003490495

На правах рукописи

Волошинов Денис Вячеславович

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ КОНСТРУКТИВНОГО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Специальность 05.13.12 - Системы автоматизации проектирования (машиностроение)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

2 8 ЯНВ 2010

Санкт-Петербург - 2010

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении
высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор Сироткин Яков Аронович
Доктор технических наук, профессор Дегтярев Владимир Михайлович
Доктор технических наук, профессор Сарвин Анатолий Александрович

Ведущая организация:

Балтийский государственный технический университет «Военмех»

Защита состоится 10 февраля 2010 года в 16 час. на заседании диссертационного совета Д 212.229.21 в ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, ауд. 118 Главного здания.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Автореферат разослан «25» декабря 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Редько С.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования

В относительно недалеком прошлом графические и графо-аналитические методы расчета находили широкое применение в практике инженерно-конструкторского и технологического проектирования. Использование этих методов было целесообразно, прежде всего, при решении таких задач, постановка которых исходно формулировалась в геометрических терминах. В основе многих графических методов лежит идея конструктивного синтеза, которая заключается в формировании некоторого геометрического построения, устанавливающего взаимосвязь между множеством геометрических объектов. Теоретическая основа геометрических методов закладывалась в трудах Г.Монжа, Т.Шмидта, Ф.Клейна и получила особенное развитие в работах российских ученых К.И.Валькова, В.Я.Волкова, И.С.Джапаридзе, И.И.Котова, Е.А.Мчедлишвили, В.С.Полозова, С.И.Роткова, П.В.Филиппова, В.И.Якунина и многих других.

В прикладных технических областях геометрические методы играли первостепенную роль при постановке и решении проектных задач, чему в большой степени способствовали их наглядность и простота инструментария. Геометрические методы нашли широкое применение в проектировании поверхностей и оболочек (И.И.Котов, Н.Н.Рыжов, А.В.Павлов, В.А.Осипов, А.Л.Подгорный, В.Е.Михайленко, Е.А.Стародетко, А.М.Тевлин, В.И.Якунин, Г.С.Иванов, В.П.Болотов и др.), проектировании механизмов и машин (С.В.Вяхирев, Д.С.Зернов, Х.Ф.Кетов, Н.И.Колчин), проектировании инструмента (И.В.Калинина, А.Н.Подкорытов и др.), разработке технологических процессов и во многих других областях деятельности. Теория геометрического моделирования позволила с помощью геометрических средств выполнять исследование многопараметрических зависимостей, описывающих физические процессы и явления, чему в большой степени способствовали достижения в области многомерной геометрии (К.А.Андреев, К.И.Вальков, В.Я.Волков, В.А.Волошинов, И.С.Джапаридзе, Л.И.Журкина, Л.Н.Лихачев, Е.А.Мчедлишвили, Л.А.Найниш, В.А.Осипов, А.Д.Посвянский, В.А.Тоидзе, Е.С.Федоров, П.В.Филиппов и др.) и номографии (С.Н.Борисов, С.Н.Буланов, Н.А.Глаголев, Н.Ф.Четверухин, Г.С.Хованский, и др.). К настоящему времени конструктивная геометрия и многие прикладные науки накопили обширный арсенал графических методов, предназначенных для решения практических задач.

Однако за последние десятилетия интерес исследователей к графическим методам заметно снизился. Это связано, прежде всего, с бурным развитием цифровой вычислительной техники, оттеснившей геометрические методы на второй план. Внимание исследователей большей частью сконцентрировано на внедрении аналитических методов в информационные технологии. За геометрическими методами закрепилась репутация «неточных», приближенных, а следовательно, вспомогательных и иллюстративных. Практически любая разработка в области геометрии «обречена» на приведение к аналитическому виду для последующей реализации в виде программы на вычислительной машине.

Таким образом, эффективность стройных, проверенных временем геометрических теорий оказалась в зависимости от несовершенства графического инструментария, погрешностей, не позволяющих достичь проектного результата с заданными критериями качества и временными затратами.

Большая работа в стремлении разрешить возникшее противоречие за счет автоматизации чертежно-графических и проектных работ проводилась многими авторами (Ю.М.Баяковский, В.А.Галактионов, А.Г.Горелик, Ю.И.Денискин, Т.Н.Михайлова, В.С.Полозов, С.И.Ротков, Я.А.Сироткин и др.). Результатом этой работы стало создание множества систем, обеспечивающих качественное выполнение чертежно-графических работ, геометрических вычислений и операций, моделирования и проектирования формы изделий. Однако концепции подавляющего большинства таких систем не рассматривают геометрическое построение как средство преобразования информации, не используют в качестве математического аппарата конструктивно-геометрический подход.

Отсутствие теории, изучающей вопросы информатизации и автоматизации геометрических построений в контексте функционирования преобразователей геометрической информации, существенно ограничивает возможности внедрения накопленных геометрической наукой методов в современные информационные технологии, а также является сдерживающим фактором развития самой науки.

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью разработки такой теории, позволяющей разрешить противоречия между традиционным методом конструктивного геометрического моделирования и современными требованиями информатизации проектных и научно-исследовательских работ.

Цель и задачи диссертационной работы

Целью исследования является разработка теории автоматизации инженерного проектирования и научных исследований на основе конструктивного геометрического моделирования. Для достижения поставленной цели следует решить следующие задачи:

– проанализировать современное состояние геометрического моделирования и средств его автоматизации, выполнить классификацию геометрических моделей;

– определить понятийный аппарат, осуществить символизацию и выделить базовые процедуры в проекционном моделировании;

– разработать систему изоморфных проекционных моделей четырехмерного проективного пространства с полным набором многосвязных отношений, индуцированных его линейными структурами;

– сформировать алгоритмический комплекс конструктивного моделирования объектов четырехмерного пространства и позиционных отношений между ними, а также предложить алгоритмы построения информационно-избыточных полей как для системообразующих (равносвязных), так и для неравносвязных моделей этого пространства;

– разработать систему проекционных моделей четырехмерного пространства на двумерной картине для получения транзитивного ряда графических алгоритмов, которые позволят решить задачу о синтезе гладких поверхностей, «натянутых» на криволинейный профиль, заданный в трехмерном пространстве;

– предложить фактологический способ представления конструктивных геометрических моделей и создать общие методики, обеспечивающие принцип недетерминированного проектирования геометрических машин;

– на базе предложенного фактологического способа представления конструктивных геометрических моделей сформулировать принципы организации интерактивной расчетно-графической системы конструктивного геометрического моделирования;

– разработать методику объектно-ориентированного синтеза конструктивных геометрических моделей;

– подтвердить положения разработанной теории автоматизации конструктивного геометрического моделирования на практических примерах проектирования объектов и процессов;

– предложить методику обучения геометрическому моделированию на основе положений разработанной теории;

– разработать интерактивную объектно-ориентированную расчетно-графическую среду для реализации конструктивных геометрических алгоритмов.

Объектом исследования является геометрическое моделирование объектов и процессов на основе графических и графоаналитических методов.

Предмет исследования – автоматизация конструктивного геометрического моделирования.

Методология и методика исследования

Поставленные задачи решались методами евклидовой геометрии, проективной геометрии, начертательной геометрии трехмерного и многомерного пространств, аналитической геометрии, векторной алгебры, численных и графо-аналитических методов, теории поверхностей, теории графов, объектно-ориентированного проектирования, математической

логики, теории предикатов первого порядка, системного анализа, теории множеств, теории алгоритмов.

Теоретические исследования в области конструктивного геометрического моделирования проводились с применением разработанной в диссертации системы конструктивного геометрического моделирования Симплекс. Документирование результатов осуществлялось с использованием системы компьютерной графики CorelDraw!, систем моделирования трехмерных объектов 3D STUDIO MAX и Solidworks. Система Симплекс разработана средствами языка Object Pascal в среде Borland Delphi.

Научная новизна исследования

– Разработана теория автоматизации конструктивного геометрического моделирования, выразившаяся в реализации математического, методического и программного обеспечения системы автоматизированного проектирования геометрических машин.

– Выполнена систематизация понятийного аппарата конструктивного геометрического моделирования.

– Разработана система изоморфных проекционных моделей четырехмерного проективного пространства.

– Разработана общая модель для реализации ключевых способов проектирования поверхностей, заданных на четырехугольном криволинейном контуре трехмерного пространства.

– Разработана фактологическая модель процесса конструктивного геометрического моделирования, предложен способ представления конструктивной геометрической модели.

– Определены принципы организации интерактивной расчетно-графической системы конструктивного геометрического моделирования.

– Разработана методика объектно-ориентированного синтеза геометрических моделей.

– Предложена и экспериментально обоснована методика обучения дисциплинам, основанным на использовании конструктивных геометрических моделей.

– Разработано программно-инструментальное средство, снимающее ограничения, которые были ранее присущи методу конструктивного геометрического моделирования, что позволило предложить новые направления исследований в данной области знаний.

Теоретическая значимость диссертационного исследования определяется:

– расширением области применения методов геометрического моделирования за счет снятия инструментальных ограничений, присущих традиционному способу исполнения графических работ;

– расширением аппарата конструктивного моделирования понятием дискретно-непрерывной модели многомерного пространства;

– разработкой комплекса транзитивных геометрических моделей четырехмерного пространства;

– расширением номенклатуры геометрических моделей многомерного пространства;

– созданием единой проективной модели, обобщающей известные ключевые методы проектирования поверхностей и обеспечивающей условия для разработки новых методов;

– разработкой фактологической модели для описания процессов конструктивного геометрического синтеза;

– теоретическим обоснованием принципов организации интерактивной расчетно-графической системы;

– разработкой ряда новых методик конструктивного геометрического моделирования;

– созданием нового направления исследований в области информатизации конструктивного геометрического моделирования.

Практическое значение работы

Предложенные в диссертации модели и методики имеют большое практическое значение, заключающееся в следующем:

– Сняты инструментальные ограничения, присущие графическому методу решения

прикладных задач.

– Разработана система геометрического моделирования Симплекс, делающая применение методов геометрического моделирования доступным для практического использования в производственной, научно-исследовательской и образовательной деятельности.

– Обеспечена возможность оптимизации конструктивных геометрических алгоритмов по критериям минимизации их сложности и сокращения вычислительных затрат на выполнение синтезируемых программ.

– Реализован ряд конструктивных методов проектирования поверхностей в задачах САПР изделий машиностроения.

– Предложена методика синтеза изображений с использованием конструктивных методов в целях автоматизации операций графического дизайна.

– Разработаны средства автоматизации деятельности преподавателя и учащегося при обучении начертательной геометрии, инженерной графике и дизайну.

Апробация работы

Результаты работы были представлены на следующих всероссийских и международных научных конференциях:

– Всесоюзная научно-методическая конференция «Научно-методические основы использования ТСО, ЭВМ и САПР в учебном процессе общеинженерных дисциплин», МАИ, 1983, Москва.

– Научно-методическая конференция «Компьютеризация и специализация обучения графическим дисциплинам» 18–22 июня 1990 года г. Новочеркасск.

– Республиканская научно-методическая конференция «Роль инженерной графики и машинного проектирования в подготовке специалистов для народного хозяйства», Ленинград, 1984 г.

– Конференция Innovationspotenzial Umformtechnik, Chemnitz, 1994.

– Научно-методическая конференция «Фундаментальные исследования в технических университетах», СПбГТУ, Санкт-Петербург, 1997 г.

– Первая электронная международная научно-техническая конференция «Автоматизация и информатизация в машиностроении», ТулГУ, Тула, 2000 г.

– II Всероссийская научно-техническая конференция «Компьютерные технологии в науке, проектировании и производстве», Нижний Новгород, 2000 г.

– Международная научно-техническая конференция «Компьютерное моделирование 2002», СПбГТУ, Санкт-Петербург, 2002 г.

– 12-я Международная конференция «ГРАФИКОН-2002», Нижний Новгород 16 – 21 сентября 2002.

Материалы исследований автора и выполненные на их основе научные работы студентов и аспирантов неоднократно представлялись на семинарах секции геометрического моделирования Дома ученых им. А.М.Горького (Санкт-Петербург).

