

УДК 621.3.049.75:658.512.011.56

ББК 32.973.26

М94

Р е ц е н з е н т ы : доктор техн. наук, профессор *Е. А. Саксонов* (Московский институт электроники и математики Высшей школы экономики); кандидат техн. наук *А. И. Худыш* (ООО «СОЛТЭК-Р», г. Рязань)

**Мылов Г.В., Таганов А.И.**

**М94** Методологические основы автоматизации конструкторско-технологического проектирования гибких многослойных печатных плат. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 168 с.: ил.

**ISBN 978-5-9912-0367-8.**

Изложены методологические основы, включающие в себя современную концепцию построения информационного сопровождения стадий жизненного цикла гибких многослойных печатных плат (ГМП), основы анализа и синтеза проектных конструкторско-технологических решений и информационной поддержки этапов автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства изделий ГМП.

Для специалистов, будет полезна аспирантам и студентам.

**ББК 32.973.26**

*Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU*

ISBN 978-5-9912-0367-8

© Г. В. Мылов, А. И. Таганов, 2013, 2014

© НТИ «Горячая линия – Телеком», 2014

## Оглавление

<b>Введение.....</b>	<b>3</b>
<b>ГЛАВА 1. Анализ методов, моделей и технологий автоматизации процессов жизненного цикла гибких печатных плат авионики .....</b>	<b>5</b>
1.1. Тенденции развития электромонтажных конструкций авионики.....	5
1.2. Конструктивные особенности гибких плат .....	8
1.2.1. Преимущества и достоинства гибких печатных плат..	9
1.2.2. Особенности техники соединений на основе гибких плат.....	16
1.3. Проблемы конструкторско-технологического проектирования гибких печатных плат .....	21
1.3.1. Особенности проектирования гибких плат с учетом параметров точности позиционирования .....	21
1.3.2. Суммарные погрешности при конструкторско-технологическом проектировании.....	26
1.3.3. Погрешности на этапе технологической подготовки производства.....	28
1.3.4. Требования высокого разрешения топологии электрических межсоединений.....	30
<b>ГЛАВА 2. Концепция создания инфраструктуры интегрированного информационного сопровождения жизненного цикла гибких печатных плат на основе принципов ИПИ (CALS)-технологий .....</b>	<b>36</b>
2.1. Концепция информационной технологии автоматизации конструкторско-технологических процессов гибких печатных плат.....	36
2.1.1. Концепция информационной технологии и интегральной автоматизации.....	36
2.1.2. Методология интегральной автоматизации процессов создания гибких многослойных печатных плат .....	47
2.1.3. Концепция применения ИПИ (CALS)-технологий....	52

2.2. Формирование профиля средств автоматизированного конструкторско-технологического проектирования гибких многослойных плат для электронных устройств авионики .....	55
2.2.1. Процесс проектирования гибких печатных плат .....	55
2.2.2. Системы САД конструкторского проектирования ....	59
2.2.3. Системы САМ технологического проектирования ...	62
2.3. Концептуальная схема интегрированной системы конструкторско-технологического проектирования гибких многослойных печатных плат авионики .....	65
2.3.1. Особенности построения интегрированной САПР ГМП .....	65
2.3.2. Обобщенный алгоритм технологической подготовки ГМП .....	67
<b>ГЛАВА 3. Научно-методические основы анализа конструкторско-технологических решений в интегрированной САПР ГМП .....</b>	<b>72</b>
3.1. Метод анализа устойчивости конструкций линий связи .....	72
3.1.1. Особенности согласования линий связи в ГМП .....	72
3.1.2. Анализ геометрических характеристик линий связи в ГМП .....	74
3.1.3. Аналитический расчет волнового сопротивления .....	76
3.1.4. Дисперсия волнового сопротивления .....	78
3.1.5. Дисперсии геометрических параметров линий связи в ГМП .....	79
3.2. Метод анализа надежности электрических межсоединений в ГМП .....	82
3.2.1. Структура электрических межсоединений в ГМП ....	82
3.2.2. Линейные модели термомеханических напряжений соединений .....	85
3.2.3. Нелинейные модели анализа характеристик прочности электропроводящих элементов .....	89
3.2.4. Нелинейная модель термомеханических нагружений .....	90
3.2.5. Методика экспериментального исследования напряженного состояния элементов топологии .....	93
3.2.6. Анализ пластичности металлизации .....	96

3.2.7. Результаты экспериментальных исследований деформации .....	97
3.2.8. Устойчивость трансверсальных соединений к термоциклам.....	98
3.3. Метод анализа физической надежности электроизоляционных конструкций в ГМП.....	102
3.3.1. Модель электропроводности композиционных диэлектриков.....	103
3.3.2. Модель сопротивления диэлектриков.....	104
3.3.3. Модель параметра увлажнения монтажных подложек .....	106
3.3.4. Модель сопротивления электрической изоляции печатных плат .....	111
3.3.5. Модель отказов изоляции в структурах ГМП.....	114
3.3.6. Частная модель отказов изоляции ГМП .....	120

#### **ГЛАВА 4. Научно-методические основы синтеза проектных решений для автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства ГМП..... 126**

4.1. Метод синтеза проектно-технологических решений для автоматизации диагностического контроля качества ГМП.....	126
4.1.1. Особенности процесса диагностического контроля.....	126
4.1.2. Критерии и глубина контроля межсоединений .....	127
4.1.3. Критерии автоматического контроля соединений.....	128
4.1.4. Критерии диагностики качества изоляции .....	129
4.1.5. Модель кинетики нагрева проводника током.....	130
4.1.6. Режимы диагностического контроля соединений .....	134
4.1.7. Критерии диагностического контроля изоляции.....	138
4.2. Метод и инструментальные средства определения усадочных коэффициентов ГМП .....	141
4.2.1. Способы вычисления усадочного коэффициента комбинированных гибко-жестких плат.....	144
4.2.2. Инструментальные средства вычисления коэффициентов усадки диэлектрических материалов комбинированных ГМП .....	145
4.2.3. Способ компенсации усадки для гибких шлейфов.....	146

#### **Заключение..... 148**

#### **Библиографический список ..... 150**