

На правах рукописи

Лысенко Андрей Александрович

Разработка моделей и алгоритмов согласования  
задержек сигналов в линиях передачи  
для САПР печатного монтажа

Специальность: 05.13.12 - Системы автоматизации проектирования  
(промышленность)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2012

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) на кафедре систем автоматизированного проектирования

Научный руководитель

кандидат технических наук, профессор, Лячек Юлий Теодосович

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор, Мироненко Игорь Германович, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), профессор кафедры микрорадиоэлектроники и технологии радиоаппаратуры

Кандидат технических наук, Ларистов Дмитрий Александрович, инженер Департамента телекоммуникаций компании "Business Computer Center" ("ВСС")

Ведущая организация – Открытое акционерное общество «Авангард»

Защита состоится 22 мая 2012 года в 16.30 на заседании диссертационного совета Д 212.238.02 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина).

Автореферат разослан 16 марта 2012 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Сафьянников Н.М.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

### Актуальность исследования

Быстродействие вычислительной техники постоянно возрастает. При этом современные компьютеры, как и прежде, состоят из блоков синхронной логики, управляемых централизованной системой тактовой синхронизации.

Проблема состязаний сигналов в цифровых схемах еще совсем недавно связывалась, в основном, с задержками на элементах и с различием числа элементов на пути прохождения сигналов. В современных высокоскоростных схемах (речь идет о диапазоне сотни МГц - единицы ГГц) проводники представляют собой длинные линии (длина проводника превышает длину электромагнитной волны), поэтому уже недостаточно просто растрассировать печатную плату, необходимо также обеспечить согласование задержек сигналов в линиях передачи. На плотных платах трудоемкость согласования задержек сигналов может быть достаточно высокой, и автоматизация этого процесса является актуальной задачей.

### Цели и задачи исследования

**Цель работы** – нивелировать разницу задержки сигналов в линиях передачи на печатных платах.

Достижение указанной цели предполагает **решение следующих основных задач**:

- 1) анализ применяемых моделей и алгоритмов расчета и синхронизации задержек сигналов в линиях передачи на печатных платах;
- 2) разработка моделей и алгоритмов автоматического создания проводников заданной длины;
- 3) разработка моделей и алгоритмов расчета необходимых добавок линий задержек в цепях для синхронизации сигналов;
- 4) разработка моделей и алгоритмов автоматической синхронизации задержек сигналов в цепях;
- 5) реализация программных средств, обеспечивающих как интерактивную, так и автоматическую синхронизацию задержек сигналов в цепях, и интеграция их в САПР «ТороR».

### Основные методы исследования

Для решения поставленных задач использовались аппараты теории графов, векторной алгебры и аналитической геометрии, методы оптимизации на графах, исследования операций и искусственного интеллекта.

### Новые научные результаты

Научная новизна представляемой диссертационной работы заключается в следующем:

- 1) предложена концепция комплексного подхода к решению задачи синхронизации задержек сигналов, включающая различные модели и алгоритмы, используемые на разных этапах проектирования печатного монтажа;

2) предложена модель зигзагообразной линии задержки в виде трапециевидной области, в которую вписывается проводник, форма которого динамически меняется в зависимости от заданных условий;

3) предложены формулы расчета формы проводника заданной длины в заданной области, обеспечивающие погрешность не более 50 нм;

4) предложен алгоритм автоматического создания областей, расчета и коррекции их размеров для обеспечения выравнивания заданных задержек сигналов при выполнении конструктивно-технологических ограничений;

5) предложена методика сокращения длины максимальных проводников в группе на этапе автотрассировки;

б) предложена методика сокращения разброса длин проводников в группе за счет переназначения функционально эквивалентных контактов и поворота компонентов.

### **Научные положения, выносимые на защиту**

1. Эффективное решение задачи обеспечения требуемых задержек сигналов в линиях передачи возможно в рамках комплексного подхода с применением различных моделей и алгоритмов, используемых на разных этапах проектирования печатного монтажа.
2. Модель зигзагообразной линии задержки в виде области, в которую вписывается проводник, форма которого динамически меняется в зависимости от заданных условий, обеспечивает возможность параллельного согласования задержек сигналов.
3. Алгоритм автоматического создания областей зигзагообразных линий задержки, расчета и коррекции их размеров с учетом выполнения конструктивно-технологических ограничений обеспечивает эффективное выравнивание заданных задержек сигналов.

**Практическая ценность** работы состоит в создании программных средств, позволяющих выравнивать задержки сигналов как в автоматическом, так и в интерактивном режимах. Указанные программные средства включены в состав САПР «ТороR». Применение разработанных средств обеспечивает существенное сокращение сроков проектирования высокоскоростных печатных узлов, повышение надёжности и улучшение качества функционирования радиоэлектронных средств.

### **Реализация результатов работы**

Результаты диссертационной работы в виде конкретных положений, выводов, методов, алгоритмов, машинных программ и расчетных данных внедрены в инженерную практику и используются в составе САПР «ТороR» на промышленных предприятиях Москвы, Санкт-Петербурга, Нижнего Новгорода, Тулы, Рязани и Киева, а также в учебном процессе СПбГУАП, СПбГЭТУ (ЛЭТИ). Акты, подтверждающие внедрение, приведены в приложении.