Теоретические положения диссертации и разработанная на их основе программная система конструктивного геометрического моделирования Симплекс были использованы в учебных дисциплинах «Основы инженерной графики» и «Начертательная геометрия», читаемых на первом курсе механико-машиностроительного, энергомашиностроительного факультетов СПбГПУ (1995-1998), факультета технической кибернетики (2001-2005), факультета открытого дистанционного обучения (2000-2003). Система Симплекс используется для решения практических задач при изучении студентами специальности «Дизайн» (070601) курсов «Начертательная геометрия и технический рисунок», «Информационные технологии в дизайне», читаемых в СПбГПУ. Система была использована для подготовки чертежей и иллюстраций при разработке электронного учебника по начертательной геометрии для студентов дистанционной формы обучения СПбГТУ. Система внедрена в учебный процесс в МиСИС (дисциплина «Инженерная графика», 2007 г.).

Материалы настоящей работы и программная система Симплекс применяются в научно-исследовательской работе студентов и аспирантов в области прикладной геометрии и

педагогики, теории механизмов и машин, графического и промышленного дизайна.

Многие положения, представленные в данном диссертационном исследовании, послужили основой для создания курса геометрического моделирования, преподаваемого в гимназии № 271 г. Санкт-Петербурга. Учащиеся гимназии ежегодно подготавливают исследовательские работы, с которыми выступают на ведущих конференциях Санкт-Петербурга: «Сахаровские чтения», «Ученые будущего». Работа выпускника гимназии Шибаева Р.М. отмечена дипломом I степени VII Российской научной конференции школьников «Открытие».

Достижения выпускников гимназии отмечены грантами Министерства образования РФ, Российской Академии наук, Администрации Санкт-Петербурга для студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов.

Материалы настоящего исследования отмечены грантом АО АвтоВАЗ.

Публикации

По материалам диссертации опубликованы 58 печатных работ, из них 7 работ в изданиях, рекомендуемых ВАК.

На защиту выносятся:

– классификация геометрических моделей, основанная на понятии геометрической машины;

– система дискретно-непрерывных моделей четырехмерного проективного пространства;

– общая проективная модель ключевых методов проектирования поверхностей;

– методика автоматизированного проектирования геометрических машин;

– методика автоматизированного решения прикладных задач;

– алгоритмическое, методическое и программное обеспечение автоматизированного синтеза и анализа геометрических машин;

– система автоматизированного проектирования конструктивных геометрических моделей и синтеза компьютерных программ «Симплекс».

Структура работы

Работа состоит из введения, шести глав, заключения, приложения и списка использованной литературы. Работа содержит 241 страницу печатного текста, 129 иллюстраций, 7 таблиц. Список использованной литературы составляет 327 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность исследования, ставятся задачи исследования и формулируется научная новизна.

В первой главе проводится анализ современного уровня развития конструктивного геометрического моделирования, определяется степень соответствия систем автоматизации геометрического моделирования целям и задачам конструктивного геометрического моделирования, делается вывод о необходимости разработки специализированных средств автоматизации синтетического метода геометрического моделирования – синтеза геометрических машин.

Получение интересующей ученого или инженера информации об изучаемом (создаваемом) объекте достигается на практике установлением непосредственных контактов с этим объектом, принятием от него соответствующих сигналов и сообщений. Если эти сообщения не могут быть получены в силу отсутствия самого объекта или его недоступности, как, например, при проектировании новых изделий, то возникает необходимость создания модели изучаемого объекта.

Значительную долю сведений в математическом моделировании составляет геометрическая информация, которая может быть представлена как в аналитическом, так и в конструктивном (синтетическом) выражении. Если исходная задача является чисто геометрической (конструктивной), выбор конструктивно-геометрической модели предпочтителен при условии существования достаточно развитой теоретической базы. Аналитическое представ-

ление может играть здесь вспомогательную роль.

Графические и графоаналитические методы расчета, обладая всеми достоинствами геометрического метода в математическом моделировании, еще в недалеком прошлом находили широкое применение в решении многих инженерных и научных задач. Особое значение эти методы приобретали там, где по тем или иным причинам не удавалось найти подходящие аналитические способы решения, и в тех случаях, когда точность получения результатов, ограниченная использованием простейшего графического инструментария, удовлетворяла проектировщиков. Наглядность, доступность и простота в использовании всегда создавали необычайную привлекательность этим методам расчета и представления данных.

При проектировании сложных технических форм использование аналитических эквивалентов геометрических конструкций зачастую становится доминирующим, а иногда и неизбежным. Объясняется такое положение двумя причинами:

– отсутствием развитых формальных процедур и теоретических обобщений для разработки и реализации геометрических построений;

– недостаточной эффективностью программного инструментария для автоматизированного исполнения конструктивных алгоритмов, реализующих те или иные отношения между геометрическими объектами.

Необходимо отметить, что аналитическое дублирование геометрических задач оправдано лишь в следующих случаях:

1. Недостатки теории для конструктивного формирования модели и отсутствие в рамках теории хорошо отработанных алгоритмов препятствуют решению задачи геометрическим способом.

2. Отсутствует возможность эффективной реализации конструктивного алгоритма современными техническими средствами, например с использованием вычислительной техники.

На практике в большом числе случаев геометрическое моделирование находит применение для констатации тех или иных сведений о предмете проектирования, например о форме и размерах отдельной детали или композиции деталей, составляющих изделие (модель – сборочный чертеж). Результатом такого моделирования являются *модели первого типа.*

Существуют, однако, и иные модели. *Модели второго типа* ориентированы на процесс вычислений на основе геометрических и, чаще всего, графических построений. Такие построения представляют собой многократно повторяющиеся действия, устанавливающие связь между набором исходных данных и результатом решения поставленной задачи. Такая модель преобразует введенные данные в выходные параметры на основе заранее установленных правил и фиксированной конструкции, которая организует каждый такт работы в виде последовательной совокупности графических операций.

Таким образом, геометрическая конструкция, позволяющая при помощи определенной последовательности геометрических (графических) операций закономерно связывать между собой несколько параметров, с одной стороны, выявляет многомерный характер объекта, адекватной заменой которого она является, с другой – работает как детерминированная машина с входом, внутренним устройством и выходом. В связи с этим такую конструкцию с определенными на ней операциями можно назвать многомерным устройством (оператором, информационным преобразователем, контроллером, машиной и т.п.) или работающей многомерной геометрической моделью объекта, явления или процесса, свойства которого определяются входными и выходными параметрами задачи. Данное обстоятельство подчеркивает *информационную* природу конструктивной геометрической модели. Если такая конструкция получена в результате использования проекционной связи между пространством представления объекта и его изображением в некотором картинном пространстве, то сам процесс ее получения естественно назвать многомерным проекционным моделированием.

Теоретические исследования в области многомерного проекционного моделирования появились в начале прошлого века и были предназначены для решения конкретных практических задач в области минералогии, кристаллографии, химии, механики. Впоследствии

число таких работ постоянно увеличивалось, возникали новые области практического применения многомерных моделей. Основы теории проекционного геометрического моделирования заложены в трудах Г.Монжа, Т.Шмидта, Ф.Клейна. Особенно интенсивно эта область исследований развивалась в трудах российских ученых во второй половине XX века. Исследованиями в области проекционного моделирования и многомерной геометрии занимались К.И.Вальков, И.С.Джапаридзе, В.А.Волошинов, В.А.Осипов, Л.И.Журкина, Л.А.Найниш, П.В.Филиппов, В.Я.Волков, К.А.Андреев, Е.С.Федоров, Е.А.Мчедлишвили, Л.Н.Лихачев, В.А.Тоидзе, А.Д.Посвянский и др. Примеры разработки различных аспектов теории проекционного моделирования многомерных пространств, можно найти в большом количестве научных публикаций.

Для анализа многомерных данных весьма желательно наличие средств наглядного представления информации. В простейших случаях для наблюдения за характером поведения той или иной зависимости выполняется построение графика функции. В тех же случаях, когда связь большого количества параметров уже определена аналитическим выражением, ее графическая форма может быть представлена, как правило, номографической моделью. В этом случае номограмма выступает в роли графического эквивалента аналитической зависимости.

Номография как самостоятельная математическая дисциплина оформилась в конце XVIII века с выходом в свет работы французского ученого Оканя. К наиболее известным публикациям по теории номографии относятся работы Н.А.Глаголева и труды Г.С.Хованского. Исследования С.Н.Борисова заложили основу методов компьютерного расчета номограмм. До настоящего времени номограммы как специальные проекционные модели являются одними из наиболее эффективных средств графического представления многомерных данных на плоской картине. Эта особенность номограмм представляет большой интерес не только для выполнения разнообразных научных и инженерных расчетов, но и для проектирования визуального интерфейса компьютерных систем, выполняющих управление многопараметрическими процессами.

В практике конструирования широко применяются методы геометрического моделирования и графического представления объектов трехмерного пространства. Проектирование любого материального объекта связано, прежде всего, с вопросами образования, задания и моделирования поверхностей, определяющих форму будущего изделия. Этим вопросам в геометрических исследованиях всегда уделялось и уделяется в настоящее время огромное внимание, так как потребности промышленности, строительства, архитектуры, дизайна и других областей человеческой деятельности требуют разработки все новых и новых геометрических форм, отвечающих тем или иным требованиям заказчика.

Большой вклад в развитие теории моделирования поверхностей внесли И.И.Котов, Н.Н.Рыжов, А.В.Павлов, В.А.Осипов, А.Л.Подгорный, В.Е.Михайленко, Е.А.Стародетко, А.М.Тевлин, В.И.Якунин, Г.С.Иванов и др. Методологические основы построения систем для автоматизированного проектирования геометрических форм сложных технических объектов изложены в работах В.И.Якунина.

Конструктивное геометрическое моделирование находит применение в различных областях науки и техники. Его методы широко используются в проектировании робототехнических систем, разработке устройств технического зрения, архитектуре, искусстве, медицине. Известный научный интерес представляют исследования, в которых на размерность пространства распространена область натуральных отрицательных чисел, разработки геометрических интерпретаций комплекснозначных решений. Перечень работ с подобной тематикой можно многократно продолжить.

Графические и графоаналитические алгоритмы достаточно развиты, удобны для визуального анализа, широко представлены в научных исследованиях и используются в инженерной практике при проектировании объектов в различных областях промышленности и строительства. Однако нельзя не отметить, что каждый из авторов предложенного им конструктивно-геометрического метода и сопутствующего этому методу алгоритма, как прави-

ло, стремится «упаковать» его в «аналитическую обертку», часто невзирая на сложность и громоздкость аналитических выражений.

Причины этого явления видятся в следующем. Современные технологии инженерного проектирования и, в частности, технологии проектирования форм промышленных объектов немыслимы без использования вычислительной техники и соответствующего программного обеспечения. Однако эффективных средств автоматизированного проектирования, основанных на использовании конструктивно-геометрических схем и алгоритмов, к моменту появления графоаналитического решения рассмотренных выше задач не существовало. Естественно, при таких обстоятельствах аналитическое представление оказывалось желательным, а во многих случаях – неизбежным. Очевидно, что в свете вышесказанного актуальность развития теории автоматизации геометрического моделирования трудно переоценить.

В развитии процессов автоматизации геометрического моделирования в настоящее время существует два направления. Выделение этих направлений напрямую связано с обозначенными выше видами моделей.

К первому направлению относятся процессы моделирования объектов двумерного и трехмерного пространств при разработке так называемых предметных моделей, которые несут информацию о форме, размерах и структуре существующего или предназначенного для изготовления изделия. Такие модели, как уже отмечалось ранее, так или иначе связаны с разработкой проектно-конструкторской и технологической документации. Последнее десятилетие характеризуется большими успехами в разработке программных систем для автоматизированной разработки предметных моделей. Рынок постоянно пополняется легкими, средними и тяжелыми CAD/CAM системами, которые стали доступны широкому кругу пользователей благодаря стремительному совершенствованию персональной вычислительной техники. Ведущими производителями программного обеспечения было разработано и представлено на рынке большое количество программных систем, так или иначе позволяющих автоматизировать процесс изготовления чертежа. Такие системы (AutoCAD, КОМПАС, CorelDRAW!, FreeHand и Adobe Illustrator), часто называемые «электронным кульманом», значительного влияния на повышение производительности труда проектировщика хотя и не оказали, однако значительно улучшили организацию производства, культуру труда и качество проектно-конструкторской документации. Следующим этапом развития электронного чертежа стала стратегия формирования математической модели трехмерного объекта как системы структурно взаимосвязанных элементарных объемов и граничных поверхностей. Основное назначение систем «твердотельного» моделирования – автоматизация процессов проектирования формы промышленных изделий, обеспечение подготовки конструкторско-технологической документации электронных средств автоматизированного производства изделий. Такие системы представляют собой большие программные комплексы, насчитывающие до нескольких десятков крупных программных модулей. К разряду так называемых систем автоматизированного проектирования и геометрического моделирования относят системы CATIA, Unigraphics, Pro/ENGINEER, I-DEAS, SolidWorks. Среди специальных систем геометрического трехмерного моделирования следует выделить класс систем, предназначенных для создания фотореалистических изображений, анимационных видеопоследовательностей и иных задач графического дизайна. К числу наиболее известных систем относятся 3D Studio Max, Maya, SoftImage, Lightwave и многие другие. Основная задача данных систем – получение высококачественных изображений на основе конструирования фотореалистических сцен из сегментов поверхностей и применения разнообразных технологий рендеринга. Таким образом, можно сделать вывод о том, что спектр программно-инструментальных средств, соответствующих первому направлению развития автоматизации геометрического моделирования, чрезвычайно широк, а сами эти средства вполне удовлетворяют потребностям разработчиков по созданию предметной геометрической модели.

