

На правах рукописи



**Фам Вьет Ань**

**ДОПУСКОВЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ  
РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ**

Специальность 05.12.04

«Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2016

Работа выполнена на кафедре «Конструирование, технология и производство радиоэлектронных средств» Московского авиационного института (национального исследовательского университета).

Научный руководитель: **Дембицкий Николай Леонидович**  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование, технология и производство радиоэлектронных средств» Московского авиационного института (Национального исследовательского университета)

Официальные оппоненты: **Зинченко Людмила Анатольевна**  
доктор технических наук, профессор кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» МГТУ им. Н. Э. Баумана

**Якимов Виктор Леонидович**  
кандидат технических наук, заместитель начальника кафедры приемных устройств и радиоавтоматики Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург

Ведущая организация: **ОАО (Открытое Акционерное Общество) «РТИ»**

Защита состоится «06» декабря 2016 г. в 15:30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.125.03 при Московском авиационном институте по адресу: 125993, Москва А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Московского авиационного института (125993, Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4) и на сайте <http://www.mai.ru>.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д 212.125.03, д.т.н., проф.

М.И. Сычѳв

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы исследования:

Печатный узел является важнейшей сборочной единицей электронной аппаратуры, от которой во многом зависит качество функционирования радиотехнического устройства. Поэтому не ослабевает постоянный интерес к исследованиям и разработкам конструкторско-технологических проблем проектирования и производства печатных плат (ПП). В настоящее время при создании ПП на первое место выходят требования к повышению уровня плотности монтажа при безусловном обеспечении надежности, помехозащищенности и электрических параметров платы.

Проектирование прецизионных печатных плат следует рассматривать как часть комплексного этапа проектирования печатного узла, при котором только совместное рассмотрение схмотехнических, конструкторских и технологических задач позволит достичь успеха, создать работоспособное устройство. При этом все более **актуальным становится** исследование влияния технологических факторов на качество и надежность узлов РЭА на ПП. Отклонение параметров технологического процесса от номинальных значений приводит к появлению брака. Следствием нарушения технологических норм становятся скрытые дефекты печатных плат, которые обнаруживаются на поздних этапах производства аппаратуры. Такие дефекты приводят к резкому увеличению стоимости изделия. Дефекты нарушения допусков на конструктивно-технологические параметры могут проявляться и в процессе эксплуатации изделия, что снижает его надежность и может приводить к непоправимым последствиям (авариям сложной и дорогостоящей техники).

В настоящее время влияние погрешностей при проектировании быстродействующих цифровых устройств на прецизионных печатных платах определяется эмпирическими методами путем тестирования образцов на производстве. Такой подход приводит к значительному растягиванию времени проектирования, удорожанию изделий, снижению надежности радиотехнических устройств.

Прогнозирование и контроль погрешностей изготовления прецизионных ПП поможет разработчику узла РЭА адекватно оценивать надежность готового изделия, а технологу обеспечивать качество производства.

**Целью диссертационной работы** является повышение *надежности* радиотехнических устройств методами прогнозирования и оперативного контроля погрешностей конструктивно-технологических параметров на стадиях проектирования и производства прецизионных печатных плат.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решаются **следующие задачи:**

1. Исследование влияния конструктивно-технологических погрешностей на электрофизические параметры печатных проводников с целью создания допусковых методов прогнозирования и контроля показателей надежности прецизионных печатных плат на этапах их проектирования и производства.

2. Разработка методов прогнозирования вероятности выхода волнового сопротивления печатных проводников узлов РЭА за пределы производственных допусков. Целью разработки является повышение надежности изготовленных узлов РЭА с учетом конструктивных и технологических погрешностей ПП.

3. Создание способов неразрушающего контроля погрешностей производства ПП на основе электро-радиоизмерений параметров проводников, которые позволят упростить и удешевить проверку конструктивно-технологических параметров ПП на соответствие требованиям допусков. Целью разработки являются экономичные способы оперативного контроля прецизионных ПП.

4. Разработка методов для прогнозирования вероятности смещения компонентов при сборке за границы допуска с целью создания алгоритмов и программ оптимизации конструктивных параметров прецизионных ПП и выбора оборудования сборочно-монтажных производств для изготовления надежных узлов РЭА на прецизионных ПП.