### **Апробация работы**

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и были одобрены на следующих конференциях:

- 8-й международной НПК “Современные информационные и электронные технологии”, г. Одесса, 2007г.;
- 7-й Международной конференции “CAD/CAM/PDM-2007”, г. Москва, 2007г.;
- 9-й международной НПК “Современные информационные и электронные технологии”, г. Одесса, 2008г.;
- 10-й международной НПК “Современные информационные и электронные технологии”, г. Одесса, 2009г.;
- 11-й международной НПК “Современные информационные и электронные технологии”, г. Одесса, 2010г.;
- 10-й Международной конференции “CAD/CAM/PDM-2010”, г. Москва, 2010г.

### **Публикации.**

Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 12 научных работах, среди которых 2 публикации в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных в действующем перечне ВАК России, 1 статья в рецензируемом издании, рекомендованном ВАК Украины, 2 статьи в других изданиях и 7 работ в материалах международных научно-технических конференций.

### ***Структура и объем диссертации***

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего 47 наименований. Основная часть работы изложена на 132 страницах машинописного текста. Работа содержит 80 рисунков и 2 таблицы.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** кратко освещён предмет исследования, обоснована актуальность темы диссертационной работы. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая ценность результатов. Кратко описано содержание диссертации по главам.

**В первой главе** описано современное состояние методов согласования задержек сигналов в линиях передачи на печатных платах, выявлены их основные недостатки и сформулированы некоторые проблемы, которые остро нуждаются в решении.

Обычно задача согласования задержек сигналов решается путем увеличения длины более коротких проводников. Однако, во-первых, для этого необходимо иметь достаточно свободного пространства, а во-вторых, в ряде случаев увеличение длины более коротких проводников может сопровождаться увеличением длины и более длинных, которые необходимо отодвинуть, чтобы обеспечить необходимое пространство для размещения добавленных сегментов более коротких проводников.

Увеличение длины проводников обычно осуществляется вписыванием мандра в некоторую, например, прямоугольную область.

На рис. 1 и рис. 2 приведены два варианта вписывания меандра в прямоугольную область. Такой способ увеличения длины проводников применяется в системе «Allegro».

Уменьшая шаг  $d$  между секциями, можно при тех же  $h$  и  $l$  увеличивать длину  $L$  проводника, однако уменьшение  $d$  имеет определенные пределы, связанные как с шириной проводника ( $w$ ), так и с минимальным зазором, при котором не возникает проблем с целостностью сигнала. Обычно  $d$  не меньше  $3w$ , поэтому получить сколь угодно большую длину на достаточно малой площади не удаётся.

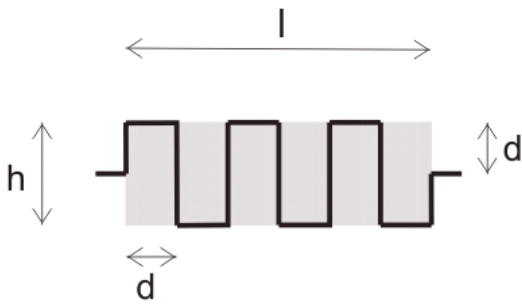


Рис. 1. Вариант 1 – accordion (аккордеон)  
(по терминологии «Allegro»)

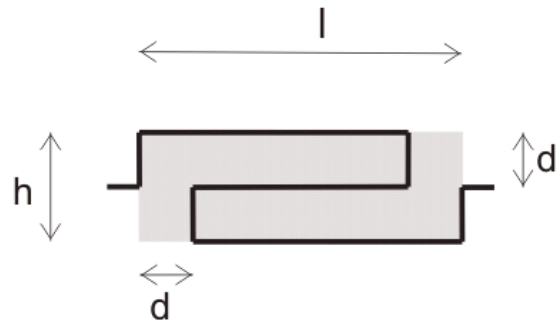


Рис. 2. Вариант 2 – trombone (тромбон)  
(по терминологии «Allegro»)

При трассировке только по ортогональным направлениям (в случае прямоугольной платы – по направлениям, параллельным сторонам печатной платы) неэффективно используются ресурсы монтажного пространства. Так называемая, диагональная трассировка (под углом  $45^\circ$ ) позволяет не только сократить суммарную длину соединений, но и при одинаковых проектных нормах высвободить ресурсы монтажного пространства.

Однако в этом случае при заполнении непрямоугольных свободных ресурсов прямоугольными областями для выравнивания длин проводников неизбежны потери площади. На рис. 3 серым цветом выделены неиспользуемые области.