Ко второму направлению развития средств автоматизации геометрического моделирования следует отнести процессы создания моделей многомерных объектов в виде работающей геометрической машины, разделяющей геометрические данные на входные и выход-

ные потоки. Такие модели используются, как правило, для геометрического представления и расчета тех или иных явлений или процессов и потому могут быть названы расчетными геометрическими моделями. Следует подчеркнуть, что для моделей второго направления программные системы должны не только формировать многосвязную геометрическую конструкцию, но и обеспечивать ее автоматическую работу по преобразованию геометрических (в том числе и числовых) данных. Об изобилии программного инструментария для расчетно-геометрических моделей говорить, к сожалению, не приходится.

К числу наиболее известных программных продуктов, концепция построения которых удовлетворяет в той или иной степени принципам автоматизации процессов геометрического моделирования второго направления, следует отнести такие пакеты как Графор, ФАП-КФ, Сагграф, ПЛОГ, Geometer's Sketchpad, Сагграф-М и некторые другие. Большинство из них представляют собой комплексы процедур, предназначенных для реализации алгоритмов решения геометрических задач. Однако формирование геометрического алгоритма и его реализация в виде многосвязной геометрической конструкции идеологией пакетов не предусмотрены и затруднены процедурным характером программирования задачи.

Обобщая сказанное, можно сделать вывод о недостаточном уровне развития программно-инструментальных средств, соответствующих второму направлению автоматизации геометрического моделирования. Основной проблемой на пути создания программно-инструментальных средств является отсутствие теории автоматизации конструктивного геометрического моделирования, ориентированной на разработку специализированной среды проектирования геометрических машин. При этом принципиальная возможность существования такой среды подтверждается достижениями в других областях информационных технологий (например, среда быстрой разработки программ Delphi).

Обобщение проанализированного в первой главе материала позволяет говорить о необходимости разработки методов и программных средств автоматизированного синтеза и анализа проекционно-геометрических моделей, позволяющих на основе достижений в области геометрического моделирования и структурно-логического анализа разрабатывать, оптимизировать и внедрять в практику новые расчетно-геометрические схемы в виде функционирующих информационных преобразователей – геометрических машин, а также об актуальности поставленной задачи.

Во второй главе проводится систематизация понятийного аппарата конструктивного геометрического моделирования, показывается принцип управления размерностью пространства на основе замены его базового элемента, вводится понятие дискретно-непрерывного пространства. Выполняется классификация проекционных моделей по признакам равной и неравной связности полей или звезд и по признакам однородности и неоднородности проекционных систем, разрабатывается система изоморфных проекционных моделей четырехмерного проективного пространства с полным набором многосвязных отношений, индуцированных его линейными структурами.

Теория многомерного проекционного моделирования обладает значительным потенциалом для решения разнообразных научных и технических задач. Однако дальнейшее развитие исследований в этой области знания сдерживается рядом причин, в том числе отсутствием целостного понятийного аппарата и базовых процедур, обеспечивающих формализованные принципы геометрических построений. Расширенный понятийный аппарат обеспечивает стройную схему научных рассуждений при формировании структуры пространства и его моделей и отражает информационный характер процессов геометрического моделирования.

Предлагаемый подход к вопросам формирования пространства и организации его структуры учитывает особенности процессов проекционного моделирования и обеспечивает возможность введения специального понятийного аппарата, отражающего специфику этих процессов. Представим один из возможных способов формирования пространства в виде следующей последовательности действий.

1. Указывается некоторый элемент, о свойствах которого утверждается, что он не может содержать в себе других элементов, и устанавливается признак, позволяющий отличить такой элемент от возможных элементов иного рода. Естественно обозначить этот признак числом, например, нулем, учитывая тот факт, что указанное число в должной мере характеризует приведенное свойство элемента.

2. Формируется множество $\{R^0\}$ из объявленных элементов, что означает существование некоторой процедуры, позволяющей осуществить различение элементов этого множества. Процедура принимается как некоторая данность, действие которой проявляется в возможности идентификации любого элемента из множества $\{R^0\}$ по заранее установленному набору характеризующих параметров. Набор параметров фиксируется числом n, которое именуется размерностью или информационным индексом в зависимости от того, какой объект оно характеризует – пространство или его элемент. Информационный индекс точки в пространстве R^n обозначается выражением $j^{0,n}$, причем $j^{0,n} = n$.

3. Устанавливается структура пространства R^n как набора элементов разного рода. Другими словами, определяется способ синтеза новых, отличных от точки, форм на основе элементов изначального множества $\{R^0\}$ и некоторых предварительно установленных процедур.

Вводится правило, в соответствии с которым геометрический образ полностью определяется некоторым набором исходных элементов пространства, что означает выбор способа перехода от заданного набора – точечного репера – к искомому образу. Такой переход может быть осуществлен, например, на основе предварительно установленной геометрической операции и принятого количественного соотношения между числом реперных точек и размерностью нового структурного элемента.

Геометрическая операция, ставящая в соответствие реперному набору единственный образ пространства так, что между определяющими и определяемыми объектами выполняется отношение инцидентности, получила название операции соединения. В результате выполнения этой операции на различных по количественному составу реперных наборах формируется некоторая инцидентностная структура пространства R^n в виде последовательного ряда разнородных элементов в диапазоне размерностей от 1 до $n-1$.

Структуру рассмотренной выше организации пространства R^n будем называть линейной, а само пространство – линейным. Будем в дальнейшем считать, что аксиомы соединения действуют без известных исключений, т.е. заранее оговорим, что в структуре линейного пространства R^n выделена гиперплоскость R^{n-1}, замыкающая пространство на бесконечности. В этом случае пространство называют проективным.

Процесс формирования линейных образов пространства на основе точечного репера и операции соединения может быть легко трансформирован в иную форму, предполагающую использование в качестве исходных данных репер, составленный из разнородных элементов. Наиболее часто в геометрических построениях имеет место операция соединения двух линейных образов или, другими словами, в качестве репера линейной формы R^k выбирается пара линейных подпространств R^l и R^f.

Операция соединения над парой линейных образов индуцирует линейное подпространство, размерность которого зависит от взаимного расположения этих образов, т.е. от позиционного отношения между ними, характеризуемого величиной p. Если же $p \geq 0$, можно говорить о выделении линейного подпространства R^p как о результате операции пересечения R^l и R^f: $R^p = R^l \cap R^f$.

Организация множеств одноименных линейных образов пространства R^n базируется на выделении реперного набора, определяющего геометрический образ, и операции соединения. При этом свобода выбора каждого элемента множества в R^n не ограничивается никакими условиями. Для дальнейших построений значительный интерес представляет ва-

риант организации множеств одноименных образов, основанный на снижении информационного индекса одного из элементов репера до нулевого значения (имеется в виду, что несколько элементов всегда можно привести к одному операцией соединения). Это означает, что из множества несвязанных образов пространства R^n выделится подмножество, каждый элемент которого содержит фиксированный в пространстве элемент репера. В результате такой операции формируется некоторое множество связанных линейных образов, все разнообразие которых охватывается одним общим понятием – звезда. В описании звезды помимо размерности элемента звезды и содержащего ее пространства необходимо указать размерность фиксированного элемента репера. Последний будем называть ядром, а в символической записи звезды указывать все необходимые параметры: размерность элементов множества l, размерность ядра k, размерность содержащего звезду пространства n. При этом символическое обозначение звезды как множества элементов введем в форме $\{R^l\}^{k,n}$.

Точечное n-мерное пространство содержит в себе множества линейных образов – подпространств, информационный индекс которых определяется выражением $j^{l,n} = (n-l)(l+1)$ и, как правило, не совпадает с n. В связи с этим, обычно утверждается, что пространство, содержащее указанные образы, не имеет определенной размерности до тех пор, пока не указано множество, относительно которого устанавливается размерность пространства. По умолчанию будем считать, что размерность пространства указывается относительно множества точечных элементов. В этом случае обозначение пространства размерности n исчерпывается символом R^n. В противном случае требуется дополнительная информация в обозначении, указывающая на размерность основного элемента и, в необходимых случаях, на связность каждого элемента в их общей совокупности. Следует иметь в виду, что выбор нового базового элемента осуществляется в рамках некоторого исходного пространства уже установленной размерности. Это означает, что свойства объектов, отношения между ними, а также операции и другие компоненты, характеризующие пространство с новым элементарным образом, воспринимаются и оцениваются с позиции наблюдателя, оперирующего понятиями и представлениями исходного пространства R^n. Таким образом, принцип замены пространственных элементов, используемый как средство управления размерностью пространства, имеет смысл и может дать эффект при условии, что новый геометрический объект строится или формируется на элементной базе некоторого ранее принятого за основу пространства R^n.

Более широкие возможности для формирования геометрических объектов с заданным информационным индексом могут быть получены использованием операции объединения над определенным количеством структурных элементов пространства R^n. Результатом действия такой операции является новый элемент как некоторый целый объект, состоящий из конечного и упорядоченного набора исходных элементов. Полученный геометрический образ назовем строкой, причем требование упорядоченности будем выражать указанием принадлежности каждого элемента строки поименованному множеству, например нижней индексацией в символическом обозначении.

Обозначение строки установим в виде символической записи, содержащей в фигурных скобках перечисление ее компонентов с указанием необходимых параметров

$$\{R_{i_1}^{q_1/l_1,k_1}, R_{i_2}^{q_2/l_2,k_2}, ..., R_{i_k}^{q_k/l_k,k_k}\}$$

Отметим здесь, что элемент пространства в виде строки представляет собой дискретно-непрерывную структуру, так как является конечным набором геометрических объектов. С другой стороны, каждый из одноименных по нижнему индексу объектов, в свою очередь, является элементом непрерывного пространства (поля или звезды).

Характерной особенностью класса пространств с дискретно-непрерывной структурой базового элемента является возможность установления разнообразных отношений по-

зиционного характера внутри элемента нового множества. В этом случае между полями или звездами могут возникать разнообразные внутристрочные связи, которые, в частности, могут определяться некоторыми условиями инцидентности. В результате информационный индекс строки уже не может быть выражен суммой параметров, определяющих отдельно взятый элемент, так как учету подлежит установленное ограничение разнообразия. В конечном итоге информационный индекс строки, а значит и всего пространства в целом, понижается.

В процессах геометрического моделирования часто возникает необходимость осуществления парного сопоставления множеств, имеющих различную размерность. Следовательно, необходимо иметь способ парной расстановки элементов неравномощных множеств, т.е. осуществить преобразование одного пространства в другое при неравенстве их размерностей.

Процесс одностороннего преобразования пространства R^q в R^m при $q > m$ может быть представлен следующим образом.

На первом этапе из известных геометрических форм, входящих в структуру пространства R^q, подбирается объект, элементы которого составляют множество размерности m. Затем понижается размерность исходного пространства до значения m заменой базового элемента и, если это необходимо, назначением некоторых условий связности. Другими словами, в рассмотрение вводится в общем случае некоторая звезда $R^{m/l,k}$, содержащая в себе исходное точечное множество $\{R^q\}$. После осуществления указанной замены получаем два пространства $R^{m/l,k}$ и R^m одинаковой размерности, между элементами которых возможно установить взаимно однозначное соответствие путем выполнения определенных геометрических построений. В результате получаем возможность каждой точке $A_q \subset R^l \subset R^q$ поставить в пару точку $A_m \subset R^m$.

