

На правах рукописи

Бассам Ахмед Махмуд Абдулкадер

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО И
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ
КОНСТРУКТОРСКИХ ЧЕРТЕЖЕЙ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ СЕТЕВОЙ
МОДЕЛИ

Специальность: 05.13.12 - Системы автоматизации проектирования
(промышленность)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2013

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ)» на кафедре систем автоматизированного проектирования

Научный руководитель:

кандидат технических наук, профессор, Лячек Юлий Теодосович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, Лузин Сергей Юрьевич, технический директор и руководитель обособленного подразделения САПР Санкт-Петербургского филиала ООО «Эремекс»

кандидат технических наук, Ларистов Дмитрий Александрович, инженер департамента телекоммуникаций компании «Business Computer Center» (ВСС).

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП)

Защита состоится «23» мая 2013 года в 15-00 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 «___» апреля 2013 года.

Ученый секретарь

диссертационного совета _____ /Н.М. Сафьянников/

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность исследования определяется тем, что оно связано с приоритетным направлением модернизации и технологического развития экономики России и, в частности, с информационными технологиями и разработкой алгоритмов и программного обеспечения для параметризации обычных (непараметрических) конструкторских чертежей. Несмотря на все разговоры о “безбумажном” проектировании, генерация параметрических чертежей остается весьма актуальной и в наши дни, так как заводы и технологи требуют чертежей. В основе формирования параметрических моделей чертежей лежит принцип использования адаптивной сетевой модели этих чертежей, изменяющихся при изменении значений используемых в них размеров. Адаптивная сетевая модель выступает в роли эффективной (универсальной) параметрической модели чертежа, так как она действует на все поле чертежа и соответственно на все характерные точки основных графических примитивов, определяющих образ детали, изображенной на чертеже, и позволяет автоматически их перерисовать в соответствии с новыми размерными обозначениями. Создаваемые таким образом параметрические модели чертежей могут быть использованы для автоматизированного построения комплектов конструкторских документов при модификации изделия любого назначения. Вместе с тем, с этой сеткой косвенно связаны и все элементы оформления чертежа (всевозможные технологические обозначения), и изображение размерных обозначений. Это позволяет автоматически получать практически полностью оформленные конструкторские чертежи модифицированных изделий. Формирование адаптивной сетевой модели зависит только от используемых в описании основных графических элементов и типа и вида, установленных в нем, размерных обозначений. Ее представление не зависит от порядка и способа формирования графических примитивов (от алгоритма построения изображения детали), а также времени и способа простановки на чертеже размерных обозначений. Это позволяет использовать такую сетку для автоматического создания параметрического описания практически любого ранее сформированного в непараметрических системах конструкторского чертежа. Необходимо только, чтобы используемые размерные обозначения однозначно описывали форму изображенной детали, т.е. исходный чертеж должен соответствовать требованиям ЕСКД, и по нему можно было бы изготовить требуемую деталь.

Созданные на основе адаптивной сетки программные средства могут найти широкое использование в конструкторских отделах машиностроительных проектных бюро и предприятий всех отраслей промышленности.

Объектом исследования диссертационной работы являются процессы параметризации и параметрические системы автоматизированного проектирования машиностроительных изделий.

Предметом исследования выступают разработка и исследование алгоритмов автоматизированного формирования адаптивной сетевой модели чертежа, которая является одним из вариантов параметрической модели чертежа.

Цель и задачи исследования – разработка и реализация алгоритмов и программного обеспечения для подсистемы параметризации конструкторских чертежей на основе адаптивной сетевой модели чертежа, которая, по сути, является параметрической моделью и которая меняется под действием изменяющихся размерных обозначений, что позволяет автоматически формировать конструкторские чертежи для модифицированных изделий.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие **основные научные и практические задачи**:

1. Исследовать современные методы формирования параметрических моделей конструкторских объектов
2. Исследовать и анализировать элементы, входящих в состав конструкторских чертежей различных изделий;
3. Разработать алгоритмы выявления имеющихся в электронном описании непараметрического чертежа графических элементов, сортировки их по группам и на основе анализа основных элементов чертежа предложить алгоритм формирования его базовой сетки;
4. Исследовать особенности представления многовидовых чертежей и разработать алгоритмы выявления и идентификация видов, имеющихся в чертеже, и алгоритмы установления связи между основными видами и определения базовой точки чертежа;
5. Разработать алгоритмы установления связи между всеми элементами базовой сетки чертежа через значения имеющихся размерных обозначений;
6. Разработать алгоритм формирования адаптивной сетевой модели чертежа, обеспечивающий его параметризацию, и программные средства, реализующие все предложенные алгоритмы.

Основные методы исследования

В диссертационной работе применялись методы теории параметризации, теории геометрического моделирования, методов компьютерной графики, методы теории САПР, современные методы разработки инструментов для создания конструкторских чертежей. Экспериментальные разработки программных параметрических моделей выполнены на базе средств адаптации системы AutoCAD (языка Auto LISP, среды Visual LISP и языка DCL);

Научные положения, выносимые на защиту

1. Алгоритм выявления и формирование групп различных типов графических примитивов, присутствующих в чертеже, для которого формируется адаптивная сетевая модель;
2. Алгоритм создания базовой ортогональной сетки чертежа;
3. Алгоритм автоматического выявления имеющихся на чертеже видов деталей и установления связи между элементами базовой сетки чертежа, относящи-

мися к разным основным видам;

4. Алгоритм выявления положения базовой точки чертежа;

5. Алгоритм формирования адаптивной сетевой модели чертежа

Научная новизна состоит в разработке алгоритмов и программного обеспечения для аналитико-синтетической системы параметризации конструкторских чертежей на основе формирования адаптивной сетевой модели чертежа, для чего были разработаны следующие алгоритмы:

1. Алгоритм формирование групп видов графических примитивов чертежа;
2. Алгоритм создания базовой ортогональной сетки чертежа;
3. Алгоритм выявление видов деталей при автоматическом формировании параметрических моделей электронных описаний чертежей и установление связи между ними;

4. Алгоритм определение положения базовой точки чертежа;

5. Алгоритм формирования адаптивной сетевой модели чертежа.