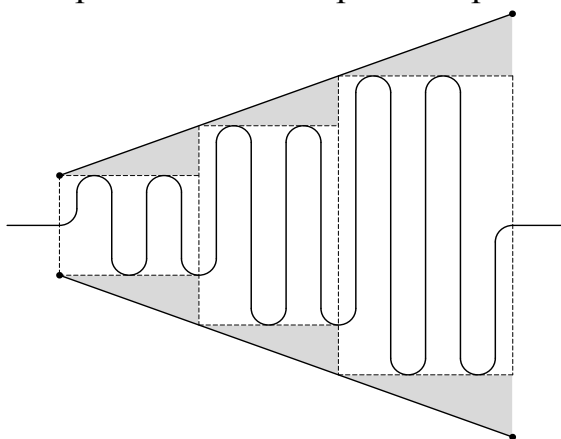


Рис. 3. Неоптимальное использование пространства

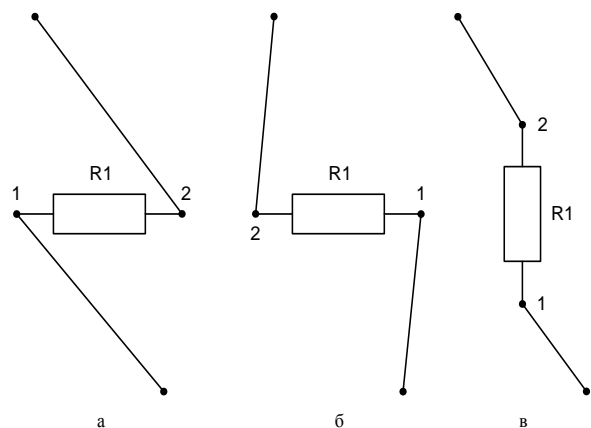


Рис. 4. Резистор и инцидентные ему проводники: а – исходное положение; б – после переназначения функционально эквивалентных контактов; в – после поворота на  $90^\circ$

Кроме того, при аппроксимации непрямоугольных областей прямоугольниками требуется решить задачу выбора оптимальных размеров прямоугольников с

учетом кратности этих размеров величине полупериода меандра. Очевидно, что при использовании области, например, в виде трапеции монтажное пространство будет использоваться более эффективно (можно обеспечить на той же площади большую длину).

Отечественная САПР «ТороR» осуществляет автоматическую гибкую топологическую трассировку соединений в произвольных направлениях (не только под  $90^\circ$  и  $45^\circ$ ). В САПР «ТороR» можно обеспечить большую эффективность использования ресурсов коммутационного пространства за счет использования непрямоугольных областей для выравниваний длин проводников.

Как уже упоминалось, обычно выравнивание длин проводников некоторого класса осуществляется увеличением длины коротких проводников. Однако в ряде случаев имеется возможность сократить длину наиболее длинных. На рис. 4 показано, как с помощью переназначения функционально эквивалентных контактов или поворота компонента сокращается длина инцидентных ему проводников.

Для эффективного решения задачи выравнивания задержек группы сигналов следует учитывать необходимость выравнивания и принимать соответствующие меры на различных этапах проектирования печатного монтажа (до, во время и после трассировки соединений).

**Во второй главе** описаны методы автоматического создания проводников заданной длины.

Чтобы увеличить длину того или иного проводника необходимо иметь возможность регулировать длины сегментов, составляющих проводник. Для достижения этой цели фрагмент проводника заменяется областью, в которую вписывается некоторая ломаная линия, обеспечивающая получение требуемой для этого сегмента проводника длины.

В качестве ограничивающей области выберем трапецию, задаваемую пользователем, а в качестве вписываемой в эту область ломаной линии – «серпантин».

Исходными данными при создании зигзагообразной линии задержки–серпантина являются параметры трапеции, в которую она должна быть вписана; ширина проводника; зазор между проводниками внутри линии задержки (причем зазор – это не расстояние между серединами проводников, а расстояние между их краями) и флаг аппроксимации, указывающий на то, должны ли дугообразные участки быть аппроксимированы отрезками прямых или нет. Параметры трапеции задаются координатами точек, приведенных на рис. 5 – **A, B, C, E, F, G**.

Точки **B** и **F** – это точки «входа» и «выхода» соответственно. Зная координаты указанных точек, можно найти исходную высоту трапеции – расстояние между точками входа и выхода ( $l_{BF}$ ). Именно эта величина определяет минимально возможную длину линии задержки в заданной трапеции (случай, когда линия задержки вырождается в отрезок прямой) –  $lenMin$ .

Для расчета формы линии задержки по заданной длине необходимо обеспечить расчет ряда дополнительных параметров по габаритам трапеции и другим исходным данным.

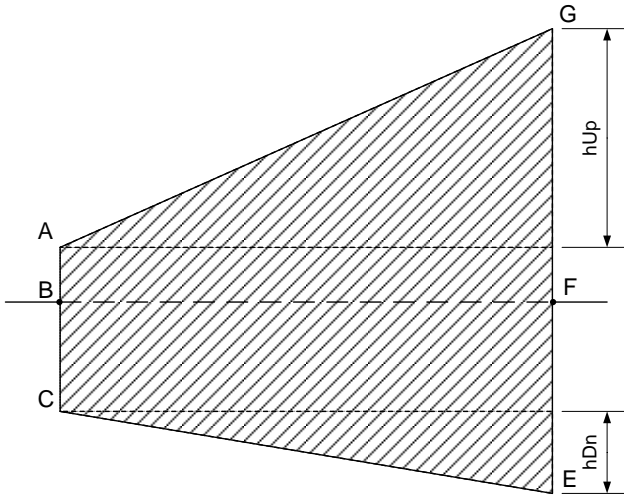


Рис. 5. Области, в которых рассчитывается длина линии задержки

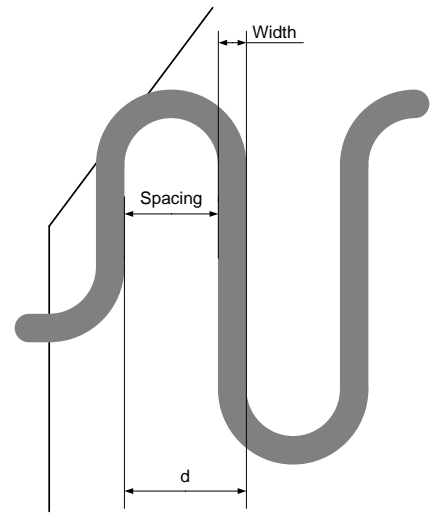


Рис. 6. Параметры линии задержки: Spacing – зазор между проводниками внутри змейки, Width – ширина проводника,  $d$  – величина полупериода

Прежде всего, требуется вычислить величину полупериода ( $d$ ) для линии задержки. Эта величина вычисляется как сумма толщины проводника и зазора между проводниками внутри линии задержки, как показано на рис. 6.