Описанный выше процесс организованной парной расстановки элементов двух заданных неравномощных множеств получил название операции проецирования. Элемент множества, относительно которого происходит понижение размерности сопоставляемого пространства R^q до необходимого уровня, именуется обычно проецирующим элементом, а центр звезды – подпространство R^k – центром или ядром проецирования.

Операцию проецирования в общем случае будем понимать как конечный набор заранее установленных геометрических процедур, направленных на изменение размерности пространства или, точнее, обеспечивающих переход к пространству более низкой размерности, при котором выполняются некоторые заранее заданные требования.

Два различных по некоторой совокупности признаков пространства могут иметь целый ряд общих свойств, что позволяет выполнить эквивалентную замену одного пространства другим, если в данной конкретной ситуации именно эти свойства являются определяющими. Таким образом, возникает задача установления эквивалентности разнообразных геометрических объектов по заранее выбранным свойствам и признакам или задача моделирования одного пространства другим, предполагающая возможность конструирования нового множества с сохранением определенных свойств исходного пространства.

Рассмотренный ранее процесс образования линейных пространств с возможностью настройки на необходимую размерность обеспечивает значительную свободу при формировании геометрического множества, эквивалентного заданному, по заранее выбранным геометрическим критериям и может быть использован как гибкий и эффективный инструмент для построения гомоморфных и изоморфных геометрических моделей. Операции с дискретно-непрерывными или, как они были названы ранее, строчными структурами лежат в основе проблем классической начертательной геометрии, а преобразования, основанные на сопоставлении множеств с неделимыми базовыми элементами, составляют предмет исследований других разделов математики, например, линейчатой или проективной геометрий.

Два линейных пространства одной размерности могут заменять друг друга по при-

знакам эквивалентности. При этом говорят об одном из пространств как об изоморфной модели другого пространства, которое в этом случае называют исходным. Особый интерес как в теоретическом, так и в практическом смысле представляет собой процесс изоморфного моделирования точечного проективного пространства R^n другим пространством со строчной структурой. Процедура построения точечной проекционной модели проективного точечного пространства с предварительным формированием строк из элементов звезд может быть представлена эквивалентной схемой, в которой звездно-строчная структура выполняет связующую конструктивную роль с пространством проекций и, в конечном счете, с моделью. В этом случае достаточно приписать ядрам звезд значение центров проецирования точек R^n на соответствующие пространства проекций $R_i'^m$ с последующим линейным преобразованием в поля картины R_k^m. В этом случае конструктивная связь между исходным пространством и моделью обеспечивается проекционным аппаратом, состоящим из h-набора центральных образов S_1^k, S_2^k, ... , S_h^k и такого же количества пространств проекций R_1^m, R_2^m ... R_h^m ($0<m<n$).

Совокупность всех объектов с выполненными в процессе построения модели процедурами будем называть системой конструктивного геометрического моделирования или более коротко – системой проекционного моделирования и обозначать ее записью $R^n - G_{m,h}^n$, а полученную модель – конструктивной геометрической моделью или проекционной моделью и обозначать ее символом $G_{m,h}^n$.

Из множества моделей $G_{m,h}^n$ полезно выделить и обозначить группы, имеющие ряд общих признаков:

1. Если размерность ядер всех звезд строки (центрального образа проекционной системы) имеет постоянное значение для всех элементов строки, то полученную проекционную модель будем называть однородной, в противном случае – неоднородной.

2. Если ядра звезд элементов строки расположены свободно в R^n или равносвязаны друг с другом, т.е. позиционное отношение между любой парой ядер есть величина постоянная, то модель с указанными характеристиками будем называть равносвязной. Равносвязные модели всегда однородны.

Модель, полученная указанным выше способом, лишь в целом изоморфна пространству R^n. В пространстве всегда имеется некоторый образ, для точек которого утрачивается однозначность моделирования. Этот образ называют исключенным образом пространства. Проецируя точки какого-либо центрального элемента S_i^k из других центральных пространств, получим в полях картины изображения точек этого элемента, которые в зависимости от соотношения размерностей исходного и картинного пространства либо содержатся в некоторых линейных образах, либо заполняют всю картину. В первом случае имеем исключенные элементы модели, а во втором – исключенные многосвязные отношения.

Некоторые сведения в виде зафиксированных в картинном пространстве исключенных форм и отношений между элементами картинного пространства составляют аппарат внутреннего моделирования, который в дальнейшем будем называть ядром проекционной модели. Ядро модели содержит ту часть информации о свойствах моделирования, которая позволяет выделить в картинном пространстве одну модель $G_{m,h}^n$ из множества возможных моделей. Поэтому выбрать какую-либо модель $G_{m,h}^n$ – это значит зафиксировать в картинном пространстве исключенные формы и, при необходимости, аппарат внутреннего моделирования (ядро проекционной модели). Условимся в дальнейшем такие сведения называть предварительно заданной информацией, а ее носители – предварительно заданными элементами модели.

Поля, элементы которых имеют информационный индекс больше нуля, называются основными в отличие от избыточных, для которых информационный индекс меньше или равен нулю. Существуют различные интерпретации, сопутствующие результатам построения избыточного поля на модели $G_{m,h}^n$. Одна из них связана с проблемой формирования многосвязного отношения в полях картины, возникающего при моделировании линейных

образов многомерного пространства, и определяется следующей теоремой: «Существует проекционная модель $G^t_{m,h+1}$, в которой моделирование точек пространства $R^n \subset R^t$ осуществляется при помощи многосвязного отношения $\mu^n_{m,h+1}$». Это позволяет индуктивно продвигаться в освоении новых моделей пространства при повышении его размерности не только в связи с необходимостью понижения на этой модели информационного индекса строки, которая возникает всякий раз при моделировании линейных образов $R^n \subset R^t$; $n > m$, но, что еще более важно, в связи с возможностью формирования исключенных многосвязных отношений, что определяет проекционную модель как таковую.

Приведенные здесь обстоятельства свидетельствуют о том, что алгоритмы построения избыточных полей являются исключительно важными как для развития теории, так и для практического использования методов проекционного моделирования.

В настоящей работе проведено исследование и обобщение системы проекционных моделей проективного четырехмерного пространства, которые отнесены к классу однородных и равносвязных дискретно-непрерывных структур. Именно эти модели представляют значительный интерес при решении разнообразных научных и технических задач, в том числе при поиске алгоритмов конструирования гладких поверхностей на заданном криволинейном контуре. Такие алгоритмы являются основой для создания систем автоматизированного проектирования разнообразных геометрических форм на основе программных средств, реализующих графические и графо-аналитические решения. В диссертации разработаны комплексы алгоритмов для системы проективных моделей четырехмерного точечного пространства моделей $G^4_{2,2}$, $G^4_{2,3}$ и $G^4_{3,2}$. Для каждой модели приводятся ее общие свойства, схемы конструирования, исследуются способы представления всех линейных образов, в том числе рассматриваются случаи их частного (проецирующего) положения.

Разнообразие позиционных отношений между линейными образами четырехмерного пространства могло бы быть достаточно большим, если учитывать количественный состав взаимодействующих объектов и разнообразные условия взаимной вложенности и связности между объектами. В настоящей работе приводятся алгоритмы решения группы позиционных задач, определяющих отношения только в парах объектов, у которых общим элементом является точка. Такие задачи можно считать основными, так как методы их решения можно легко распространить и на другие позиционные отношения, свободные от введенного ограничения.

В диссертации разработаны схемы построения дополнительного информационно-избыточного поля проекций для равносвязной и неравносвязной проекционной системы модели $G^4_{2,2}$.

В третьей главе на основе предложенной во второй главе теории моделирования четырехмерного пространства разрабатывается обобщенный метод ключевого моделирования поверхностей, проходящих через криволинейный четырехсторонний контур трехмерного пространства.

Анализ первоисточников (труды И.И.Котова) и разработанная в настоящем исследования теоретическая концепция многомерного проекционного моделирования позволили выдвинуть гипотезу о существовании в исходном четырехмерном пространстве многомерной конструкции, индуцирующей транзитивный ряд разнообразных проекционных алгоритмов в форме «ключевых» операций. Покажем, что существует фундаментальное (базовое) построение в четырехмерном пространстве, которое позволяет однозначно определить двумерную поверхность, инцидентную заданному четырехзвенному криволинейному контуру.

Пусть в проективном четырехмерном пространстве определен четырехзвенный замкнутый контур w, состоящий из произвольных плоских кривых линий q, f, n и t, таких, что $q \cap f = D$, $f \cap n = C$, $n \cap t = B$ и $t \cap q = A$, а также $q \sim \sigma$, $f \sim \rho$, $n \sim \varepsilon$ и $t \sim \eta$, где σ, ρ, ε и η – плоскости, в которых расположены соответствующие звенья контура.

Точки D, C, B и A будем называть узлами контура. Понятно, что узлы контура являются общими точками пар плоскостей, инцидентных заданным кривым $D=\sigma\cap\rho$, $C=\rho\cap\varepsilon$, $B=\varepsilon\cap\eta$ и $A=\eta\cap\sigma$. Кроме этих общих точек имеются еще две $W=\sigma\cap\varepsilon$ и $V=\rho\cap\eta$ (рис. 1) .

Требуется найти способ (алгоритм) образования двумерной поверхности, содержащей (или проходящей через) указанный контур.

Покажем, что если на противоположных (не смежных) звеньях криволинейной цепи w определить положение пар точек $G-P$ и $R-L$, таких, что $G\sim q$, $P\sim n$, и $L\sim f$, $R\sim t$, управляемых параметрами par_1 для пары $G-P$ и par_2 для пары $R-L$, то можно установить построение, позволяющее однозначно сформировать в R^4 двумерное множество точек, принадлежащих одной поверхности.

Действительно, проведем прямые $i=G\circ P$ и $h=R\circ L$ (рис. 1) и выделим пару плоскостей $\alpha=i\circ V$ и $\beta=h\circ W$, соответствующих конкретным значениям параметров par_1 и par_2 (рис. 2). Эти плоскости определят в пространстве R^4 единственную точку $M=\alpha\cap\beta$.

Покажем, что это так.

Выделим, прямую $u=V\circ W$ и проведем следующие построения:

1. $u\circ\beta=R^3_\beta$ и $u\circ\alpha=R^3_\alpha$.
2. $R^3_\alpha\cap R^3_\beta=\gamma$ – плоскость, так как $R^3_\alpha\neq R^3_\beta$.
3. $\gamma\cap\alpha=a$, где a – прямая линия, так как обе плоскости принадлежат одному R^3_α.
4. $\gamma\cap\beta=b$, где b – прямая линия, так как γ и β принадлежат одному R^3_β.

Но a и b компланарны по γ. Следовательно, $a\cap b=M$ и $M=\alpha\cap\beta$.

Покажем далее, что образованная приведенным выше построением поверхность проходит через заданный криволинейный контур.

Пусть пределы изменения параметров для определения положения пар точек $G-P$ и $R-L$, имеют, например, значения 0 в точках A и B и 1 в точках C и D для par_1, а также 0 в точках B и C и 1 в точках A и D для par_2. Запишем эти данные в виде наименования узла с указанием значения параметров в последовательности par_1; par_2. Тогда будем иметь $A(0;1)$, $B(0;0)$, $C(1;0)$, $D(1;1)$.

Пусть par_1=0. Тогда $(G\circ P)\equiv(A\circ B)$, где $(A\circ B)$ – стягивающая хорда для кривой t. При этом обязательно совпадение плоскостей $\eta\equiv\alpha$, и поэтому $\beta\cap\alpha=R$. Из этого следует, что при изменении параметра par_2 от

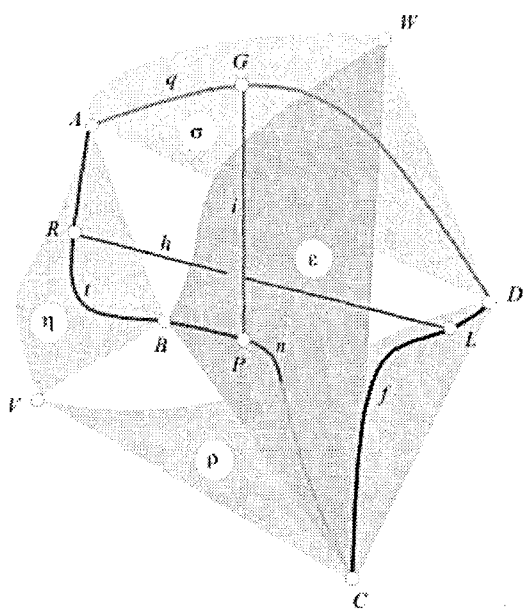

Рис.1 Схема образования поверхности, инцидентной заданному четырехзвенному контуру

0 до 1 точка $M \equiv R$ опишет кривую t. Значит, и искомая поверхность проходит через эту кривую.