Практическая ценность работы заключается в создании на основе разработанных алгоритмов программных средств, позволяющих формировать параметрические модели эскизов и чертежей произвольных конструкторских деталей, представленных в электронном виде. Применение разработанных средств возможно в конструкторских отделах практически всех отраслей промышленности, и позволяет исключить из процесса проектирования новых модификаций изделий такой дорогостоящий процесс, как ручное формирование и оформление для них новых комплектов конструкторских документов типа чертеж. Это способствует повышению экономической эффективности и обеспечивает сокращение времени создания комплектов конструкторских документов (чертежей) для новых модификаций изделий, в десятки раз.

Реализация и внедрение результатов работы

Теоретические и практические результаты диссертационной работы использовались в ряде госбюджетных НИР, проводимых по тематическому плану СПбГЭТУ «ЛЭТИ» в 2010-2012 гг.:

- по теме «Разработка теоретических основ модельного проектирования на основе парадигмы виртуальности» (шифр САПР-45, 2009-2010 гг.);
- по теме «Математико-логические основы построения сред виртуальных инструментов» (шифр САПР-49, 2012-2014 гг.),

а также в виде конкретных положений, методов, алгоритмов и машинных программ внедрены в учебный процесс кафедры «Системы автоматизированного проектирования» Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) при чтении лекций и проведении лабораторных работ и написанию курсовых работ по дисциплинам «Автоматизация конструкторско-технологических работ» и «Геометрическое моделирование в САПР», а также при подготовке магистерских диссертаций и при дипломном проектировании на факультете компьютерных технологий и информатики и открытом факультете университета.

Апробация работы

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

- XVII международная научно-методическая конференция «Современное образование: содержание, технологии, качества». С.-Пб, 20.04. 2011 г.
- Международной заочной научно-практической конференции. Тамбов, 29.11. 2011
- Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Йошкар-Ола 2012г.

Публикации

Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 6 научных работах, среди которых 2 публикации в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных в действующем перечне ВАК России, 1 работа в издательстве Nota Bene и 3 работы в материалах научно-технических конференций.

Структура и объем диссертации

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего 55 наименований, и приложения. Основная часть диссертации изложена на 135 страницах машинописного текста и содержит 41 рисунок.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении кратко освещен предмет и объект исследования, обоснована актуальность темы диссертационной работы. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая ценность вопросы реализации и апробации работы. Кратко изложено содержание диссертации.

В первой главе проведен анализ систем автоматизации проектирования. Рассмотрены основные понятия теории параметризации, Параметризация плоских графических примитивов и методы создания параметрических моделей в САПР и их особенности. В результате было выявлено, что методы параметризации можно разделить на автоматизированные и программные и показано, что параллельную параметризацию целесообразно использовать для создания 3D моделей, программную – для формирования стандартных деталей и элементов оформления чертежей, а последующую – для построения параметрических моделей ранее созданных непараметрических чертежей. В результате анализа выявлено, что одним из наиболее важных направлений ведущихся разработок являются исследования в области параметризации моделей объектов машиностроительных САПР.

Во второй главе проведен анализ проблемы создания параметрических моделей (параметризации) конструкторских чертежей и проведена классификация предметной области объекта автоматизации. Рассмотрены ограничения, используемые в чертежах – ограничения в виде размерных и топологические обо-

значений, и ограничения ЕСКД. Рассмотрены основы создания подсистемы параметризации чертежей и общий алгоритм формирования адаптивной сетевой модели (параметрической модели) чертежа при обработке электронных описаний этих чертежей.

В результате анализа видов информации, представленных в описании чертежей, показано, что основой для параметрической модели всего чертежа должна служить геометрическая информация, описывающая форму и топологию изображаемого объекта, а действие на нее размерных обозначений должно распространяться на все поле чертежа через его базовую сетку. При этом процесс создания параметрической модели предполагает связную обработку всех его видов на основе требований ЕСКД. Параметризация вспомогательной информации может быть обеспечена на основе параметрической модели изображенной детали.

В третьей главе разработан ряд алгоритмов, обеспечивающих формирование адаптивной сетевой модели чертежа на основе реализации численного метода аналитико-синтетической параметризации конструкторских чертежей.

Алгоритм автоматического определения всех видов чертежа основывается на следующих основных положениях:

- взаимное расположение всех основные видов чертежа строго определяется стандартами ЕСКД, а дополнительные, местные виды и выноски сопровождаются соответствующими именами;
- область на поле чертежа, занимаемая каждым видом, определяется положением только связанными друг с другом основными графическими примитивами (отрезками, полилиниями, дугами и окружностями), которые в совокупности составляют графическое изображение вида.
- каждый дополнительный, местный вид и выносной элемент сопровождается именем.

Укрупненный алгоритм определение видов конструкторских чертежей (рис. 1) может быть условно разбит на четыре этапа. На первом, подготовительном, этапе в блоке 1 осуществляется чтение файла описания чертежа, анализ графических элементов, входящих в чертеж и разделение их на отдельные группы, исходя из их типов.