Следующий важный параметр – количество полупериодов ( $n$ ), «умещающихся» в трапеции:

$$n = \left\lfloor \frac{LBF}{d} \right\rfloor.$$

На рис. 5 отмечена область, в которой требуется рассчитать длину линии задержки. Эта область полностью совпадает с трапецией и состоит из прямоугольника, верхнего треугольника и нижнего треугольника. Таким образом, длина линии задержки в трапеции – это сумма длины линии задержки в прямоугольнике и добавок её длины в верхнем и нижнем треугольниках.

Однако это справедливо, если расстояние от точки входа до ближайшей точки основания ( $BA$ ) больше величины полупериода ( $BA > d$ ). В противном случае линия задержки вписывается в симметричный (относительно  $BF$ ) прямоугольник вне зависимости от формы трапеции.

Первая критическая линия задержки (рис. 7) вписана в симметричный прямоугольник, параметр  $h$  для которого равен  $d$  (длина полупериода).

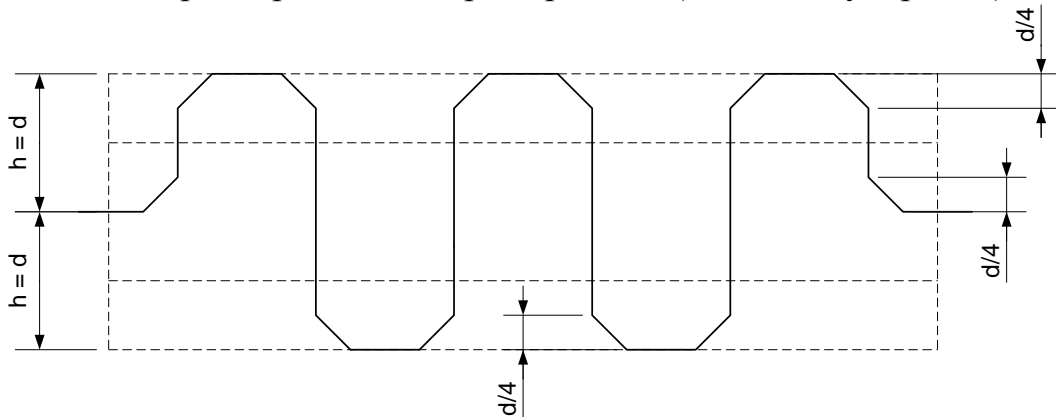


Рис. 7. Первая критическая линия задержки



Вторая критическая линия задержки (рис. 8) вписана в симметричный прямоугольник, параметр  $h$  для которого равен  $d/2$ .

Третья критическая линия задержки (рис. 9) вписана в симметричный прямоугольник, параметр  $h$  для которого равен  $d/4$ .

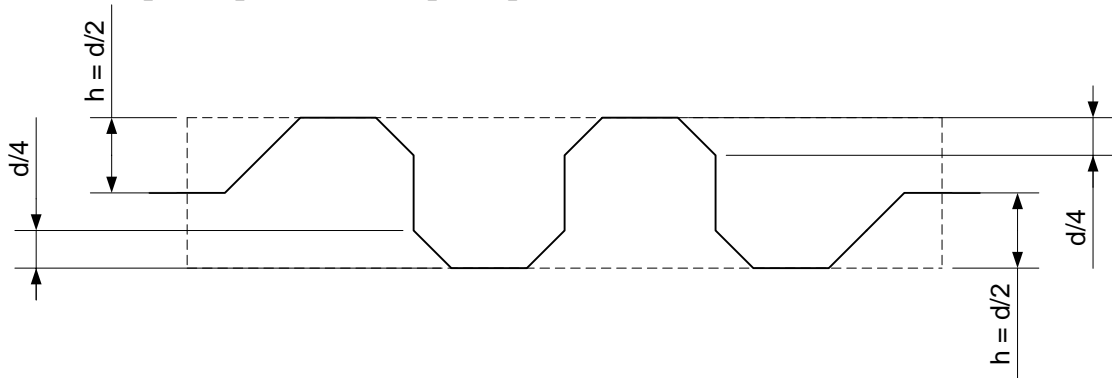


Рис. 8. Вторая критическая линия задержки

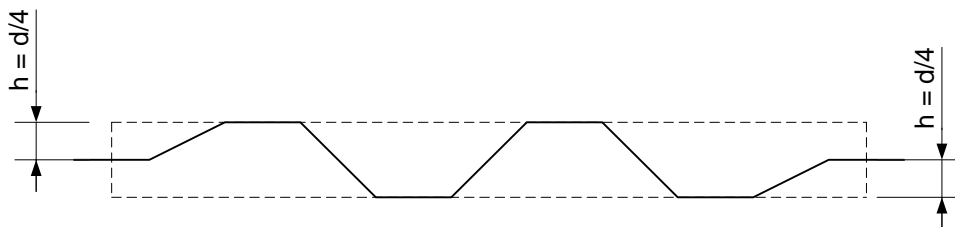


Рис. 9. Третья критическая линия задержки

Рассчитать форму линии задержки по заданной длине проводника можно после того, как вычислены все параметры трапеции. На рис. 10 приведена схема алгоритма расчета формы линии задержки в трапеции по заданной длине.