**Научная новизна** предлагаемого в диссертации подхода состоит в том, что разработаны методы, математические модели и алгоритмы, позволяющие дополнить процесс верификации конструкций радиотехнических устройств прогнозированием

и оперативным контролем влияния производственных погрешностей на показатели надежности прецизионных ПП.

Признаками научной новизны обладают следующие **положения, выносимые на защиту**:

1. *Методика проектирования ПП*, дополняющая существующий подход к верификации конструкции расчетом вероятности нарушения производственных допусков на волновое сопротивление печатных проводников, что *позволяет* при проектировании быстродействующих цифровых устройств учитывать возможности производства изделия с заданным уровнем надежности.

2. *Способ* неразрушающего контроля погрешности ширины печатных проводников на основе рефлектометрического метода измерения волнового сопротивления, снижающий трудоемкость существующих методов контроля.

3. *Способ* неразрушающего контроля смещения слоев многослойных ПП на основе рефлектометрического метода измерения волнового сопротивления, снижающий трудоемкость и стоимость существующих методов контроля.

4. *Алгоритм* прогнозирования вероятности дефектов установки компонентов на поверхности прецизионных ПП, позволяющий автоматизировать расчет вероятности смещения выводов компонентов относительно контактных площадок за границы допуска, предоставляя разработчику узлов РЭА объективные оценки возможностей сборочно-монтажного производства при конструировании посадочных мест компонентов.

5. *Алгоритм* оптимизации конструкции посадочных мест компонентов с учетом факторов надежности и качества узлов РЭА при монтаже на поверхности, позволяющий находить оптимальное соотношение между требованиями погрешности установки компонентов в пределах допусков и обеспечением максимальной плотности монтажа.

#### **Практическая значимость:**

Разработанные в диссертации методы и алгоритмы при проектировании, способы контроля при производстве прецизионных ПП позволяют:

- *разработчикам* узлов РЭА повысить уровень надежности конструкций ПП при постоянном росте плотности монтажа и переходе к 5-7 классам точности ПП за счет дополнения методик проектирования учетом влияния погрешностей производства на вероятность обеспечения заданных допусков на электрические и конструктивные параметры прецизионных ПП;

- повысить уровень надежности конструкций ПП при мелкосерийном и опытном производстве, расширив возможности применения операций контроля конструктивно-технологических параметров ПП за счет предложенных экономичных и эффективных способов неразрушающего контроля, в 4-5 раз снижающих трудоемкость контроля по сравнению с разрушающим контролем и значительно снижающих затраты на внедрение контроля совмещения слоев многослойных печатных плат.

**Реализация результатов диссертации:**

Разработанные методы, алгоритмы и программы внедрены в учебном процессе кафедры 404 МАИ (НИУ) и в ОАО «РТИ».

**Методология и методы исследований:**

Построение параметрической и количественной модели для оценки ухода конструктивно-технологических параметров радиотехнических устройств на ПП за пределы допусков выполняется методами теории параметрической надежности и точности. Разработка технологических способов неразрушающего контроля качества ПП выполняется с применением метода рефлектометрии высокочастотных линий связи. Для разработки математической модели задачи оптимизации используется теория математического программирования. Исследования адекватности предлагаемых в диссертации методов, моделей и алгоритмов выполнялись моделированием на промышленной САПР, проверкой полученных результатов на примере конструкции узла РЭА, разработкой специального программного обеспечения, реализующего предложенные методы и алгоритмы.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается:

- Проверкой точности предложенных математических моделей сравнением с результатами расчетов, полученными с помощью промышленной автоматизированной системы моделирования СВЧ устройств.
- Программной реализацией разработанных математических методов, моделей и алгоритмов.
- Проверкой разработанных моделей, методов и алгоритмов на примерах.

#### **Апробация работы:**

Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались на 5 научных конференциях.

#### **Публикации:**

Основные результаты работы опубликованы в 13 печатных работах, в том числе 5 в журналах из списка ВАК, 5 в сборниках тезисов докладов, а также в 3 заявках на изобретения.