При этом выделяются различные виды базовых элементов, к которым относятся графические примитивы – отрезки, дуги, окружности, и составные из этих примитивов элементы – полилинии; сплайны, эллипсы и их дуги, контура и т.п. Кроме того, выявляются вспомогательные графические элементы, в первую очередь к которым относятся оси симметрии, заголовки видов; и ассоциативные элементы – размерные и технологические обозначения, штриховка и т.д. Одновременно с анализом геометрических параметров базовых графических

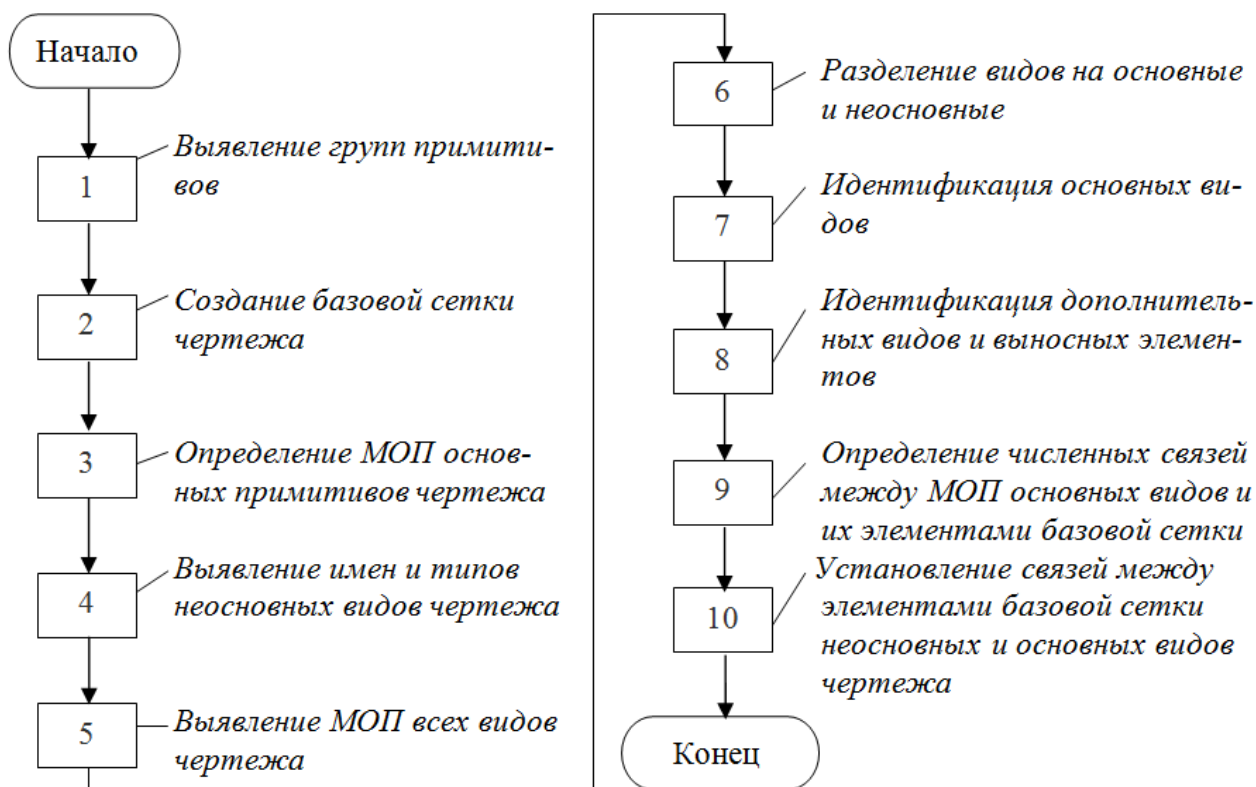


Рисунок 1 – Укрупненный алгоритм определения видов в конструкторском чертеже

элементов в блоке 2 осуществляется разбиение составных элементов на составляющие их примитивы и создание базовых сеток (прямоугольных по осям X и Y и угловой, определяемой наклоном отрезков, началом и концом дуг окружностей и эллипсов, а также наклоном осей центральной симметрии).

Далее на втором этапе в блоке 3 осуществляется определение минимально охватывающих многоугольников (МОП) всех базовых примитивов чертежа, а в блоке 4 выявление имен и типов всех неосновных видов и точек их привязки.

Выявление МОП всех видов чертежа обеспечивается путем склеивания МОП основных примитивов чертежа (блок 5). Далее осуществляется разбиение этих видов на основные и неосновные (блок 6). Основные виды выявляются на основе анализа наличия между основными видами проекционной связи и достаточно точного равенства высоты и ширины их МОП между собой. Неосновные виды явной проекционной связью не обладают, но зато они могут быть легко связаны с их именами и типами, выявленными на этапах 1 и 4. На этом, шестом, этапе осуществляется также определение количества основных видов чертежа. Заканчивается второй этап укрупненного алгоритма идентификацией основных видов чертежа (блок 7).

Алгоритм идентификации основных видов базируется на анализе предварительно отсортированных по координатам X и Y центров масс МОП основных блоков, т.е. их взаимном расположении, и их общем количестве, число которых не должно превышать шести.

При идентификации основных видов, прежде всего, выявляется положение главного вида, который должен находиться на пересечении линий, соединяющих центры всех МОП этих видов, а затем легко определяются имена остальных основных видов чертежа, исходя из требований ЕСКД.

После идентификации основных видов осуществляется идентификация дополнительных видов и выносных элементов (блок 8) в соответствии с ЕСКД на основе сопровождающих их имен, стрелок и выносок.

На третьем этапе (блок 9) обеспечивается определение численных связей между всеми МОП основных видов, а также устанавливается полное взаимное соответствие между элементами базовых сеток, относящихся к разным основным видам – для видов слева и справа по сетки X устанавливается двухсторонняя связь с сетки Y для видов снизу и сверху. Кроме того, такая же взаимообразная связь устанавливается для части сети X, относящейся к виду сзади, с одной стороны и видам снизу, главного и сверху по этой же координате X, с другой стороны.