Доказательство прохождения конструируемой поверхности через три оставшиеся кривые заданного контура осуществляется аналогично.

Понятно, что в представленном алгоритме однозначность решения обеспечивается не только заданием контура w, но и заранее установленным способом параметризации звеньев этого контура. Управление формой конструируемой поверхности осуществляется заданием некоторых заранее определенных условий. Возможности проектировщика расширяются еще больше, если парные точки $G-P$ и $R-L$ соединить не прямолинейными отрезками $i = G \circ P$ и $h = R \circ L$, а указать какой-либо подходящий для конкретной задачи способ построения кривых, инцидентных этим парам. При этом необходимо предусмотреть меры для исключения многозначности решения в пределах изменения параметров par_1 и par_2.

Итак, задача определения поверхности, проходящей через заданный криволинейный четырехзвенный контур, имеет вполне определенное конструктивное решение в пространстве R^4. В пространстве меньшей размерности аналогичную задачу приходится считать неопределенной, так как сформулировать процедуру построения точки, принадлежащей поверхности и удовлетворяющей заданным условиям, не удается.

Неопределенность можно устранить в том случае, если разработанную в R^4 конструкцию сопоставить с эквивалентной по признакам линейности и инцидентности другой конструкцией, размещенной на дискретно-непрерывной модели в картинных пространствах R^3, R^2, или R^1. Разнообразие таких моделей велико, что порождает значительное количество непохожих друг на друга схем и алгоритмов, однако общим для всех остается рассмотренный ранее способ построения двумерной криволинейной поверхности в четырехмерном проективном пространстве. Последнее замечание является чрезвычайно важным, так как позволяет объединить общей теоретической базой существующие разрозненные и, как правило, не связанные друг с другом ключевые методы. Нельзя, конечно, не отметить, что попытки теоретически объединить многие из этих методов по разнообразным интерпретациям уже имела место, например в работах В.П.Болотова и И.И.Котова, однако обобщенной

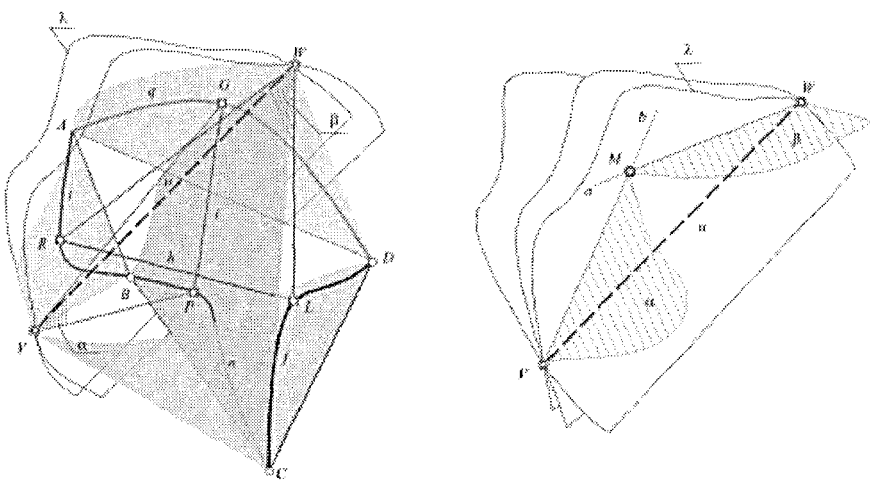

Рис.2 Геометрическая схема для теоретического обоснования процедур образования поверхности на заданном контуре

конструкции, а также и методики, позволяющей не только осуществить объединение, но и дать возможность получения совершенно новых алгоритмов, до настоящего времени представлено не было.

В результате использования разработанной системы проекционных моделей четырехмерного пространства на двумерной картине получен транзитивный ряд графических алгоритмов, позволяющих решать задачу о разработке гладких поверхностей, «натянутых» на заданный в трехмерном пространстве криволинейный профиль.

Каждый из известных в настоящее время «ключевых» способов образования и задания поверхностей является типичным объектом конструктивной геометрии, так как представляет собой закономерный набор заранее установленных геометрических построений. Внешние различия в количестве, характере и последовательности графических процедур, выполняемых в процессе решения задачи формирования поверхности на замкнутом криволинейном контуре, а также значимость предлагаемых способов при разработке тех или иных промышленных объектов, давала возможность присваивать каждому способу специальное название и даже имя автора предлагаемого способа.

В результате проведенного экспресс-анализа классических способов ключевого метода установлено, что каждый из этих способов является частным проявлением фундаментальной для данной задачи геометрической машины в исходном четырехмерном пространстве.

Полученные теоретические результаты позволяют продуцировать на основе обобщенной многомерной конструкции большое разнообразие алгоритмов для синтеза поверхностей на заданном в трехмерном пространстве криволинейном профиле и использовать их исходя из предлагаемых для данного алгоритма преференций. Типичность рассмотренной в главе задачи как задачи сугубо конструктивной позволяет использовать полученные алгоритмы для построения систем автоматизированного проектирования поверхностей на основе предлагаемой в настоящей работе теории геометрических построений и концепции визуального программирования.

Четвертая глава посвящена вопросам теории автоматизации конструктивного геометрического моделирования. Предлагается фактологический способ описания геометрических операций и отношений, разрабатывается концепция визуально-графической среды автоматизированного проектирования геометрических машин. Определяются способы структуризации объектов и операции, обеспечивающие подход к недетерминированному описанию геометрических моделей и выполнению ими вычислительной работы. Сформулированные в главе положения служат основой для разработки математического, алгоритмического и методического обеспечения программной среды автоматизированного проектирования геометрических машин. Разработанная методика представлена в виде комплекса логических правил, направленных на обеспечение функционирования среды автоматизированного проектирования геометрических машин.

На основе анализа деятельности разработчиков геометрических моделей предложен фактологический способ представления конструктивных геометрических моделей и разработана общая методика, обеспечивающая недетерминированый принцип проектирования геометрических машин.

Пусть между объектами a и $b, c, \ldots$ установлено соответствие R: $a \leftarrow f(b, c, \ldots)$, которое в дальнейшем будем называть отношением между объектами a и $b, c, \ldots$. Отношение R выражает факт зависимости значений объекта a от значений объектов $b, c, \ldots$. Способ нахождения значений a по значениям $b, c, \ldots$ задан функцией f. Абстрагируясь от конкретных имен объектов $a, b, c, \ldots$ и вида преобразования f, отношение R можно записать в обобщенном виде

$$@r\,(In, Out, F_m, F, A). \qquad (1)$$

In – список входных параметров R; Out – список выходных параметров R; F_m, F_m – способ согласования входных параметров, A – признак группового соотнесения отношения.

Объекты конструктивной геометрической модели, выраженной отношениями (1), будем представлять символьными термами – носителями геометрических значений. Если X имеет значение (определенное или неопределенное), то достижима цель

value (X),

где X – логическая переменная, конкретизированная значением терма, сопоставленного геометрическому объекту.

Возникновение нового факта, выраженного предикатами (1), будем называть объявлением отношения. В момент объявления отношения декларируются названные в нем объекты и констатируется зависимость значений выходных параметров от входных (логическая работа предиката отношения). Объявление отношения служит причиной активизации вычислительной подсистемы для расчета значений объектов модели. Расчетные действия составляют вычислительную работу предиката отношения. Вычислительная работа отношения инициируется предикатом ***execute***. Единый способ выражения переменных (и констант), а также возможность отделения вычислительной работы отношения от логической предопределили выбор предиката отношения в качестве основного средства описания конструкции геометрической машины – фактологической модели.

Пусть объявлены два отношения. Будем называть пару отношений $R1$, $R2$ несовместной, если успешно разрешима цель

contrariety (***@r***(_, *Out1*, _, _, *A*), ***@r*** (_, *Out2*, _, _, *A*)) ***if***

Out1 ≠ *Out2*, ***member*** (*X*, *Out1*), ***member*** (*X*, *Out2*).

Неуспех цели ***contrariety*** ($R1$, $R2$) определяет совместность отношений $R1$ и $R2$. Отсутствие успешных решений цели ***contrariety*** ($R1$, $R2$) для любых возможных пар ($R1$ – $R2$) произвольной совокупности отношений означает, что существует лишь единственный способ задания любого из ее объектов. Будем говорить, что совокупность отношений, любая пара которой совместна, обладает корректным (непротиворечивым) составом.

Будем называть состав совокупности отношений R корректным, если соблюдаются следующие условия:

1. Отношение R обладает совместным составом.
2. Для любого X из состава отношений R справедливо утверждение:

not ancestor (*X*, *X*, _).,

т.е. в R не существует циклической зависимости объекта от самого себя.

ancestor (*X*, *Y*, *A*) ***if parent*** (*X*, *Y*, *A*).

ancestor (*X*, *Y*, *A*) ***if parent*** (*X*, *Z*, *A*), ***ancestor*** (*Z*, *Y*, *A*).

parent (*X*, *Y*, *A*) ***if @r*** (*In*, *Out*, _, _, *A*), ***member*** (*X*, *In*), ***member*** (*Y*, *Out*).

Именованную (возможно, пустую) совокупность отношений R, обладающую корректным составом, будем называть алгоритмом. Алгоритм включает в себя все отношения своего состава и объявленные в них объекты. Вычислительная работа алгоритма состоит в организации и выполнении вычислительных работ всех отношений из его состава и обеспечивает нахождение значений декларированных в алгоритме объектов. Требование совместности состава отношений алгоритма позволяет не накладывать на них условий какого-либо порядка следования. Поиск последовательности выполнения вычислительных работ отдельных отношений, обеспечивающих расчет значений всех объектов алгоритма, может быть осуществлен на формальной основе. Это свойство является концептуально важным для разработки системы визуального проектирования геометрических машин, так как позволяет пользователю выполнять все типовые операции программирования только средствами графического интерфейса и полностью исключить выражение и редактирование программ в текстовой форме.

Определены две основные операции модификации состава:

– включение отношения в состав алгоритма;

– исключение отношения из его состава.

Модификация состава относится к событиям, вызывающим активизацию исполнительной системы целью ***execute***, обеспечивающей выполнение вычислительной работы всех отношений алгоритма.

Алгоритм в целом можно рассматривать как обобщенный преобразователь информации и представить в виде отношения со сложной внутренней структурой. Реализация алгоритма в виде отношения требует определения в нем входных и выходных параметров, посредством которых алгоритм может быть связан с другими внешними отношениями. Визуальный характер проектирования геометрической машины требует исследования условий, при которых обеспечивается корректность состава отношений. Обозначенные выше принципы следует положить в основу методики автоматизированного визуального проектирования геометрических машин и реализующих ее исполнительных модулей вычислительной системы.

actual_relations (*N*, *M*, *A*, *AR*) ***if findall*** (*X*, ***common_goal*** (*N*, *M*, *A*, *X*), *AR*).

common_goal (*N*, *M*, *A*, *X*) ***if***
goal1 (*N*, *A*, *R*), ***goal2*** (*M*, *A*, *R1*), ***member*** (*X*, *R*), ***member*** (*X*, *R1*).

goal1 (*N*, *A*, *R*) ***if all_parents*** (*N*, *L*, *A*), ***relations*** (*L*, *A*, *R*).

goal2 (M, A, R) ***if all_kids*** (*M*, *L*, *A*), ***relations*** (*L*, *A*, *R*).

all_kids (*M*, *N*, *A*) ***if bagof*** (*X*, ***mkids*** (*M*, *X*, *A*), *N*).

mkids (*M*, *Y*, *A*) ***if member*** (*X*, *M*), ***kids*** (*X*, *Y*, *A*).

kids (*X*, *Y*, *A*) ***if parent*** (*X*, *Y*, *A*); ***parent*** (*X*, *Z*, *A*), ***kids*** (*Z*, *Y*, *A*).

all_parents (*N*, *M*, *A*) ***if bagof*** (*X*, ***mparents*** (*N*, *X*, *A*), *M*).

mparents (*N*, *Y*, *A*) ***if member*** (*X*, *N*), ***parents*** (*X*, *Y*, *A*).

parents (*X*, *Y*, *A*) ***if parent*** (*Y*, *X*, *A*); ***parent*** (*Y*, *X*, *A*), ***parents*** (*Y*, *Z*, *A*).

relations (*L*, *A*, *R*) ***if bagof*** (*X*, ***rule*** (*L*, *X*), *R*).

rule (*L*, ***@r*** (*In*, *Out*, F_m, *F*, *A*)) ***if member*** (*X*, *L*), ***@r*** (*In*, *Out*, F_m, *F*, *A*), ***member*** (*X*, *Out*).