В приведенной схеме используются следующие обозначения величин:

- $len$  – требуемая длина проводника;
- $lenMin$  – минимально возможная длина линии задержки в трапеции;
- $lenMax$  – максимально возможная длина линии задержки в трапеции;
- $lenRect$  – длина линии задержки в прямоугольнике;
- $lenPar$  – длина линии задержки в равнобедренной трапеции или параллелограмме;
- $lenSymRect$  – длина линии задержки в симметричном треугольнике;
- $lenCrit1$  – первая критическая длина линии задержки;
- $lenCrit2$  – вторая критическая длина линии задержки;
- $lenCrit3$  – третья критическая длина линии задержки.

Соотношения перечисленных величин:

$$0 < lenMin < lenCrit3 < lenCrit2 < lenCrit1 \leq lenSymRect \leq lenRect \leq lenPar \leq lenMax$$

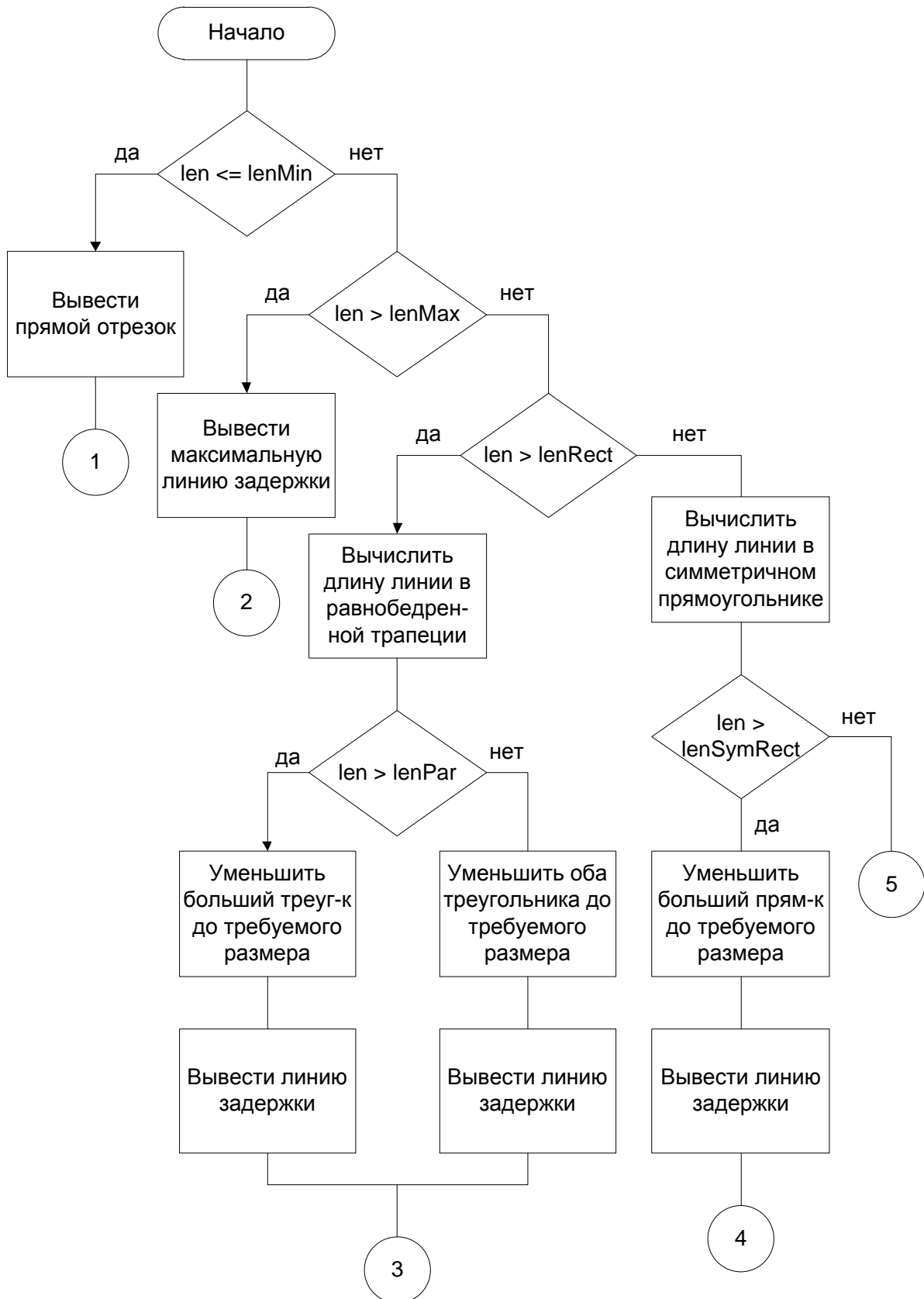