На последнем этапе (блок 10) алгоритма осуществляется установление взаимного соответствия между элементами базовой сетки (по координатам X, Y и по углу), которые относятся к неосновным видам, и элементами базовой сетки, относящихся к основным видам.

Алгоритм установления связей между элементами ортогональных базовых подсетей, принадлежащих разным основным видам (по осям X и Y) необходим для обеспечения переноса выявленных связей с одного основного вида, на котором установлены размерные обозначения на другой связанный с ним вид, на графических примитивах которого требуемые для параметризации размерные обозначения не проставлены. Этот алгоритм включает следующие этапы:

Этап 1. Для видов 1, 3, 4 и 6 (рис. 2) выявляются минимальные и максимальные значения координаты X минимально охватывающего прямоугольника (X_i^{\min} и X_i^{\max}), а для видов 2 и 5 минимальные и максимальные значения координаты Y (Y_j^{\min} и Y_j^{\max}). Также определяются соответствующие расстояния между основными видами (между прямоугольниками, соответствующими этим видам) – ΔX_{1-4} , ΔX_{3-1} , ΔX_{6-3} , ΔY_{1-2} , ΔY_{5-1} .

В соответствии с определенными на первом этапе значениями X_i^{\min} и X_i^{\max} для видов 1 (2, 5), 3, 4 и 6 выявить все элементы базовой сетки X, попадающие в указанные диапазоны. Затем для каждого вида составляются списки или массивы пар, состоящих из упорядоченных значений каждого базового элемента и расстояния в мм этого элемента от соответствующего левого края МОП для видов 1(2, 5) и 3 и от правого края для видов 4 и 6.

Например, списки для МОП 1(2, 5) и 3 представляются в виде:

$$((0, X_i^{\min}) (\delta X_i^k = (X_i^k - X_i^{\min}), X_i^k) \dots (\delta X_i^{\max} = (X_i^{\max} - X_i^{\min}), X_i^{\max})), \quad (1)$$

где i – равно 1(2,5) или 3 в зависимости от номера рассматриваемого вида,

X_i^k – упорядоченные по возрастанию координаты, соответствующие элементам базовой сетки для i -го МОП, а для МОП 4 и 6 в виде:

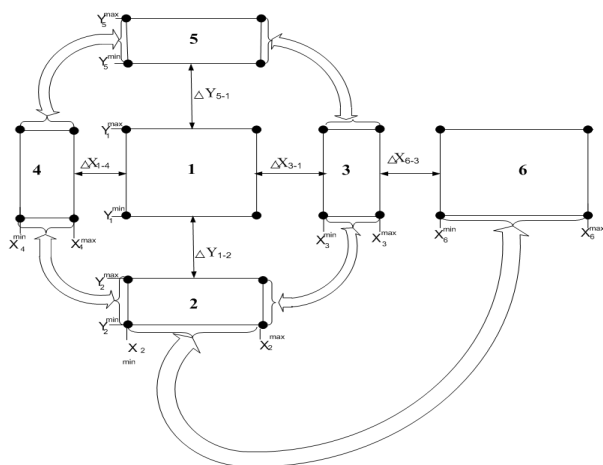
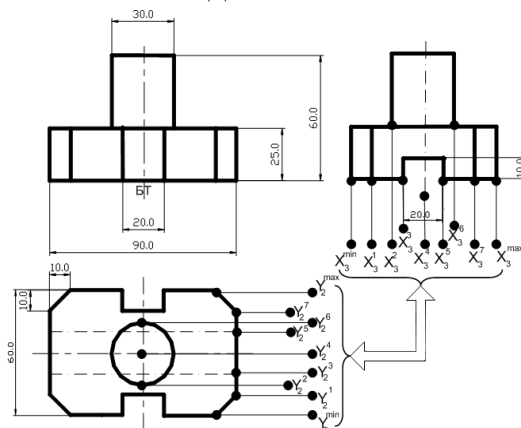


Рисунок 2 – Связи между элементами сетки по координатам X и Y для основных видов чертежа



Список соответствия базовых элементов сетки :

$((X_3^{min} Y_2^{max}) (X_3^1 Y_2^7) (X_3^2 Y_2^6) (X_3^3 Y_2^5) (X_3^4 Y_2^4) (X_3^5 Y_2^3) (X_3^6 Y_2^2) (X_3^7 Y_2^1) (X_3^{max} Y_2^{min}))$

Рисунок 3 – Пример установления списка соответствия базовых элементов сетки

$((0, X_v^{max}) (\delta X_v^k = (X_v^{max} - X_v^k), X_v^k), \dots (\delta X_v^{max} = (X_v^{max} - X_v^{min}), X_v^{min}))$, (2)
 где v – равно 4 или 6 в зависимости от номера рассматриваемого вида,

X_m^k – упорядоченные по убыванию координаты, соответствующие элементам базовой сетки для v -го МОП;

Этап 2. В соответствии с определенными на первом этапе значениями Y_j^{min} и Y_j^{max} для видов 2 и 5 выявляются все элементы базовой сетки Y , попадающие в указанные диапазоны. Затем для каждого вида составляются списки или массивы пар, состоящих из значений для каждого базового элемента и расстояния в мм этого элемента от соответствующего верхнего края для вида 2 и нижнего края для вида 5 соответствующих МОП. Так для МОП 2 список представляется в виде:

$((0, Y_2^{max}) (\delta Y_2^k = (Y_2^{max} - Y_2^k), Y_2^k), \dots (\delta Y_2^{max} = (Y_2^{max} - Y_2^{min}), Y_2^{min}))$, (3)
 где Y_2^k – упорядоченные по убыванию координаты, соответствующие элементам базовой сетки, которые принадлежат 2-му МОП,

а для МОП 5 в виде:

$((0, Y_5^{min}) (\delta Y_5^k = (Y_5^k - Y_5^{min}), Y_5^k), \dots (\delta Y_5^{max} = (Y_5^{max} - Y_5^{min}), Y_5^{max}))$, (4)
 где Y_5^k – упорядоченные по возрастанию координаты, соответствующие элементам базовой сетки, которые принадлежат 5-му МОП.