Множество {*AR*} содержит минимальный набор отношений, реализующих функциональную связь между *M* и *N*. Таким образом, множество {*AR*} можно рассматривать как преобразователь (подалгоритм алгоритма *A*) с минимальной структурой, с входными параметрами *M* и выходными параметрами *N*. Представленные правила служат основой для реализации методики блочно-модульного визуального синтеза конструкций геометрических машин с применением конструкций-образцов.

Формальный синтез логической программы, выполняемый в процессе конструирования геометрической машины, позволяет интерпретировать ее как набор фактов и правил, составляющих основу базы геометрических знаний. Такая программа, работающая в среде логического интерпретатора, способна выполнять функции экспертной геометрической системы.

Алгоритм как «свернутая» совокупность взаимосвязанных отношений также может быть рассмотрен как преобразователь с элементами входа и выхода и представлен в виде отношения. В отличие от простого отношения структура взаимосвязей алгоритма открыта. Отношение, выражающее свертку алгоритма, будем называть сложным.

В результате конструирования алгоритма из простых отношений может быть получен преобразователь, в котором не все выходные параметры будут зависимыми от любого из входных. Следовательно, в применении к сложному отношению, выраженному предикатом ***@r*** (*In*, *Out*, _, *A*, _), правило ***parent*** должно быть переформулировано следующим образом:

parent$(X, Y, A1)$ ***if***

@r$(In, Out, _, A, A1)$, ***input***(A, I), ***output***(A, O),

nth(N, X, Out), ***nth***(N, P, I), ***nth***(M, Y, In), ***nth***(M, Q, O), ***ancestor***(Q, P, A).

Применение сложных отношений позволяет реализовывать методику модульного проектирования геометрических машин с использованием открытых функциональных наборов. Сложное отношение служит основой для выполнения классификации геометрических конструкций и реализации идеи группового проектирования геометрических машин с использованием открытых функциональных наборов. При этом алгоритм *A* может содержать в себе наиболее общие (возможно достаточно сложные) процедуры типового геометрического преобразования, а частные его модификации выполняются надстройкой обратных связей внешними отношениями.

В практике решения задач часто возникает необходимость в многократном выполнении однотипных геометрических операций. Выражение таких построений записями вида (1) не вполне удобно из-за необходимости описания большого числа семантически подобных отношений и объектов. Представление же геометрических конструкции, в которых число однотипных построений переменно или заранее неизвестно, записями вида (1) принципиально невозможно.

Для решения обозначенной проблемы предлагается расширить определение (1) и понимать далее под списками *In* и *Out* индексированные списочные переменные вида:

@r (In, Out, F_m, F, A), ***member*** (L, In), ***member*** (X, L), ***member*** (M, Out),
member (Y, M), ***ne*** (X, Y). (2)

Такой способ представления данных не противоречит рассмотренным ранее принципам записи геометрических конструкций в виде предикатов отношений. В новой интерпретации процедурный характер отношения проявляется в наибольшей степени, причем число действий такой процедуры определяется количеством объектов во входных параметрах отношения и, следовательно, может быть переменным. На списочную переменную не накладывается ограничений ее длины и однородности состава. К расширенной интерпретации предиката отношения применима прежняя процедура выполнения вычислительной работы алгоритма.

Методический аспект проектирования конструктивных геометрических машин на основе допущения (2) состоит в том, что семантически любой из объектов может выполнять функцию заместителя содержащего его списка, поэтому синтез модели вполне может осуществляться исходя из сопоставления индивидуального объекта и списка на основе понятия множественности. Модель, выраженная записями (1) с учетом (2), одинаково применима как к индивидуальным объектам, так и к множествам объектов, при этом какого-либо специального изменения состава отношений модели или расчета мощности множеств не требуется.

Процедурный характер отношения *R* заключается в последовательно организованном выполнении преобразования *F* над индивидуальными выборками значений из множеств входных параметров *In* с получением множества значений выходных параметров *Out*. Для организации последовательности выборок введем понятие согласования входных параметров, ранее обозначенное в (1) и (2) параметром F_m.

В диссертационном исследовании показано, что операнды геометрических отношений наиболее часто связаны простым, множественным, сдвиговым и циклическим видами согласования параметров. Для каждого вида согласования показана его логическая интерпретация. Для отношений с количеством операндов более двух представлена методика формирования сложного (комбинированного) согласования параметров.

Отношение, выраженное в виде (1), не может быть применено для представления рекурсивно-зависимых геометрических построений в силу действия правила

no_cycle *(R, @r(In, Out, _, _, A))* ***if***
not *(**member** (@r (In1, _, _, _, A), R), **member** (X, In1), **member** (X, Out),*
member *(@r (_, Out2, _, _, A), R), **member** (Y, Out2), **member** (X, In)).* (3)

Однако, если понимать под параметрами обособленного отношения, представленного в форме (2), индексированные множества объектов, то возможно выражение зависимости заданного элемента списка от предшествующего ему элемента в форме короткой циклической связи. В том случае, если некоторый список X во входном параметре отношения присутствует и в его выходном параметре, но при этом предварен независимой от X стартовой последовательностью объектов, самозависимость элементов в списке X отсутствует, а выражение рекурсивной зависимости его элементов становится возможным. Возложив реализацию рекурсивной взаимосвязи объектов на внутренние механизмы исполнения вычислительной работы отношения, условно исключим X из состава входных параметров. В этом случае действие правила (3) не обнаруживает циклическую зависимость, алгоритм сохраняет корректность состава отношений и декларированный ранее принцип произвольности порядка добавления отношений в алгоритм не нарушается.

Задачи моделирования, рассмотренные во второй главе, связаны с проблемами классификации объектов со сложной структурой и предполагают возможность конструирования таких объектов, если они определены на элементной базе некоторого ранее принятого за основу пространства. В настоящем исследовании разработка теории и программных средств, предназначенных для автоматизации проектирования геометрических машин, осуществляется на основе принципов объектно-ориентированного проектирования (ООП). Этим обеспечивается возможность неограниченного расширения базовой номенклатуры геометрических объектов объектами производных типов и использования предиката отношения для характеристики интегрированных функциональных связей между ними.

В соответствии с принципами ООП множество объектов, проявляющих единообразие внутренней структуры и общность функциональных взаимодействий с другими объектами, характеризуется понятием класса. ООП предусматривает возможность автономного построения иерархической структуры классов на основе наследования признаков базовых и предопределенных классов.

В главе приведены примеры решения практических задач, поясняющих теоретические положения фактологического способа представления геометрических моделей. Предложенные частные методики программирования прикладных задач подтвердили корректность разработанной теории и общей методики проектирования геометрических машин.

В пятой главе на основе использования теоретических положений, изложенных в главах 2–4, приводятся решения ряда практических задач с использованием метода конструктивного геометрического моделирования в постановке функционирования геометрических машин. Представленные решения подтверждают эффективность применения конструктивных геометрических моделей и средств их автоматизации.

Геометрическое метод имеет исключительно большое значение для теории проектирования механизмов и машин. На его основе осуществляется постановка и решение задач анализа и синтеза конструкций, расчета траекторий движения звеньев механизмов, определения динамических и прочностных характеристик. В главе приводится пример конструкции геометрической машины для проектирования поверхности зуба червячного колеса. Необходимость такого расчета возникает при использовании нетрадиционных технологий для изготовления такого колеса. Реализованная в конструктивной геометрической модели теорема зацепления позволяет не только рассчитать форму поверхности зуба, но и визуализировать расчетную поверхность скольжения пары червяк-колесо.

Применение методов конструктивного геометрического моделирования позволяет автоматизировать процесс проектирования формы поверхности вставок ковочных вальцев и подготовки управляющих программ для обработки поверхностей на станках с ЧПУ. В приведенном на рис. 3 примере реализована конструктивно-геометрическая схема, выполняющая преобразование эпюры сечений расчетной заготовки, заданной множеством отсчетов

p13, в точки поверхности вальцев (*xy*, *xz*). Диаметр вальцев регулируется точкой *p20*. В представленной модели реализована итерационная процедура уравнивания площади ромбического калибра гравюры вальцев *w0* и локальной площади сечения исходной заготовки *d0*. Угол наклона боковых стенок калибра регулируется заданием угла наклона прямой *o2*. На рис. 4 приведены тонированные изображения расчетных гравюр при значениях угла 30^0 и 50^0.

В главе представлены конструкции машин и методика расчета кинематических характеристик механизма с гибкой связью, проектирование поверхности капота автомобиля на основе ключевой операции, показана возможность применения конструктивных геометрических моделей для решения задач графического дизайна на примере проектирования орнамента.

Затронуты вопросы создания экспертной системы для автоматизированного поиска соответствий конструкций геометрических машин каноническим формам известных номограмм. Приведенные несложные примеры подтверждают принципиальную возможность реализации экспертно-поисковых функций для автоматизации номографических работ и мотивируют необходимость проведения дальнейших исследований в данной области. Применение таких функций в составе системы конструктивного геометрического моделирования позволит решать весь комплекс номографических задач и обеспечить более широкое внедрение номографических методов в информационные технологии.

Одной из областей применения предлагаемого подхода к автоматизированному решению задач конструктивного геометрического моделирования является педагогика высшей школы, в частности, преподавание начертательной геометрии и черчения.

Курс начертательной геометрии, читаемый в технических вузах и университетах, обычно оценивается студентами как трудный. Сложность его освоения, как правило, является следствием недостаточной геометрической подготовки учащихся средней школы, слабостью или полным отсутствием предмета черчения. Начертательная геометрия служит теоретической основой инженерной графики, черчения и проектирования, чем обусловлено ее влияние на качество изучения других инженерных дисциплин.

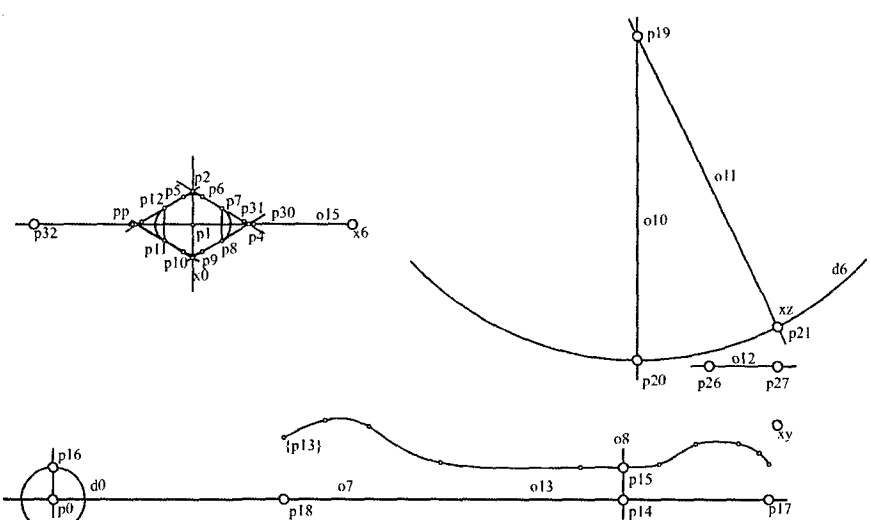

Рис.3 Конструктивно-геометрическая схема для решения задачи о проектировании гравюры вальцев

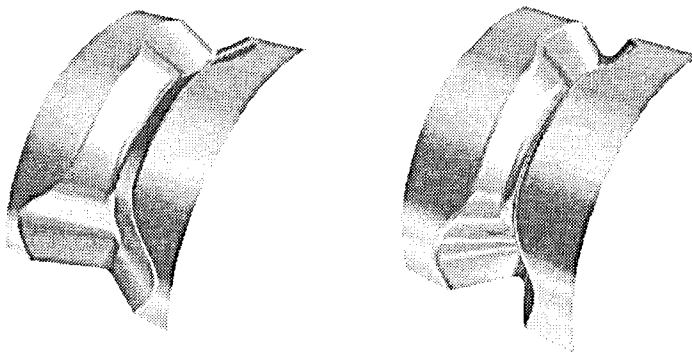

Рис.4 Изображение 3-D модели вальцев, построенных на основе конструктивно-геометрической схемы

Обеспечение хорошей успеваемости по данному предмету – сложная педагогическая задача, на решение которой оказывают влияние различные аспекты деятельности как студентов, так и преподавателей. Успех обучения в немалой степени зависит от информационной обеспеченности курса и надлежащего уровня коммуникации между студентом и преподавателем. К сожалению, такие факторы, как ограниченность временных ресурсов, недостаточная активность студентов начального периода обучения, чувствительность графических решений к инструментальным погрешностям исходных данных, высокая трудоемкость выполнения и проверки заданий существенно ограничивают возможности такой коммуникации.