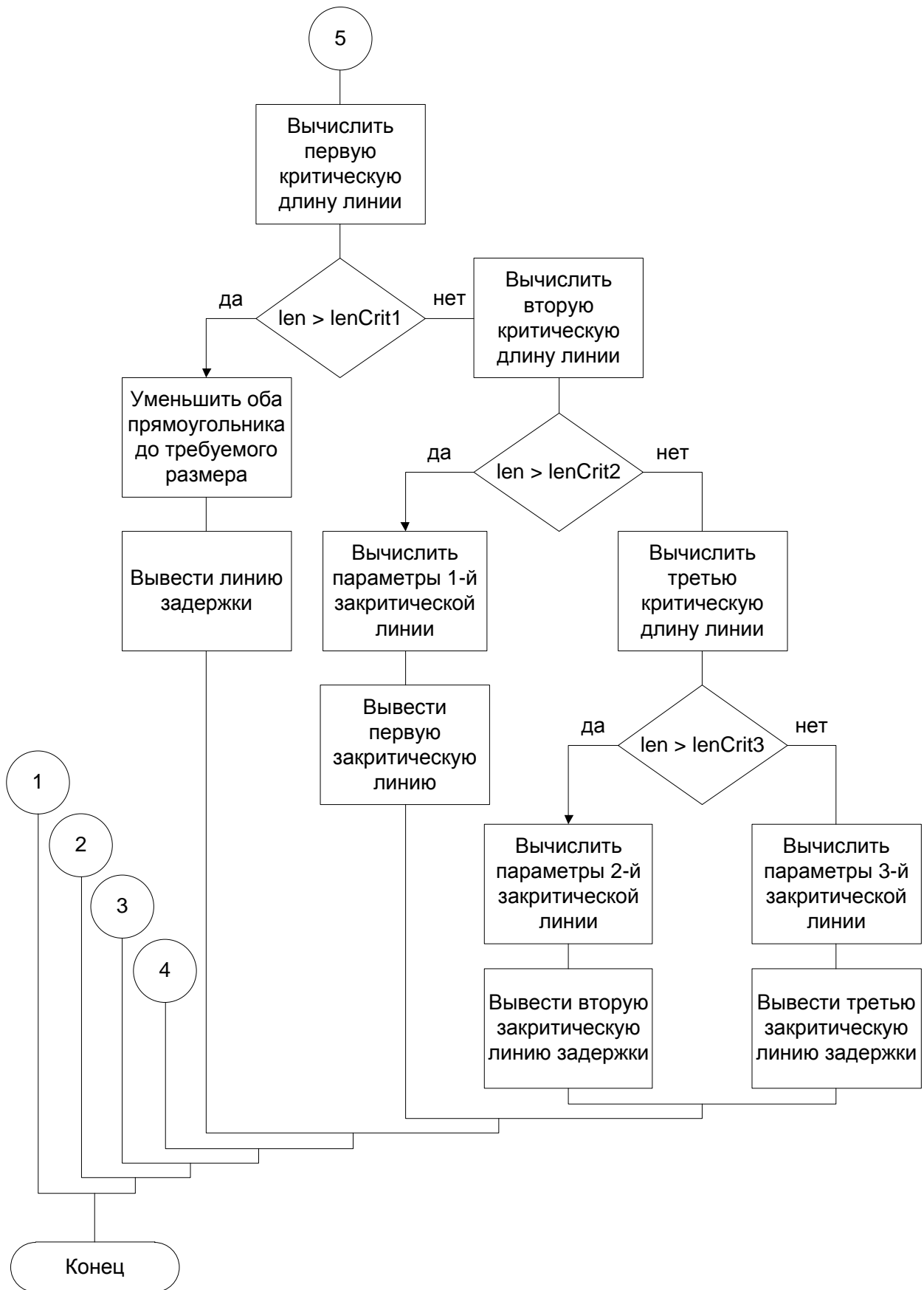


Рис. 10. Алгоритм расчета формы линии задержки по заданной длине (Начало)



**Рис. 10. Алгоритм расчета формы линии задержки по заданной длине (Окончание)**

***В третьей главе*** описаны методы выравнивания задержек групп сигналов на различных этапах проектирования печатного монтажа.

***Автоматическое выравнивание задержек сигналов***

При автоматическом формировании зигзагообразных линий задержки предлагается использовать прямоугольные области, которые автоматически расставляются и размеры которых автоматически регулируются с помощью алгоритма, представленного ниже.

***Алгоритм:***

Определить множество сигналов, нуждающихся в увеличении их задержки, и рассчитать необходимую добавку к текущей задержке сигнала.