**Личный вклад автора:** Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с соавторами, причем вклад диссертанта был определяющим. Все представленные в диссертации результаты получены лично автором.

**Структура и объем диссертации:** Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Она содержит 175 страниц машинописного текста, включающего 54 рисунка и список литературы из 105 наименований.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, её научная новизна и практическая значимость, определены цели и задачи исследований и разработок. Дана общая характеристика диссертационной работы.

**Глава 1.** Проведенный анализ разработок и исследований в области технологий производства устройств на ПП позволяет сделать вывод: эта область практической радиотехники находится в непрерывном, ускоренном развитии. Тенденции развития определяется требованиями повышения уровня интеграции и

возрастающей роли быстродействующих цифровых устройств, прогрессом элементной базы, совершенствованием технологического оборудования, появлением новых материалов. На фоне прогресса технологий ПП наблюдается непрерывный рост плотности монтажа и уменьшение размеров компонентов, которые предъявляют повышенные требования к показателям качества технологического процесса.

При переходе на прецизионные технологии ПП (классы точности 5 и выше) возрастает вероятность брака и снижения надежности узлов РЭА на ПП из-за нарушений условий передачи сигналов. На целостность сигнала быстродействующих цифровых устройств сильное влияние оказывает нарушения допусков на волновое сопротивление печатных проводников, связанных с погрешностями производства ПП. Такие дефекты трудно прогнозируемы и определимы, поэтому особенно опасны. Становится актуальной задача дополнения существующих методик проектирования прецизионных ПП процедурами анализа влияния *производственных погрешностей* на волновое сопротивление сигнальных межсоединений, которые позволили бы анализировать и прогнозировать вероятность обеспечения заданных допусков с целью определения достижимости требуемых показателей надежности при выбранном технологическом процессе (ТП) изготовления ПП.

*На этапе производства* высока вероятность нарушения конструктивно-технологических параметров прецизионных ПП. Для повышения показателей качества ПП необходимо осуществлять контроль ТП. Анализ и выявление погрешностей изготовления ПП требует применения очень дорогого оборудования, а разрушающие способы контроля резко снижает производительность ТП, что создает проблемы для мелкосерийных и опытных производств. Становится *актуальной задачей* разработки простых и эффективных методов оперативного контроля ПП. *Целью* разработки является снижение временных и финансовых затрат при контроле погрешностей производства прецизионных ПП.

В условиях уменьшения размеров компонентов и проектных норм ПП на снижение надежности и качества изделий значительное влияние оказывают



операций сборки. Поэтому при разработке конструкции узлов РЭА на ПП весьма *актуальна* задача прогнозирования и расчета параметров точности сборочно-монтажных операций. Необходимо найти компромиссный (оптимальный) вариант между уровнем надежности устройства и снижением его габаритов за счет повышения плотности монтажа.

На основе проведенного анализа проблем проектирования и производства радиотехнических устройств для обработки цифровой информации сделаны выводы о необходимости проведения исследований в области допускового контроля и прогнозирования погрешностей прецизионных ПП. Определены цели и задачи актуальных исследований и разработок.

**Глава 2.** В разработке конструкций ПП для быстродействующих устройств обработки цифровой информации используются методики, основанные на последовательном, циклическом подходе, в котором инженер схемотехник и конструктор совместно решают задачу проектирования. С переходом на прецизионные технологии и ростом быстродействия все более значительной становится зависимость параметров цифровых устройств от технологических процессов изготовления сигнальных проводников. *Целью* проведенных в главе 2 исследований является разработка методики прогнозирования уровня надежности прецизионных ПП по критерию обеспечения производственных допусков на волновые сопротивления печатных проводников.

С помощью программы моделирования ADS2008 проведено исследование точности предлагаемых в технической и научной литературе аналитических зависимостей волнового сопротивления проводников  $Z$  от геометрических параметров линий связи толщины диэлектрика  $h$ , ширины проводника  $w$ , толщины металлизации  $t$  и эффективной диэлектрической проницаемости платы  $\epsilon_{eff}$ .