Решение данной проблемы с применением современных компьютерных средств возможно лишь на основе детального анализа деятельности студентов и преподавателей, выявлении ее информационной сущности и составляет предмет глубокого научного исследования в области педагогики высшей школы.

На основе проведенного анализа деятельности преподавателя и учащегося для всех форм обучения инженерно-графическим дисциплинам сделан вывод, что проблемы изучения дисциплины в большой степени мотивированы противоречиями, обусловленными несоответствием традиционной технологии ведения образовательной деятельности современному уровню развития информационных технологий. Их разрешение возможно на основе переосмысления содержания геометрической науки, вскрытия ее информационной сущности, осознания универсального характера конструктивного геометрического моделирования как инструмента научного познания. Такой подход позволяет определить новые направления научного поиска, направленного на разработку методик преподавания инженерно-графических дисциплин и технологий, затрагивающих различные аспекты учебно-педагогической деятельности.

Теоретические исследования, проведенные в данной работе, и практическая реализация на их основе системы автоматизации конструктивного геометрического моделирования, позволили решить ряд перечисленных выше проблем. Результатом этой работы стала разработка методики преподавания начертательной геометрии, применимой к условиям очной, заочной и дистанционной форм обучения.

Некоторые положения предложенной методики более подробно освещены в учебном пособии, предназначенном для студентов, изучающих начертательную геометрию.

Применение данной методики в учебном процессе позволило:

1) трактовать начертательную геометрию как вид информатики и особый способ программирования;

2) автоматизировать процесс чтения лекций за счет динамического синтеза конструктивных геометрических моделей и их визуализации при помощи мультимедийной проекционной аппаратуры, существенно сократить временные затраты на изготовление чертежей;

3) обеспечить возможность вариации параметров моделей с целью исследования и показа их свойств, а также возможность синтеза наиболее выразительных изображений;

4) реализовать оперативное обеспечение студентов едиными чертежно-графическими материалами, одинаково пригодными для сопровождения теоретического материала и решения практических задач;

5) оперативно распространять учебные материалы посредством сети Интернет;

6) применить ЭВМ для решения задач на практических занятиях, расширить и разнообразить их перечень, существенно сократить время, требуемое на выполнение единообразных построений, за счет реализации принципа множественности и согласования параметров отношений, акцентировать внимание студентов на информационной сущности геометрических моделей, исследовать их поведение при изменении исходных данных;

7) активизировать самостоятельную работу студентов, повысить заинтересованность в изучении науки, организовать научно-исследовательскую работу.

Шестая глава посвящена программной реализации системы Симплекс, предназначенной для автоматизации работ, связанных с проектированием, отладкой и функционированием конструкций геометрических машин. Система Симплекс является средством внедрения и разработки новых информационных технологий в конструктивном геометрическом моделировании. Она способна служить информационной основой для развития новых научных направлений в области прикладной геометрии и средств ее автоматизации. Система Симплекс обеспечивает решение научных и технических задач, сформулированных в терминах проекционных геометрических моделей. Проведенные в диссертации исследования позволили сформулировать концепцию системы, разработать ее архитектуру, определить объектный и функциональный состав, обусловить создание методики автоматизированного проектирования конструктивных геометрических машин.

Система позволяет расширить информационные возможности проектировщика геометрических машин и снять с повестки дня проблему инструментальной погрешности графических методов решения задач. Система имитирует естественный профессиональный стиль деятельности проектировщика геометрических машин, предъявляя минимальные требования к уровню знаний в области классического программирования. В системе реализованы принципы визуального объектно-ориентированного проектирования и декларативности формулировки задач.

Классификационный состав объектов системы Симплекс включает 17 базовых типов данных. В системе реализованы механизмы, необходимые для описания структуры и функциональности объектов сложных производных типов.

В системе Симплекс объекты декларируются посредством ввода отношений, составляющих фактологическое описание геометрической модели. Конкретизированные значения объекты получаются в результате выполнения вычислительной работы всей совокупности отношений, образующих алгоритм. Объекты в системе Симплекс организованы в виде компонентов списочных переменных и констант.

В базовый функциональный набор системы Симплекс включены около 120 предопределенных функций. Расширение функционального набора достигается путем объявления и конструирования новых алгоритмов, которые затем используются в качестве процедур.

Модули системы интегрированы в единую графическую среду визуального проектирования. Важнейшие подсистемы (рис. 5) организованы в виде так называемого геометрического цикла подсистем. В их состав входят подсистемы ввода отношений, трансляции, исполнения, отображения. Архитектуре и функциональности этих подсистем подчинена основная методика автоматизированного проектирования геометрических машин.

Рис.5 Подисистемы Симплекса

Подсистема ввода отношений предназначена для формирования или коррекции состава отношений алгоритмов, объединяющих их в единый проект. Подсистема трансляции выполняет семантический анализ записей отношений, преобразующий их во внутренний формат системы. Задача исполнительной подсистемы – выполнить вычислительную работу всех отношений актуальной совокупности в соответствии с заданными функциями согласования параметров и возможной конкретизацией значений всех объектов проекта. Подсистема отображения предназначена для представления образов геометрических объектов на экране монитора и является основой графического интерфейса, выполненного в соответствии с технологией WYSIWYG и обеспечивающего взаимодействие пользователя с конструируемой геометрической моделью.

В состав системы Симплекс включен ряд других сервисных подсистем.

Подсистема конструирования производных объектных классов предоставляет пользователю инструмент описания объектных иерархий, расширяющих базовый классовый состав объектов системы. Производные объекты позволяют выразить сложные геометрические понятия и создавать геометрические машины, характерные для предметной области решаемой задачи.

В процессе проектирования конструкции геометрической машины неизбежно появление синтаксических и алгоритмических ошибок. Для устранения алгоритмических ошибок система Симплекс оснащена подсистемой отладки алгоритмов. В систему Симплекс интегрирован полнофункциональный интерпретатор языка Prolog, предназначенный для реализации логических, отладочных и экспертных функций. Для ряда функций системы определены так называемые обратные функции динамического редактирования, которое применяется для изучения поведения модели при различных значениях геометрических параметров.

Средствами подсистемы, предназначенной для протоколирования состава отношений алгоритма, в каждой записи текстуально отражается семантическое значение отношения: поясняется характер зависимости выходных параметров отношения от входных, предоставляется информация о виде согласования параметров и об исполнении отношения.

Подсистема отображения конструкции геометрической машины предназначена для формирования структурно-функциональной схемы геометрического алгоритма и выполнения операций, связанных с обнаружением, локализацией и устранением структурно-алгоритмических ошибок, а также исследованием работы геометрической машины.

Подсистема генерации видеопоследовательностей позволяет наблюдать и исследовать работу геометрической машины в динамике изменения значений ее объектов.

В составе Симплекса предусмотрена подсистема, исключающая этап формирования аналитического эквивалента конструктивной геометрической модели и обеспечивающая непосредственную трансляцию модели в синтаксически корректную программу на языке Pascal (подсистема трансляции в язык Pascal). Такой подход позволяет создавать независимые от системы Симплекс отторгаемые приложения Windows.

Подсистема моделирования поверхностей предназначена для решения специальных задач проектирования поверхностей, определенных средствами конструктивного геометрического моделирования, в соответствии с методикой, изложенной в пятой главе. Подсистема информационного обмена обеспечивает экспорт данных в иные прикладные системы автоматизированного проектирования посредством форматов DXF, VDA-FS, SLDCRV.

Система Симплекс экспортирует 2D геометрическую информацию в формате Autocad-совместимых систем – DXF, метафайла системы Windows – WMF, формата обмена системы CorelDraw! (версия 8 и выше) – CMX, формата обмена геометрической информацией системы Adobe Illustrator – AI (в частности, для передачи 2D-информации в систему 3D StudioMax). Система выполняет импорт 2D-информации из форматов DXF и CMX. Открытость системы Симплекс обеспечивает возможность применения ее объектов и функционального состава в прикладных САПР.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Анализ современного состояния конструктивного геометрического моделирования выявил несоответствие между информационными возможностями данного вида моделирования и уровнем его применения в системах автоматизированного проектирования и средствах автоматизации научных исследований.

2. Обобщение понятийного аппарата конструктивного геометрического моделирования, систематизация, символизация, выделение базовых процедур в проекционном моделировании, введение понятия дискретно-непрерывного пространства позволили не только разработать новые теоретические положения, но и вскрыть информационную сущность данного вида моделирования и тем самым обнаружить предпосылки для его автоматизации.

3. Разработанный в диссертационном исследовании комплекс изоморфных проекционных моделей четырехмерного проективного пространства с полным набором многосвязных отношений, индуцированных его линейными структурами, позволил на основе обобщения и расширения ранее известных ключевых методов предложить новый способ проектирования поверхностей, определенных на четырехстороннем криволинейном пространственном контуре.

4. Исходя из понимания конструктивного геометрического моделирования как информационного процесса, в диссертационном исследовании предложено фактологическое представление конструктивных моделей, послужившее основой для разработки теории автоматизации всех этапов проектирования и функционирования таких моделей в виде геометрических машин.

5. Разработка теории автоматизации позволила ликвидировать проблему инструментальных ограничений, присущую конструктивному геометрическому моделированию в обычном понимании. Указанная проблема являлась основным сдерживающим фактором развития данной научной дисциплины в течение последних 70 лет и ограничивала сферу применения ее результатов в практической проектной деятельности.

6. Достигнутые в исследовании результаты подтверждают возможность широкого использования геометрических моделей в различных прикладных областях, для которых геометрический метод постановки задачи и получения решений является предпочтительным.

7. Обобщающим результатом сформулированных в исследовании теоретических положений стала разработка математического, алгоритмического и методического комплексов для автоматизации процессов конструктивного геометрического моделирования. Данные комплексы позволили сформулировать концепцию специализированной среды проектирования геометрических машин «Симплекс», разработать ее архитектуру, объектный и функциональный состав, предложить методики практического применения системы для решения задач прикладного проектирования.

8. Полученные в диссертационном исследовании результаты определяют направление новых исследований в сфере информатизации и автоматизации конструктивного геометрического моделирования, дальнейшего развития теории конструктивной геометрии как информационной дисциплины, расширенного практического применения синтетических геометрических методов в прикладных областях.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации

1. Волошинов, В.А., Волошинов, Д.В. Новые инструментальные средства геометрического моделирования для решения научно-технических задач. Науч.-техн. ведомости СПбГТУ. №3(5). СПб.: СПбГТУ, 1996. С. 41.

2. Волошинов, Д.В. Использование методов геометрического моделирования для автоматизированного проектирования и исследования сложных технических поверх-

ностей. Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. №2 (44). СПб.: СПбГПУ, 2006. С. 152.

3. Волошинов, Д.В. Применение методов конструктивной геометрии для визуального синтеза и анализа компьютерных программ. Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. №3 (45). СПб.: СПбГПУ, 2006. С. 65.

4. Волошинов, Д.В., Долгая, Н.А. Конструктивная связь трех полей на плоской проекционной модели четырехмерного пространства. Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. № 3 (59). СПб.: СПбГПУ, 2008. С. 293.

5. Волошинов, Д.В. Алгоритм пересечения плоскостей на проекционной модели четырехмерного пространства. Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. №3 (59). СПб.: СПбГПУ, 2008. С. 284.