Этап 3. Осуществляется последовательный анализ всех пар элементов в списках (3) и (4), составленных на 2-ом этапе для МОП 2 и 5 по координате Y и МОП 3, 4 по координате X (соответственно списки (1) и (2)), а также для МОП 1(2,5) и 6 по координате X (списки (1) и (2)). При совпадении в рассматриваемых парах первых элементов (величин расстояния элемента базовой сетки от края соответствующего ему МОП):

- формируются списки соответствия базовых элементов, принадлежащих

сеткам по координатам X и Y. Например:

$$\left((Y_2^{\max} X_3^{\min} X_4^{\max} Y_5^{\min}) \dots (Y_2^{\min} X_3^{\max} X_4^{\min} Y_5^{\max}) \right) \text{ и} \quad (5)$$

$$\left((X_2^{\min} X_6^{\max}) \dots (X_2^{\max} X_6^{\min}) \right); \quad (6)$$

- из соответствующих списков пар анализируемых МОП исключают те пары, для которых найдены соответствия;

Те пары, для которых не найдено ни одного соответствия, также удаляются из соответствующего списка МОП.

Этап 3 выполняется до тех пор, пока не будут вычищены все списки для всех МОП. На этом алгоритм установления соответствия между элементами базовых элементов сетки завершается.

Составленные списки соответствия используются при дальнейшей работе алгоритма формирования параметрической модели для переноса значений установленных связей между элементами с одной сетки на другую, например, из сетки X в сетку Y и наоборот.

Пример установления соответствия связей элементов базовой сетки между видами для трех видового чертежа представлен на рис. 3

Алгоритм определения положения базовой точки чертежа состоит из следующих этапов:

– анализа описания элементов главного вида чертежа, нахождение в нем описаний линий симметрии и точек привязки используемых в нем размерных обозначений к характерным точкам основных графических примитивов;

– если в чертеже выявлена центральная симметрия, то за базовую точку сразу же принимается точка центра симметрии;

– вес каждого базового элемента сетки главного вида, к которому привязано очередное рассматриваемое размерное обозначение, увеличивается на единицу. При этом подсчет суммарного веса идет отдельно по подсеткам X и Y;

– если в виде выявлена ортогональная симметрия по какой-либо координате, то за базовую точку принимается та, которой соответствует максимальный вес по другой координате или любая другая точка с единичным весом (с которой связано хотя бы одно размерное обозначение);

– при отсутствии симметрии за базовую точку принимается та, для которой суммарный вес по обоим подсеткам максимален, или любая из тех, у которых веса оказываются одинаковыми;

– после выявления базовой точки элементам базовой сетки, связанным с ней, присваиваются значения, соответствующие ее координатам.

Алгоритмы выявления связей между элементами базовой сетки чертежа включают в себя:

1. Алгоритмы обработки линейных ортогональных, радиальных и диаметральных размеров чертежа;

2. Алгоритмы обработки параллельных и угловых размерных обозначений, которые объединяют

2.1. Алгоритм обработки отдельных параллельных размеров;

- 2.2. Алгоритм обработки попарно связанных параллельных размерных обозначений;
- 2.3. Алгоритм обработки параллельных размерных обозначений, связанных в тройки;
- 2.4. Алгоритм обработки размеров, поставленных на отрезки с дугами сопряжения, подсоединенные к этому отрезку на одном или обоих его концах.

Методика, на основе которой разработаны представленные алгоритмы установления связей между элементами базовой сетки, подробно изложена в работе. Пример результата работы алгоритмов выявления связей между элементами базовой сетки чертежа для **попарно связанных параллельных размеров** представлен на рис.4:

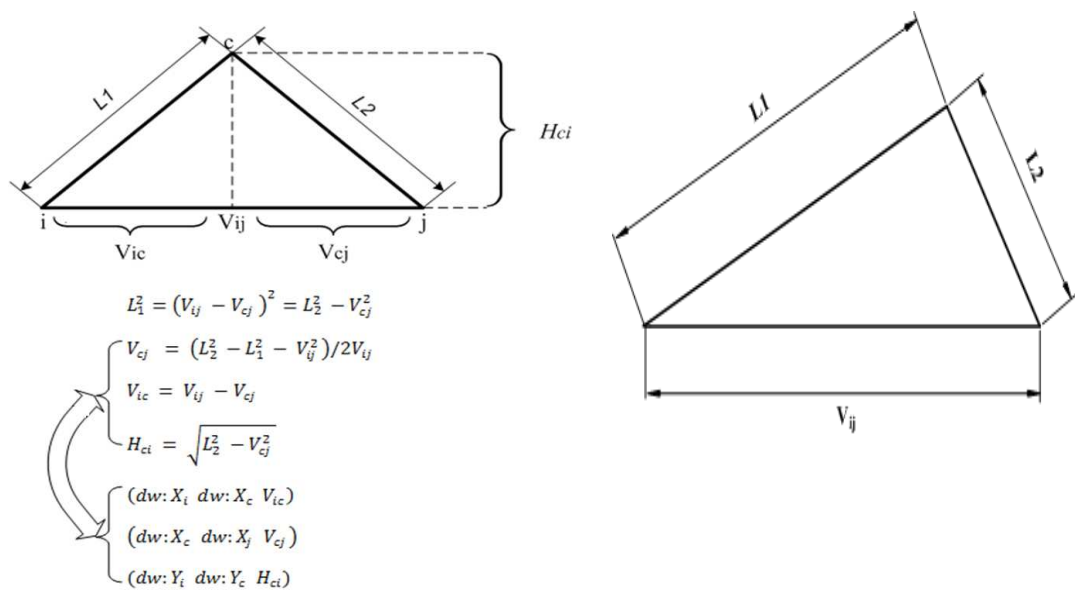


Рисунок 4 – Обработка попарно связанных параллельных размеров

Алгоритм непосредственного формирования адаптивной сетевой модели чертежа базируется на:

1. Выявленном значения координат базовой точки чертежа ($X_{б.нов} = X_{ст}$, $Y_{б.нов} = Y_{ст}$) при работе алгоритма определения положения базовой точки чертежа (см. гл.3, п. 2);
2. Последовательном просмотре двух списков (массивов), составленных в соответствии с алгоритмом создания базовой ортогональной сетки чертежа и алгоритмами обработки размерных обозначений:
 - списка базовой сети, составленном отдельно по двум координатам:

$$xNet = ((X_i \quad X_{i_нов|nil}) \dots \dots);$$

$$yNet = ((Y_i \quad Y_{i_нов|nil}) \dots \dots);$$
 - списка связей между элементами базовой сети
 - по оси X: $((dw:xi \quad dw:xj \quad V_{Vij}) \dots (dw:xm \quad dw:xn \quad V_{Vmn}))$ и
 - по оси Y: $((dw:ya \quad dw:yb \quad V_{Vab}) \dots (dw:yp \quad dw:yr \quad V_{Vpr}));$

3. Определении нового значения координаты для каждой элемента базовой сети и формировании списка адаптивной сетевой модели чертежа в виде:
 по оси X: $x_{NetAdapt} = ((X_{б_ст} \ X_{б_нов}) (X_{i_ст} \ X_{i_нов}) \dots)$ и
 по оси Y: $y_{NetAdapt} = ((Y_{б_ст} \ Y_{б_нов}) (Y_{j_ст} \ Y_{j_нов}) \dots)$,
 где $X_{i_ст}$ ($Y_{j_ст}$) – старое значение элемента i (j) базовой сети,
 $X_{i_нов}$ ($Y_{j_нов}$) – новое значение элемента i (j) базовой сети;

Четвертая глава посвящена разработке структуре и модулей (рис.) подсистемы, реализующей алгоритмы формирования элементов адаптивной сетевой модели чертежа. А именно, созданию базовой ортогональной сетки чертежа, выявлению видов деталей при автоматическом анализе электронных описаний чертежей и установлению связей между элементами базовой сетки, принадлежащими различным основным видам. В ней также рассматриваются процедуры, реализующие определение положения базовой точки чертежа и алго-

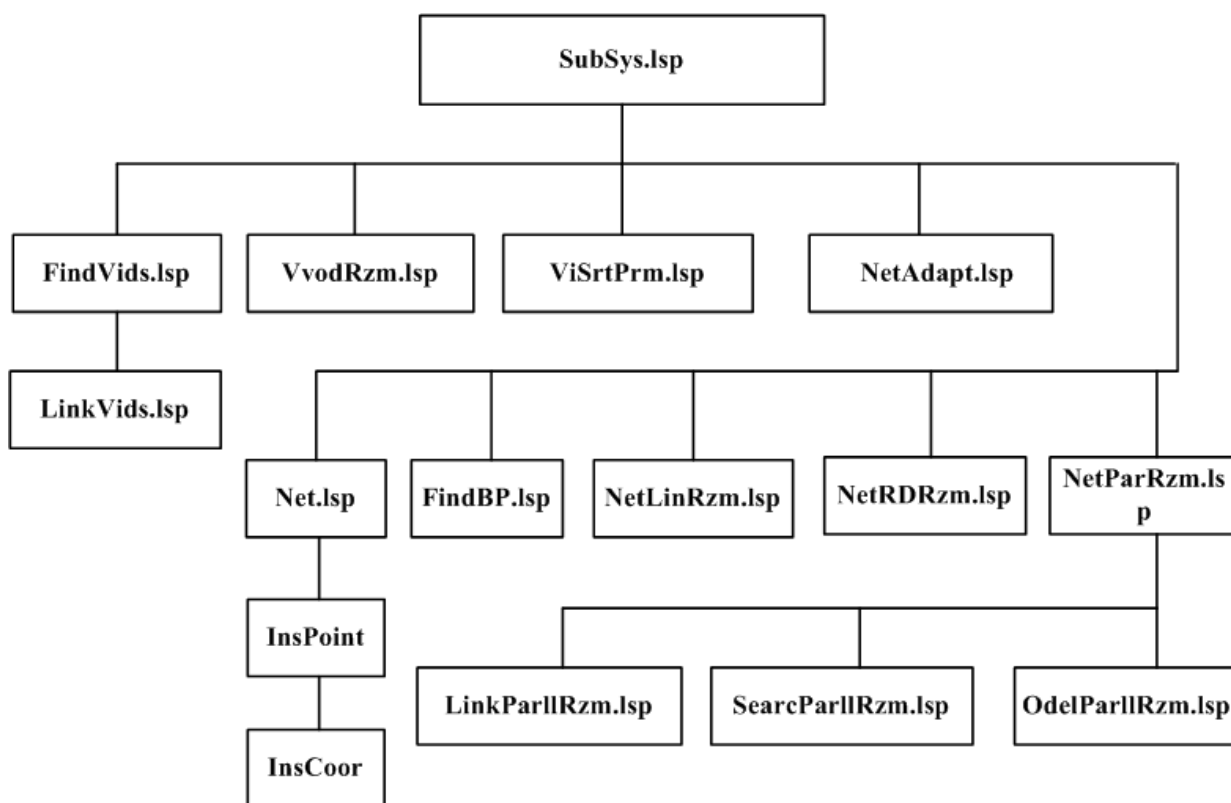


Рисунок 5 – Общая структура подсистемы формирования адаптивной сетевой модели чертежа

ритмы выявления связей между элементами базовой сетки чертежа. В результате представлен модуль непосредственного формирования адаптивной сетевой модели чертежа. Для проверки работы разработаны модули и создано ряд тестовых примеров. Ниже приводится основная часть этих модулей и тестовых примеров.