Показано, что выбранные для расчетов формулы могут быть использованы для анализа производственных погрешностей, т.к. имеют точность не хуже 1% в диапазоне значений параметров ПП. Пример анализа зависимостей волнового сопротивления от конструктивного параметра микрополосковой линии (ширины

проводника) приведен на рисунке 1. Аналогичные зависимости были исследованы и для других типов линий связи.

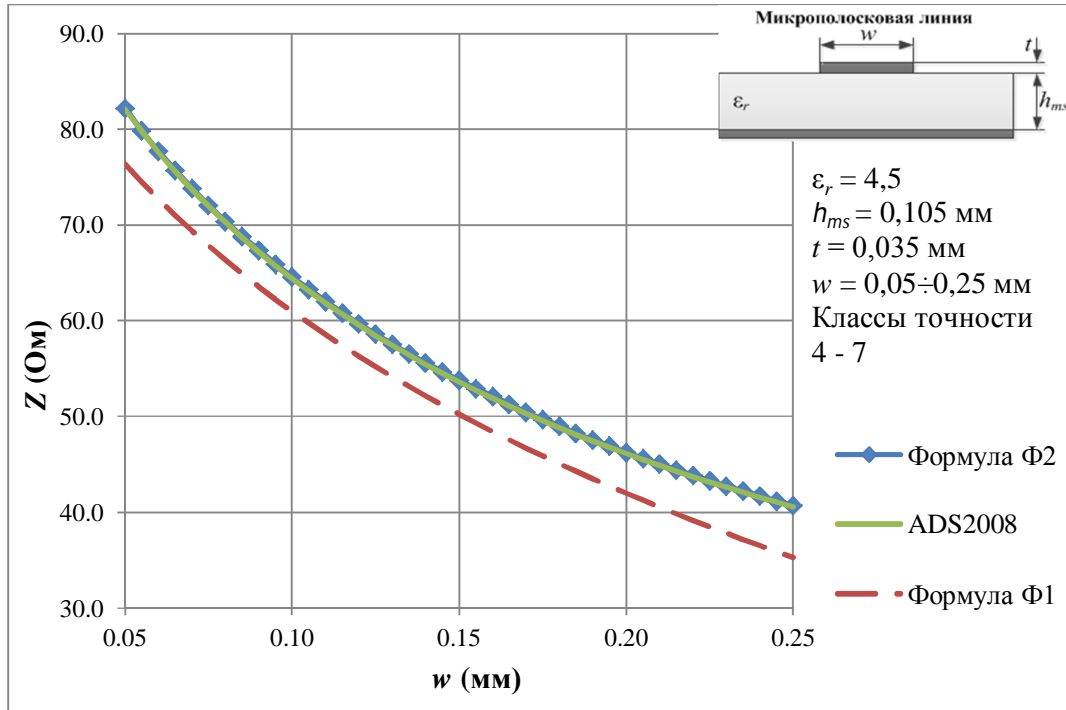


Рисунок 1 - Зависимость волнового сопротивления ( $Z$ ) от ширины проводника ( $w$ ) для микрополосковой линии

На основе теории параметрической надежности получены формулы для расчета *коэффициентов влияния* конструктивных параметров  $q_i$  на погрешность волнового сопротивления печатных проводников  $A_i = \left[ \frac{\partial f}{\partial q_i} \cdot \frac{q_i}{f} \right]$ .

Относительная погрешность волнового сопротивления, как случайная величина, характеризуется шириной поля рассеяния:

$$\delta \left( \frac{\Delta Z}{Z} \right) = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2} \cdot \delta \left( \frac{\Delta q_i}{q_i} \right), \quad (1)$$

где  $\delta \left( \frac{\Delta q_i}{q_i} \right)$  – половина поля допуска относительной погрешности  $\frac{\Delta q_i}{q_i}$  параметра  $q_i$ .

Показателем надежности ПП является вероятность попадания относительной погрешности волнового сопротивления проводников ПП в поле допуска:

$$P = \prod_{i=1}^n p_i, \quad (2)$$

где  $p_i$  – вероятность попадания в поле допуска  $i$ -го проводника,  $n$  – количество проводников.