Для каждого проводника, передающего соответствующий сигнал:

- слишком короткие сегменты, образующие тупой угол (рис. 11, а), объединить в один сегмент, соединяющий начало первого и конец второго сегментов (рис. 11, б);

- слишком длинные сегменты подразбить для обеспечения большей свободы при их последующей раздвижке;

- на месте полученных сегментов, уменьшенных на некоторую величину, создать прямоугольные области (рис. 11, в), ширину которых рассчитать исходя из требуемой добавки задержки сигнала;

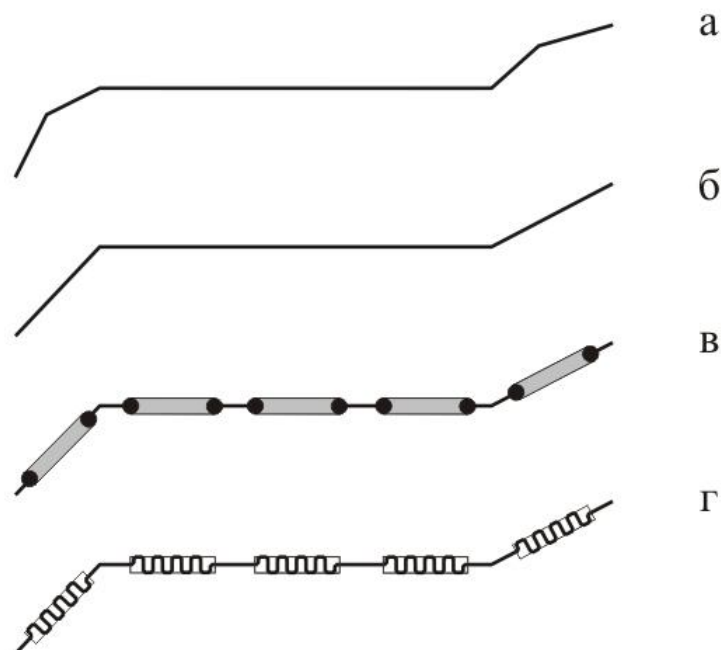
- осуществить автоматическую раздвижку для ликвидации возможных нарушений зазоров, появившихся в результате увеличения ширины сегментов;

- уменьшить ширину прямоугольных областей в “узких местах” и ликвидировать слишком узкие прямоугольные области (если их ширина меньше, чем 1.5 ширины проводника, то их следует заменить сегментом проводника);

- скорректировать в сторону увеличения ширину прямоугольных областей в сигналах, на которых были “подрезаны” или удалены прямоугольные области;

- преобразовать прямоугольные области в линии задержки (рис. 11, г);

- осуществить автоматическую раздвижку областей линий задержек.



**Рис. 11. Автоматическое формирование линий задержки**

### *Выравнивание длин соединений за счет переназначения функционально эквивалентных контактов*

Суммарная длина проводников – один из основных факторов, нуждающихся в минимизации при прокладке проводников и последующей оптимизации разводки. За нижнюю оценку суммарной длины проводников при трассировке можно принять сумму расстояний между соединяемыми парами контактов. Уменьшить величину нижней оценки целесообразно попытаться ещё перед трассировкой, например, при помощи улучшения размещения компонентов, изменения угла их установки или использования функциональной эквивалентности контактов компонентов.

Пусть компонент имеет  $N$  функционально эквивалентных контактов, т.е. проводники, подсоединенные к этим  $N$  контактам, могут быть подсоединены к любому из них в любом порядке (с соответствующими изменениями принципиальной схемы). Тогда, сформировав матрицу  $L$  (размерностью  $N \times N$ ), каждый элемент строки которой содержит длину отрезка, соединяющего один из  $N$  внешних для компонента контактов с каждым из  $N$  эквивалентных контактов компонента, получаем исходные данные (матрица стоимостей назначений) для решения задачи о назначениях.

Для приближенного решения задачи предлагается использовать следующий подход:

1. Найти максимум среди минимальных значений в столбцах и строках

$$l = \max_i (\min_j l_{ij}, \min_j l_{ji})$$

(После выравнивания длина любого проводника в группе будет не меньше  $l$ .);

2. Скорректировать значения элементов матрицы  $L$ , заменив  $l_{ij}$  на

$$(l_{ij} - l)^2;$$

3. Решить задачу о назначениях, используя скорректированную матрицу.

Подобный подход способствует минимизации разброса длин отрезков, соединяющих функционально эквивалентные контакты компонента с внешними контактами, при ограничении на суммарную длину.

### *Поворот компонентов*

Возможности выравнивания задержек сигналов за счет поворота многоконтактных компонентов в общем случае сильно ограничены, поскольку варианты, когда при повороте сокращается длина самых длинных проводников и при этом увеличивается длина самых коротких, достаточно редки. Тем менее, пренебрегать такой возможностью не следует, тем более что проверка четырех (с кратностью  $90^\circ$ ) или даже восьми (с кратностью  $45^\circ$ ) вариантов ориентации компонента требует не слишком больших накладных расходов.

### *Уменьшение разброса длин на этапе оптимизации разводки*

На этапе оптимизации разводки одним из основных критериев является суммарная длина проводников. В то же время, если в какой-либо группе проводников требуется обеспечить равенство задержек сигналов, то уменьшение длины и без того коротких проводников не имеет смысла, так как только увеличивает трудоемкость последующего выравнивания задержек сигналов. Лучшие результаты можно получить, ориентируясь при выборе варианта трассировки не на реальную суммарную длину проводников группы:

$$\sum_{i=1}^n l_i,$$

а на оценку суммарной длины проводников в группе с учетом добавки на выравнивание:

$$\sum_{i=1}^n \max(l_i, L),$$

где  $L = \max_i(l_i)$  - нижняя граница эталонной длины проводника для группы,

$l_i$  - нижняя граница возможной длины  $i$ -го проводника (например, расстояние между концами проводника).