ViSrtPrm.lsp служит для вызова чертежа, выявления его границ, формирования списка всех графических примитивов изображения в виде списка внутренних имен примитивов системы AutoCAD, идентификации размерных обозначений и проверки их на симметричность (Рис. 6).

VvodRzm.lsp предназначен для ввода и чтения имен размеров чертежа с их значениями из входного файла, в котором может храниться эта информация в соответствующем внутреннем представлении.

Модуль Net.lsp обеспечивает создание базовой (основной) сети чертежа. Для этого модуля разработаны следующие вспомогательные функции (Рис. 7):

- **InsPoint** – функция вставки координат точки выявленного графического примитива в координатную сеть Net (для координат по X – xNet, а по Y – yNet).

- **InsCoor** – функция вставки координат, через неё передаются значения координат и тип сети, и возвращается модифицированная сеть.

FindVids.lsp обеспечивает определение количества основных видов чертежа и идентификацию каждого из них.

LinkVids.lsp служит для установления связей между видами в виде списка соответствия базовых элементов сети, принадлежащих всем основным видам чертежа, например, рис. 7.

FindBP.lsp обеспечивает определение базовой точки чертежа, положение которой на чертеже не меняется при его последующей модификации (рис. 9).

NetLinRzm.lsp предназначена для обработки линейных размеров для создания связей между элементами сети в виде списков d:wx и d:wy (рис. 10).

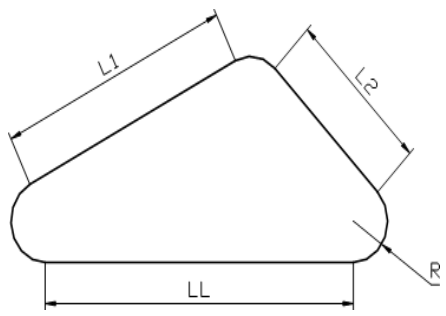
NetRDRzm.lsp обеспечивает пополнение списков связи элементов базовой сети за счет обработки радиальных и диаметральных размеров чертежа.

NetParRzm.lsp служит для обработки параллельных размеров. Для этой процедуры разработаны следующие вспомогательные модули:

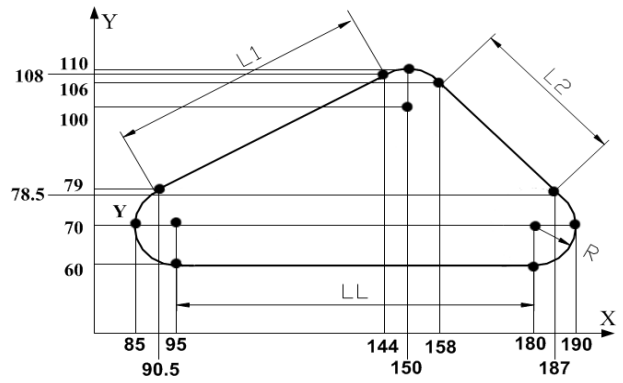
- **OdelParllRzm.lsp** – для обработки отдельных параллельных размеров (рис. 11);
- **SearcParllRzm.lsp** – для обработки угловых размерных обозначение, связанных с одним из концов отрезка, на который установлен отдельный параллельный размер (рис.12);
- **LinkParllRzm.lsp** – для обработки попарно связанных параллельных размеров (рис.13)

NetAdapt.lsp (см. рис. 5) служит для определения нового значения координаты для каждой элемента базовой сети и формировании списка адаптивной сетевой модели чертежа, обеспечивающей создание новой сетки. На основе этой сетки рисуется чертеж с новыми значениями параметров.

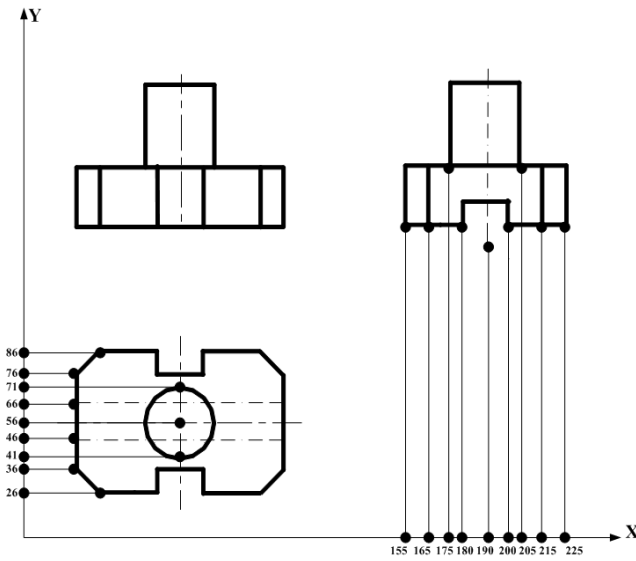
В заключении сформулированы основные научные и практические результаты работы.