6. Волошинов, Д.В. О задаче проектирования поверхности на заданном криволинейном контуре. Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. № 3 (51). СПб.: СПбГПУ, 2007. С. 182.

7. Волошинов, Д.В. Автоматизированное проектирование объектов и процессов с применением методов конструктивного геометрического моделирования. Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. № 4-1 (52). СПб.: СПбГПУ, 2008. С. 92.

8. Аксенов, Л.Б., Вейсберг, Ю.И., Волошинов, Д.В. Автоматизированное проектирование процессов холодной штамповки с применением персональных компьютеров. Тезисы доклада. Материалы краткосрочного семинара «Пути повышения эффективности холодноштамповочного производства». Л.: ЛДНТП, 1987.

9. Аксенов, Л.Б., Волошинов, Д.В. Автоматизированное проектирование технологического процесса безотходного изготовления деталей. Проблемы унификации гибких производственных систем. Сборник научных трудов. Труды ЛПИ. № 419. – Л.: ЛПИ, 1986.

10. Аксенов, Л.Б., Волошинов, Д.В. Опыт разработки САПР горячей штамповки. Материалы научно–технического семинара «Малоотходная технология, роботизация и автоматизация ковки и горячей штамповки в XII пятилетке и на период до 2000 года». – Л.: ЛДНТП, 1986.

11. Аксенов, Л.Б., Волошинов, Д.В. Разработка геометрических модулей САПР горячей штамповки. Тезисы доклада. Научно–техническая конференция «Экономичность технологических процессов и оборудования в кузнечно–штамповочном производстве». – Пенза, 1987.

12. Аксенов, Л.Б., Волошинов, Д.В. Системы автоматизированного проектирования листовой и холодной объемной штамповки. Тезисы доклада. Научно-техническая конференция по совершенствованию процессов и машин кузнечно-штамповочного производства. – Горький, 1987. С. 73.

13. Андрейченко, Ю.Я., Волошинов, В.А., Волошинов, Д.В. Алгоритмы проекционной геометрии в автоматизированной системе измерения криволинейных поверхностей. Тезисы доклада на республиканской научно-методической конференции. «Компьютеризация и специализация обучения графическим дисциплинам» 18–22 июня. Новочеркасск, 1990.

14. Андрейченко, Ю.Я., Волошинов, В.А., Волошинов, Д.В., Самсонов, В.В. Устройство для контроля параметров криволинейной поверхности. Патент Российской Федерации RU 2025660.

15. Андрейченко, Ю.Я., Волошинов, В.А., Волошинов, Д.В., Самсонов, В.В. Коллинеарное соответствие плоских полей как геометрическая основа для устройств контроля криволинейных поверхностей. Геометрическое моделирование и компьютерная графика. Сб. науч. трудов. СПбГТУ № 454, СПб., 1995. С. 49 – 55.

16. Андрейченко, Ю.Я., Волошинов, В.А., Волошинов, Д.В., Самсонов, В.В. Устройство для контроля параметров криволинейной поверхности. Патент Российской Федерации RU 2025659.

17. Андрейченко, Ю.Я., Волошинов, В.А., Волошинов, Д.В., Самсонов, В.В. Устройство для контроля параметров криволинейной поверхности. Бюллетень изобретений № 24,

ВНИИПИ, М., 1995.

18. Андрейченко, Ю.Я., Волошинов, Д.В., Максимова, А.Л. Использование методов геометрической вероятности в системах обработки изображений. Сборник трудов Первой электронной международной научно-технической конференции «Автоматизация и информатизация в машиностроении» – Тула: ТулГУ, 2000, С. 167.

19. Бойцов, К.И., Волошинов, Д.В., Кокорин, М.С., Красильникова, Г.А. Инженерная графика. Компьютерные методы в задачах геометрического моделирования. Уч. пособие. СПбГТУ, СПб., 1997. – 43 с.

20. Боровиков, Г.А. Волошинов, Д.В., Самсонов, В.В., Тарелкин, С.М. Автоматизированное проектирование технологического процесса безотходного изготовления деталей. Проблемы унификации гибких производственных систем. Сборник научных трудов. Труды ЛПИ № 419, Л.: ЛПИ, 1986.

21. Боровиков, Г.А., Волошинов, Д.В., Сироткин, С.Н., Станкевич, Л.А. О программном и методическом обеспечении диалогового проектирования моделей. Тезисы доклада. Всесоюзная научно–методическая конференция «Научно–методические основы использования ТОО, ЭВМ и САПР в учебном процессе общеинженерных дисциплин». – М.: МАИ, 1983.

22. Бояшова, Е.П., Волошинов, Д.В. Визуальный синтез компьютерных программ с применением методов конструктивной геометрии для автоматизации проектных работ в промышленном дизайне. Технологии Microsoft в теории и практике программирования. Материалы межвузовского конкурса–конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Северо–Запада. 13–14 марта 2007 г.СПб, СПбГПУ, 2007. С. 186.

23. Волошинов, В.А., Волошинов, Д.В. О понятийном аппарате, символизации и базовых процедурах в проекционном моделировании // Геометрическое моделирование и компьютерная графика. – СПб.: СПбГТУ, 1995. С. 3–19.

24. Волошинов, В.А., Волошинов, Д.В. Компьютерная геометрия. СПб: СПбГТУ, 1995. – 140 с.

25. Волошинов, В.А., Волошинов, Д.В. Некоторые вопросы компьютерного синтеза проекционно-числовых моделей. Тезисы доклада на респуб. науч.-метод. конфер. «Компьютеризация и специализация обучения по графическим дисциплинам» 18–22 июня. Новочеркасск, 1990.

26. Волошинов, В.А., Волошинов, Д.В. Некоторые вопросы компьютерной технологии представления данных в процессах геометрического моделирования. Межвузовский сб. научных трудов «Геометрическое моделирование и компьютерная графика». СПб.:, СПбГТУ, 1992. С. 3–14.

27. Волошинов, В.А., Волошинов, Д.В. О концепции создания системы автоматизированного проектирования геометрических машин // Международный сборник трудов «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика». Вып. 7. Н. Новгород: НГАСУ, 2001. С. 201–209.

28. Волошинов, В.А., Волошинов, Д.В. О связной проекционной системе в аппарате моделирования. Тезисы доклада. Республиканская научно-методическая конференция «Роль инженерной графики и машинного проектирования в подготовке специалистов для народного хозяйства». – Л.: ЛПИ, 1984.

29. Волошинов, В.А., Волошинов, Д.В., Дьяченко, В.А. Подготовка дизайнеров на механико–машиностроительном факультете. Тезисы доклада на науч.-метод. конференции «Проблемные вопросы внедрения государственных образовательных стандартов второго поколения». Вып. 14. СПб.: СПбГПУ, 2003. – С. 13.

30. Волошинов, В.А., Волошинов, Д.В., Кокорин, М.С. О компьютерной реализации графоаналитических методов моделирования технических объектов и процессов. Актуальные проблемы теории и методики графических дисциплин. Материалы семинара-совещания заведующих кафедрами ВУЗов России. Пенза: Изд–во ПГАСА 1999 С. 122–125.

31. Волошинов, В.А., Волошинов, Д.В., Красильникова, Г.А., Слатин, В.И. О компьютерной реализации графоаналитических методов моделирования поверхностей судовых форм. – Сб. науч. тр. Судостроение и судоремонт / Под ред. Кузьмина А.А.. СПб.: СПГУВК, 1999. С. 31 – 32.

32. Волошинов, В.А., Волошинов, Д.В., Красильникова, Г.А., Слатин, В.И. Компьютерные технологии конструирования проекционных моделей для оценки погрешностей обработки фасонных деталей в судостроении. – Сб. науч. тр. Судостроение и судоремонт / Под ред. Кузьмина А.А., СПГУВК, 1999. С. 28 – 30.

33. Волошинов, В.А., Волошинов, Д.В., Самсонов, В.В. Компьютерные технологии в проекционном моделировании и инженерном дизайне. Тезисы доклада. I Всероссийская науч.-техн. конференция «Компьютерные технологии в науке, проектировании и производстве». Н. Новгород: НГТУ, 1999. С. 34.

34. Волошинов, В.А., Волошинов, Д.В., Якутенко, Г.Т. Постановка лабораторной работы по автоматизированной обработке несимволизированных проекционных изображений. Межвузовский сборник научных трудов «Пути и методы совершенствования учебно-воспитательного процесса в техническом ВУЗе». – Л.: ЛЭТИ, 1986.

35. Волошинов, Д.В. Геометрическое моделирование в системе Симплекс как средство создания программного интерфейса. Сб. науч. тр. «Геометрическое моделирование и компьютерная графика». Труды СПбГТУ. №454. СПб., 1995. С. 36–39.

36. Волошинов, Д.В. Информационно-коммуникативные технологии при обучении инженерно-графическим дисциплинам в техническом ВУЗе Тр. 5–й междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГПУ, 2005. С. 224.

37. Волошинов Д.В. Научные основы и практика проектирования. Теория и методы геометрического моделирования: учеб. пособие / Д.В.Волошинов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 184 с.

38. Волошинов, Д.В. Об алгоритме пересечения плоскости на проекционной модели четырехмерного пространства. Труды 3–й международной науч.-техн. конференции «Компьютерное моделирование 2002», СПб.: СПбГПУ, 2002. С. 120–124.

39. Волошинов, Д.В. Применение методов конструктивной геометрии для синтеза и анализа компьютерных программ. // 12–я международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению ГрафиКон' 2002 (Труды конференции). Н. Новгород: НГГУ, 2003.

40. Волошинов, Д.В. Проектирование процессов горячей объемной штамповки с использованием геометрического моделирования: Дис. ... канд. техн. наук. СПб.: СПбГТУ, 1991.

41. Волошинов, Д.В. Система программирования задач прикладной геометрии «Симплекс». Фундаментальные исследования в технических университетах. Материалы н/м. конференции СПбГТУ. СПб.: СПбГТУ, 1997.

42. Волошинов, Д.В., Кокорин, М.С., Смирнова, И.С. Задачи конструктивного синтеза разверток поверхностей с использованием системы геометрического моделирования Симплекс // Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика. Вып. 7. Н. Новгород: НГАСУ, 2001. С. 81–84.

43. Волошинов, Д.В., Гвоздев, М.А. Использование ключевых методов конструирования поверхностей при автоматизированном проектировании оболочек. Сборник трудов Первой электронной международной научно-технической конференции «Автоматизация и информатизация в машиностроении». Тула: ТулГУ, 2000. С. 84.

44. Волошинов, Д.В., Гвоздев, М.А., Юркова, Е.В. Автоматизация ключевых методов моделирования каркасных поверхностей. Тезисы доклада. II Всероссийская научно-техническая конференция «Компьютерные технологии в науке, проектировании и производстве». Н. Новгород: НГТУ, 2000. С. 23.

45. Волошинов, Д.В., Димент, Л.И., Кокорин, М.С. Применение системы Симплекс при обучении студентов специальности «Литейное производство» в СПбГПУ // Начерта-

тельная геометрия, инженерная и компьютерная графика. Вып. 6. Н. Новгород: НГАСУ, 2001. С. 37–40.

46. Волошинов, Д.В., Золотов, А.М. О пространственной композиции геометрических объектов при автоматизированном проектировании поверхностей деталей машин. Межвузовский сборник «Автоматизация проектирования в машиностроении». Л.: ЛПИ, 1987.

47. Волошинов, Д.В., Кожевина, И.В. Компьютерное моделирование позиционных задач. Учебн. пособие. СПб.: СПбГТУ, 1996. – 99 с.

48. Волошинов, Д.В., Кокорин, М.С., Павлов, С.Я. Концепция дизайнерской подготовки инженеров-механиков. Фундаментальные исследования в технических университетах. Материалы н/м. конференции СПбГТУ. СПб.: СПбГТУ, 1997.

49. Волошинов, Д.В., Сироткин, С.Н., Якутенко, Г.Т. Автоматизированная обработка несимволизированных проекционных изображений. Респуб. н–м конф. «Роль инженерной графики и машинного проектирования в подготовке специалистов для народного хозяйства». Л., 1984.

Лицензия ЛР № 020593 от 07.08.97

Подписано в печать 22.12.2009. Формат 60x84/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 2,0. Уч.-изд. л. 2,0. Тираж 100. Заказ 5365b.

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного автором,
в Цифровом типографском центре Издательства Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 550-40-14
Тел./факс: (812) 297-57-76