На основе полученных аналитических зависимостей разработана методика расчета показателя надежности ПП (рисунок 2), которая позволяет в процессе проектирования цифровых узлов РЭА на прецизионных ПП осуществлять прогнозирование возможностей производства ПП по обеспечению требуемых допусков на волновое сопротивление. Предлагаемый подход в отличие от существующей методики проектирования плат с контролируемым волновым сопротивлением позволяет проектировщику ПП давать оценку конструкции с позиций параметрической надежности.

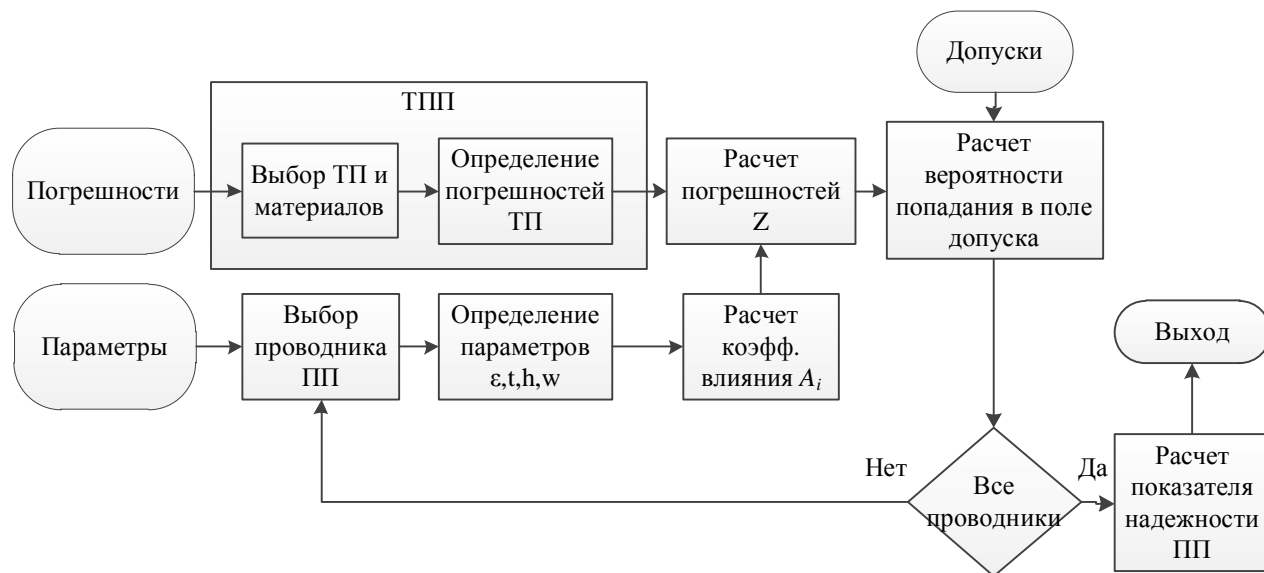


Рисунок 2 - Оценка ТП по критерию параметрической надежности

**Глава 3** посвящена разработке методов неразрушающего контроля погрешностей конструктивно-технологических параметров ПП. Этап контроля является необходимым в технологии прецизионных ПП, так как снижает риски выпуска ненадежных изделий. Целью разработки новых методов неразрушающего контроля является снижение стоимости и повышение производительности контрольных операций.

Изменение ширины проводников в результате подтравов является одной из технологических проблем производства прецизионных ПП. Для создания стабильных технологических процессов необходим постоянный контроль операций

травления. В диссертации предложен способ неразрушающего контроля ширины проводников измерением отклонений волнового сопротивления проводника на тестовом образце ПП с помощью рефлектометра. Технический результат заключается в снижении трудоемкости и повышении оперативности контроля погрешности ширины проводников после формирования токопроводящего рисунка слоев ПП без необходимости визуальных измерений ширины проводников.

Измерения проводятся на тестовых образцах. Относительная погрешность ширины проводника тестового образца вычисляется с помощью формулы

$$\delta_w = \frac{\Delta w}{w} \approx \frac{\Delta Z}{Z \cdot A_w} = \delta_Z \cdot A_w^{-1}, \quad (3)$$

где  $\delta_Z$  – относительная погрешность измеренного волнового сопротивления,  $A_w$  – коэффициент влияния погрешности ширины проводника на погрешность волнового сопротивления.