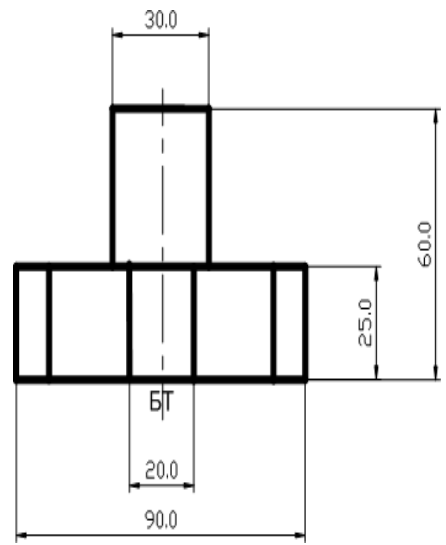
Puc. 6



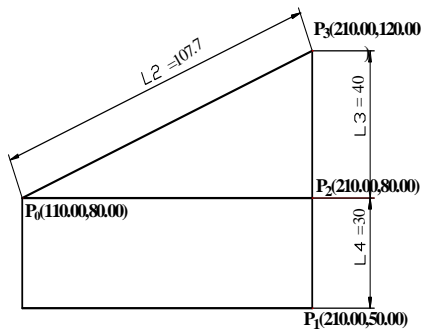
Puc. 7



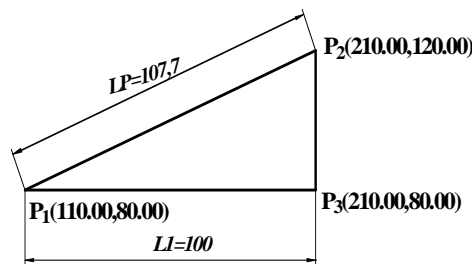
Puc. 8



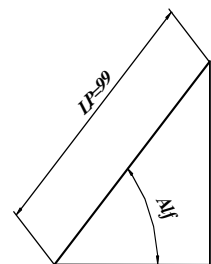
Puc. 9



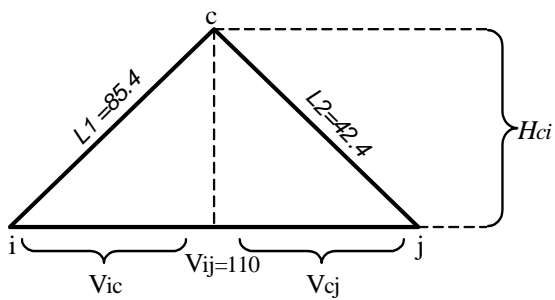
Puc. 10



Puc. 11



Puc.12



Puc.13

Основные результаты работы

1. Исследованы современные методы формирования параметрических моделей конструкторских объектов и выявлено, что параллельную параметризацию целесообразно использовать для создания 3D моделей, программную – для формирования стандартных, часто используемых деталей и элементов оформления чертежей, а последующую – для построения параметрических моделей ранее созданных непараметрических чертежей.

2. Проанализированы проблемы создания параметрических моделей конструкторских чертежей и рассмотрены ограничения, используемые при их создании. Показано, что основой для параметрической модели всех элементов чертежа должна служить геометрическая информация, описывающая форму и топологию изображаемого объекта, а действие на нее размерных обозначений должно распространяться на все поле чертежа через его базовую сетку. Предложен общий алгоритм формирования адаптивной сетевой модели (параметрической модели) чертежа.

3. Разработаны алгоритмы выявления имеющихся в электронном описании непараметрического чертежа графических элементов и сортировки их по группам, а также алгоритм формирования его базовой сетки на основе анализа координат характерных точек основных графических примитивов чертежа.

4. Исследованы особенности представления многовидовых чертежей и разработаны алгоритмы выявления и идентификация видов, имеющихся в чертеже, алгоритмы установления связи между основными видами и алгоритм определения базовой точки чертежа.

5. Разработаны алгоритмы установления связи между всеми элементами базовой сетки чертежа через значения имеющихся в нем размерных обозначений.

6. Разработан алгоритм формирования адаптивной сетевой модели чертежа, обеспечивающий его параметризацию, и реализующие его программные средства.

Список опубликованных работ по теме диссертации

Личный вклад автора определяется разработкой алгоритмов и программных средств, используемых на различных этапах формирования численной адаптивной модели чертежа.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. Бассам Ахмед Махмуд Абдулкадер, Ю.Т. Лячек. Выявление видов деталей при автоматическом формировании параметрических моделей электронных описаний чертежей //Известия СПбГЭТУ “ЛЭТИ” – № 3/2012. С.27-32

2. Бассам Ахмед Махмуд Абдулкадер, Х.А. Аль-шайх, Ю.Т. Лячек. Установление связей между элементами базовой сети при параметризации чертежей. // Информационно-управляющие системы. – №5, с. 39-46, 2011

Другие издания:

3. Бассам Ахмед Махмуд Абдулкадер. Изучение методов выявления видов деталей в электронных описаниях чертежей в курсе “геометрическое моделирование объектов”. // XVII международная научно-методическая конференция «Современное образование: содержание, технологии, качества». С.-Пб, 20.04. 2011 г. т.2, с.234-236.
4. Бассам Ахмед Махмуд Абдулкадер Определение связей между элементами ортогональной опорной сети чертежей. // Сб. научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. Тамбов, 29.11. 2011, с.8-9
5. Бассам Ахмед Махмуд Абдулкадер, Ю.Т. Лячек. Методы обработки параллельных размеров, поставленных на отрезки с дугами сопряжения при параметризации чертежей. // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Часть1, Йошкар-Ола МарГТУ 2012,с.105-109
6. Бассам Ахмед Махмуд Абдулкадер, Ю.Т. Лячек, С.И. Чеканова. Создание параметрических моделей конструкторских чертежей на основе их адаптивной базовой сети // Программные системы и вычислительные методы. №3, 2013 – Изд-во “Nota Bene” (принята к опубликованию).