в дискретно-нелинейных системах на примере устройств импульсной силовой электроники, приведены некоторые основные определения современной нелинейной динамики и некоторые математические методы целочисленных и дробных мер.

Представленные явления стохастической работы могут наблюдаться в широком классе систем с переменной структурой, действие которых может быть описано системами дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами, скачкообразно меняющими свои значения с течением времени в зависимости от состояния системы. Объектами исследования явились импульсные стабилизаторы напряжения различных типов и структур. Научной новизной является применение как фрактальных, так и мультифрактальных мер детерминированного хаоса к анализу стохастической работы импульсных стабилизаторов.

*Для специалистов, интересующихся проблемами детерминированного хаоса, численным моделированием дискретно-нелинейных систем.*