Длины всех проводников группы будут выравниваться на эталонную длину, поэтому имеет смысл укорачивать только те проводники, длина которых превышает нижнюю границу эталона.

**Четвертая глава** посвящена вопросам организации программного обеспечения синхронизации задержек сигналов в линиях передачи, функционирующих в составе САПР «ТороR». Приведены результаты сравнительного анализа со средствами САПР «Expedition» фирмы Mentor Graphics (США), одним из мировых лидеров в области проектирования печатных плат.

Проведенный сравнительный анализ продемонстрировал несомненное преимущество разработанных моделей и алгоритмов по сравнению с аналогами (Specstra, Expedition) в части быстродействия и качества получаемых решений.

**В заключении** сформулированы основные научные и практические результаты работы.

**В приложении** даются материалы, подтверждающие использование полученных результатов в народном хозяйстве страны.

### **Основные результаты работы**

1. Предложена концепция комплексного подхода к решению задачи синхронизации задержек сигналов, включающая различные модели и алгоритмы, используемые на разных этапах проектирования печатного монтажа.
2. Предложена методика сокращения длины максимальных проводников в группе на этапе автотрассировки.
3. Предложена методика сокращения разброса длин проводников в группе за счет переназначения функционально эквивалентных контактов и поворота компонентов.

4. Предложена модель зигзагообразной линии задержки в виде трапециевидной области, в которую вписывается проводник, форма которого динамически меняется в зависимости от заданных условий.
5. Предложены формулы расчета формы проводника заданной длины в заданной области, обеспечивающие погрешность не более 50 нм.
6. Предложен алгоритм автоматического создания областей, расчета и коррекции их размеров для обеспечения выравнивания заданных задержек сигналов при выполнении конструктивно-технологических ограничений.
7. Разработаны программные средства, позволяющие выравнивать задержки сигналов как в автоматическом, так и в интерактивном режимах. Указанные программные средства входят в состав САПР «ТороR». Применение разработанных средств обеспечивает существенное сокращение сроков проектирования высокоскоростных печатных узлов, повышение надёжности и улучшение качества функционирования радиоэлектронных средств.

### **Список опубликованных работ по теме диссертации**

*Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:*

#### ***Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК России:***

1. Лысенко А.А., Лячек Ю.Т., Полубасов О.Б. Автоматическое формирование линий задержки в топологии печатного монтажа // Известия СПбГЭТУ “ЛЭТИ”. – 2011. – №9. – С.61-65.
2. Lysenko A., Luzin S., Polubasov O. Synchronizing Delays in Signal Transmission Lines in a Flexible Topological Routing System (Согласование задержек в линиях передачи сигналов в системе гибкой топологической трассировки). // Onboard Technology. – September 2011. – pp.14-17.

#### ***Другие издания (в том числе рецензируемые):***

3. Лысенко А.А., Полубасов О.Б. “Обеспечение заданной длины проводников в САПР ТороR” // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2009. №4. – С.3-21.
4. Лысенко А.А., Полубасов О.Б. Проектирование высокоскоростных плат в САПР ТороR // Электроника: НТБ. – 2010. – №2. – С.102-103.
5. Лысенко А.А., Лузин С.Ю., Полубасов О.Б. Выравнивание задержек в САПР ТороR. // Труды Международной конференции “CAD/CAM/PDM-2010” / - М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – 2010. – С.179-184.

#### ***Материалы международных научно-технических конференций:***

6. Лысенко А.А., Лузин С.Ю., Лузина Е.С., Петросян Г.С. Новые возможности САПР ТОРОR. // Труды 8-й международной НПК “Современные информационные и электронные технологии”. – Одесса. – 2007. - С.25.
7. Лысенко А.А., Полубасов О.Б. Аппроксимация дугообразных участков проводников. // Труды 8-й международной НПК “Современные информационные и электронные технологии”. – Одесса. – 2007. – С.258.

8. Лысенко А.А., Алексеев А.А., Лузин С.Ю., Петросян Г.С., Полубасов О.Б. Распределенная трассировка печатных плат. // Доклад 7-й Международной конференции “CAD/CAM/PDM-2007” / - М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – 2007. – С.55-56.
9. Лысенко А.А., Лузин С.Ю., Петросян Г.С., Полубасов О.Б. Учет размера межслойных переходов в топологической модели печатного монтажа, используемой в САПР “ТОРОR” // Труды 9-й международной НПК “Современные информационные и электронные технологии”. Т.2. – Одесса. – 2008. – С.26.
10. Лысенко А.А., Лузин С.Ю., Петросян Г.С., Полубасов О.Б. Регулирование длины проводников в САПР ТороR. // Труды 10-й международной НПК “Современные информационные и электронные технологии”. Т.2. – Одесса. – 2009. – С.49.
11. Лысенко А.А., Лузин С.Ю., Петросян Г.С., Полубасов О.Б. Средства проектирования высокоскоростных плат в САПР ТороR // Труды 11-й международной НПК “Современные информационные и электронные технологии”. Т.2. – Одесса. – 2010. – С.37.
12. Лузин С.Ю., Лысенко А.А., Полубасов О.Б. Выравнивание задержек в САПР ТороR. // Доклад 10-й Международной конференции “CAD/CAM/PDM-2010” / - М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – 2010. – С.90.