Контроль совмещения слоев многослойных ПП (МПП) является дорогостоящим процессом, который требует применения специального оборудования и сложной технологической оснастки. В предлагаемом способе дорогостоящие и трудоемкие операции с применением машинного зрения или разрушающего контроля заменяются измерениями электрофизических параметров.

В слоях металлизации тестируемой многослойной печатной платы формируются тест-купоны в виде  $N$  пар отрезков проводников, расположенных в соседних слоях металлизации и смещенных на величину  $\Delta_i$  ( $i \leq N$ ) относительно друг друга (рисунок 3).

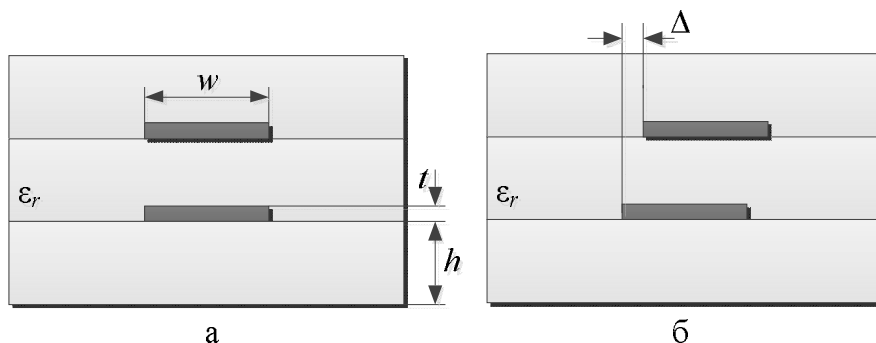


Рисунок 3 - Конструкция линии проводников: а) сечение проводников без смещения; б) сечение проводников при смещении  $\Delta$

При сдвиге слоев происходит изменение волнового сопротивления каждой пары, которое регистрируется с помощью рефлектометра. Определяется пара с минимальным волновым сопротивлением. Сдвиг проводников выбранной пары показывает величину рассовмещения слоев.

**Глава 4.** При сборке устройств на прецизионных ПП усиливается влияние смещения компонентов на надежность монтажа. Алгоритм прогнозирования вероятности дефектов использует разработанные в диссертации модели расчета размеров посадочных мест и правила определения недопустимых состояний при монтаже печатных узлов. Основными процедурами алгоритма, являются: выбор размеров КП из базы данных компонентов, расчет допусков с помощью логической обработки правил сборки, расчет погрешностей установки компонентов и вероятности нарушения допусков.

Относительная погрешность смещения компонента рассчитывается по формуле:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{\varphi \in F} \delta_{\varphi}^2}, \quad (4)$$

где  $\delta_{\varphi}$  - допуски на относительные смещения по различным факторам  $\varphi$  из множества факторов  $F$ , влияющих на расположение вывода по отношению к контактной площадке. Среди выбранных факторов конструктивные погрешности ПП, неточности формовки выводов и ошибки оборудования.

Вероятность отклонения центра вывода за допуск для компонента:

$$q = 1 - 2 \cdot \Phi\left(\frac{Del}{\sigma}\right), \quad (5)$$

где  $\Phi$  - функция Лапласа,  $\sigma$  - среднеквадратичная относительная погрешность смещения компонента,  $Del$  – допуск на предельное отклонение положения вывода компонента. Вероятность нарушения качества сборки по всему узлу рассчитывается по формуле:

$$\bar{Q} = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - q_i), \quad (6)$$

где  $m$  - количество компонентов, устанавливаемых автоматом.

Разработанный алгоритм использован в программном комплексе (рисунок 4), позволяющем формировать у разработчика ПП адекватную модель для контроля принимаемых решений при выборе конструктивно-технологических параметров ПП и технологического оборудования сборочно-монтажных операций.



Рисунок 4 - Структура программного комплекса прогнозирования надежности сборки

На базе метода динамического программирования и алгоритма проверки допусков на сборку компонентов был разработан алгоритм оптимизации конструкций контактных площадок по критерию максимальной плотности монтажа.

Задача оптимизации: найти оптимальное назначение уровней плотности монтажа  $K^* = (k_1^*, k_2^*, \dots, k_m^*)$  для компонентов устройства, по максимуму значения суммарного, освобождаемого ресурса магистралей между КП посадочных мест компонентов:

$$\Psi^* = \Psi(K^*) = \max \Psi(K) = \max \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^3 \frac{(E_i - x_{ij})k_{ij}}{t}, \quad (7)$$

где  $E_i$  - шаг выводов  $i$ -го компонента,  $x_{ij}$  - ширина КП посадочного места  $i$ -го компонента при выборе  $j$ -го уровня плотности монтажа,  $k_{ij}$  - бинарная функция назначения уровня плотности монтажа для  $i$ -го компонента,

$$k_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если выбран } j\text{-го уровня плотности монтажа} \\ 0, & \text{если } j\text{-й уровень плотности монтажа не выбран} \end{cases}$$

$t$ - минимальный шаг трассировки соединений, равный сумме минимальной ширины проводника и минимального зазора между элементами топологии ПП.

Задавая предельную вероятность  $Q_{\text{доп}}$  превышения допуска на смещение компонентов, можно записать ограничение задачи оптимизации:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^3 k_{ij} q_{ij} \leq Q_{\text{доп}}, \quad (8)$$

где  $q_{ij}$  – вероятность нарушения допуска при выборе  $j$ -го уровня плотности монтажа для  $i$ -го компонента.

В данной постановке задача оптимизации была решена классическим методом динамического программирования.

При разработке алгоритма оптимизации введено понятие кластера частного решения, который является моделью рекуррентного соотношения:

$$\Psi_k(Q) = \max_k [\Psi_{k-1}(Q_{k-1}) + \rho_k(q_k)], \quad (9)$$

где  $Q_{k-1} + q_k \leq Q \leq Q_{\text{доп}}$ , заданного на  $k$ -м шаге алгоритма оптимизации при ограничении  $\sum_{i=1}^k q_i \leq Q$ , ( $0 \leq Q \leq Q_{\text{доп}}$ ).

### **Основные результаты диссертационной работы:**

1. На базе инженерных методов расчета волнового сопротивления печатных проводников и методов параметрической надежности радиотехнических устройств *разработана методика*, расширяющая возможности существующего подхода к проектированию прецизионных ПП быстродействующих цифровых устройств в направлении учета влияния технологических процессов на надежность ПП и позволяющая:

- на этапе проектирования прецизионных ПП для быстродействующих

устройств цифровой обработки информации прогнозировать вероятность выполнения требований допусков на погрешности волнового сопротивления печатных проводников;

- принимать решение о применимости технологического процесса изготовления ПП для получения надежных быстродействующих цифровых устройств.

2. *Предложен способ* неразрушающего контроля ширины проводников с помощью измерения отклонений волнового сопротивления проводника на тестовом образце печатной платы, который не требует проведения измерений с помощью рентгенографии или разрушающего контроля, что значительно снижает трудоемкость контроля.

3. *Предложен способ* неразрушающего контроля смещения слоев МПП с помощью измерения волнового сопротивления пар проводников на тест-кулоне ПП, в котором не требуется проведения визуальных измерений смещения слоев МПП и систем машинного зрения, что отличает предлагаемое техническое решение от существующих дорогостоящих и трудоемких способов контроля.

4. *Разработан алгоритм* прогнозирования дефектов сборки, позволяющий с использованием методов расчета размеров посадочных мест и правил определения недопустимых состояний при монтаже печатных узлов при проектировании ПП:

- связывать вероятность нарушения требований допусков на установку компонентов в посадочные места с погрешностями сборки;
- формировать у разработчика ПП адекватную модель для контроля принимаемых решений при выборе параметров посадочных мест.

5. На основе метода динамического программирования и предложенного алгоритма расчета показателей надежности паяных соединений *разработан алгоритм* оптимизации размеров контактных площадок для монтажа компонентов на поверхности ПП, позволяющий находить оптимальное соотношение между требованиями допустимой надежности устройств и максимальной плотности монтажа.



## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### **В изданиях, рекомендованных перечнем ВАК:**

1. Фам, Вьет Ань. Оптимизация выбора оборудования для производства бортовых радиотехнических комплексов / Н.Л. Дембицкий, А.В. Луценко, Фам Вьет Ань. – Электрон. журн. – Труды МАИ, 2015 - № 81. – режим доступа к журн.: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=57879>.

2. Фам, Вьет Ань. Экспертная система технологической подготовки процесса сборки и монтажа узлов бортовой радиоаппаратуры / Н.Л. Дембицкий, А.В. Луценко, Фам Вьет Ань. – Электрон. журн. – Труды МАИ, 2015 - № 83. – режим доступа к журн.: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=62213>.

3. Фам, Вьет Ань. Расчет рисков в автоматизированной системе покрытия комплексов радиоаппаратуры унифицированными блоками / Н.Л. Дембицкий, Д.Н. Дембицкий, Фам Вьет Ань // Авиакосмическое приборостроение. – 2014. - № 8. - С. 3-9.

4. Фам, Вьет Ань. Разработка регрессионной модели для расчета площади печатной платы функциональной ячейки / Зыонг Дык Ха, Фам Вьет Ань – Электрон. журн. – Труды МАИ, 2010 - № 41. – режим доступа к журн.: <https://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=23795>.

5. Фам, Вьет Ань. Учет влияния погрешностей технологического процесса на выход годных при изготовлении высокочастотных устройств на печатных платах / Н.Л. Дембицкий, Фам Вьет Ань // Доклады ТУСУРа. – 2016. – том 19. № 1. - С. 9-13.

### **Заявки на получение патента:**

6. Фам, Вьет Ань. Способ контроля отклонений ширины проводников печатной платы от номинальных значений / Н.Л. Дембицкий, Фам Вьет Ань // Заявка № 2016115784. Зарегистрирована 22.04.2016 г.

7. Фам, Вьет Ань. Устройство контроля технологической погрешности ширины проводников печатной платы / Н.Л. Дембицкий, Фам Вьет Ань, А.М. Петраков // Заявка № 2016115787. Зарегистрирована 22.04.2016 г.

8. Фам, Вьет Ань. Тест-купон и способ контроля погрешностей совмещения слоев многослойной печатной платы / Н.Л. Дембицкий, Фам Вьет Ань, А.М. Петраков // Заявка № 2016126038 Зарегистрирована 29.06.2016 г.

**В других изданиях:**

9. Фам, Вьет Ань. Программный комплекс оптимального выбора технологического оборудования для производства радиоаппаратуры [Текст] / Фам Вьет Ань // 13-й Международной конференции «Авиация и Космонавтика - 2014». 17-21 ноября 2014 года. Москва. Тезисы. – СПб.: Мастерская печати, 2014. - С. 468-469.

10. Фам, Вьет Ань. Улучшение показателей сборочно-монтажных операций производства РЭА методами программно-алгоритмического моделирования [Текст] / Фам Вьет Ань // 14-й Международной конференции «Авиация и Космонавтика - 2015». 16-20 ноября 2015 года. Москва. Тезисы. – Типография «Люксор», 2015. - С. 286-287.

11. Фам, Вьет Ань. Интерактивные программные средства настройки задачи оптимизации технологического процесса [Текст] / Фам Вьет Ань // Московская молодёжная научно-практическая конференция «Инновации в авиации и космонавтике - 2015». 21-23 апреля 2015 года. Москва. Сборник тезисов докладов. – М.: МАИ, 2015. - С. 172-173.

12. Фам, Вьет Ань. Оптимизация управления рисками в проектировании радиоэлектронной аппаратуры / Д.Н. Дембицкий, Фам Вьет Ань // Конкурс научно-технических работ и проектов «Молодежь и будущее авиации и космонавтики - 2014». 17-21 ноября 2014 года. Москва. Сборник аннотаций. - М.: МАИ, 2014. - С. 157-158.

13. Фам, Вьет Ань. Интерактивные программные средства настройки задачи оптимизации технологического процесса [Текст] / Фам Вьет Ань, Ву Хонг Фук // Гагаринские чтения – 2016: XLII Международная молодёжная научная конференция. Сборник тезисов докладов. – М.: МАИ, 2016. - С. 551-552.