

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу
Конопацкого Евгения Викторовича
на тему «Геометрическое моделирование многофакторных процессов
на основе точечного исчисления», представленную на соискание ученой
степени доктора технических наук по специальности 05.01.01 –
«Инженерная геометрия и компьютерная графика»**

Актуальность темы исследования

Реальные объекты и процессы живой природы, техники, технологии, экономики, строительства и архитектуры являются многофакторными, имеют сложную структуру взаимодействия компонентов. Проектирование, оптимизация, прогнозирование таких объектов и процессов являются сложными задачами, решение которых, зачастую, возможно лишь на основе приближенных методов и компьютерного эксперимента. Примером может служить выбор оптимального сочетания значений нескольких компонентов (факторов), влияющих на состояние многопараметрической системы. С одной стороны, оптимизация каждого качества (параметра) системы требует определенного сочетания значений факторов, но для разных параметров эти сочетания, в общем случае, не пересекаются. С другой стороны, на практике обычно требуется принадлежность каждого параметра некоторому желаемому диапазону, что расширяет набор возможных сочетаний факторов. Решение подобных задач в общем виде встречает значительные трудности в связи с большой мерностью и сложностью применяемого математического инструментария.

Исходными данными для решения указанной задачи обычно являются экспериментально полученные соответствия сочетаний факторов и свойств объекта, процесса. Эти данные можно назвать точечными и представить их в виде геометрических отображений на многомерное пространство. Здесь возникает возможность применить методы вычислительной геометрии, в частности, многомерной интерполяции и аппроксимации с компьютерной поддержкой. Точечный характер исходных данных позволяет эффективно использовать для исследований новый математический инструмент – точечное исчисление. В связи с этим встает проблема создания математического и алгоритмического аппарата геометрического моделирования многофакторных процессов в точечном исчислении. Эта проблема решается соискателем. Его диссертационная работа направлена на разработку методов многомерной интерполяции и аппроксимации, как основополагающих инструментов моделирования и аналитического описания

многофакторных процессов и явлений в их геометрической интерпретации. В связи с изложенным тематику оппонируемой диссертационной работы следует признать актуальной.

Оценка изложения диссертации и автореферата

Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения, списка используемой литературы и одного приложения. Общий объём составляет 307 страниц, 78 рисунков. Библиографический список включает 180 наименований, в том числе 13 иностранных.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, показаны сущность научной проблемы, ее теоретическое и прикладное значение, использованные методы исследования, раскрыта степень ее научной разработанности, определены цели и задачи исследования, сформулированы научная новизна и положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации и внедрении основных результатов, приведена общая характеристика работы.

В первой главе представлены известные и предложенные диссертантом способы параметризации объектов на плоскости и в пространстве с применением точечного исчисления. Это основные и дополнительные способы параметризации, включающие параметризацию Чебы, полярную параметризацию плоскости, биугловую параметризацию плоскости, четырехугольную параметризацию пространства, бирадиальную параметризацию плоскости и радиальную параметризацию многомерного пространства. По результатам проведенных исследований предложен общий подход к моделированию плоских кривых с двумя осями симметрии.

Во второй главе диссертационной работы изложено обобщение стандартных тригонометрических функций на основе теоремы синусов. Исследованы геометрические и алгебраические свойства обобщенных тригонометрических функций, разработана параметризация плоскости на их основе, показаны возможности использования обобщенных тригонометрических функций для моделирования плоских кривых с помощью угловых параметризаций, а также для перехода от одной параметризации плоскости к другой.

В третьей главе диссертации исследовано моделирование проективно-образуемых алгебраических кривых второго и третьего порядков, проходящих через наперед заданные точки. В частности, получено точечное уравнение дуги кривой 2-го порядка, проходящей через 5 наперед заданных точек и разработан

вычислительный алгоритм моделирования обводов нулевого порядка гладкости на его основе. Предложен вычислительный алгоритм моделирования в точечной форме дуги пространственной кривой третьего порядка, проходящей через 6 наперёд заданных точек, не лежащих по 4 в одной плоскости.

В четвертой главе предложен метод моделирования алгебраических кривых, проходящих через наперёд заданные точки при любых значениях их координат. Метод заключается в переходе от кривой в форме Безье к кривой, проходящей через точки, принадлежащие кривой и соответствующие заданным значениям аргумента-параметра. Описание кривой представляется в точечной форме. В результате применения метода получена библиотека точечных уравнений специальных дуг алгебраических кривых, проходящих через наперёд заданные точки. Разработанная **библиотека** является главным инструментом последующего моделирования многофакторных процессов с помощью многомерных интерполяции и аппроксимации, описанных в шестой и седьмой главах.

В пятой главе исследованы теоретические и алгоритмические основы моделирования одномерных обводов, описания которых представляют собой кусочно-полиномиальную функцию. Обводы служат для моделирования незакономерных линий, отсеков поверхностей и многофакторных процессов с большим количеством исходных данных. Результаты представлены в виде стыкующихся между собой многопараметрических гиперповерхностей многомерного пространства в точечном исчислении. Соискателем исследованы способы моделирования дуг обвода в виде алгебраических кривых различного порядка и разработано 12 геометрических алгоритмов, включающих моделирование замкнутых и незамкнутых обводов с различными граничными условиями и их обобщение на многомерное пространство.

В шестой главе предложен формализованный математический аппарат, представленный автором в форме геометрической теории многомерной интерполяции. Соискателем предложен аппарат и алгоритм геометрического моделирования многофакторных процессов методом многомерной интерполяции, включающий принципы формирования дерева геометрической модели процесса и его аналитическое описание в точечном исчислении. Показано применение теории для решения практических задач на примерах оптимизации состава мелкозернистого бетона, нахождения распределения прочностных характеристик в бетонной колонне, исследования и оптимизации физико-механических свойств дегтеполимербетона. Предложено использование комплексного чертежа В.П. Радищева для систематизации и моделирования многомерных данных на

примере оптимизации технологического процесса получения тетраэтоксисилана.

В седьмой главе диссертации изложены теоретические основы и примеры практического использования многомерной аппроксимации с помощью геометрических объектов многомерного пространства, проходящих через наперёд заданные точки (многомерных интерполянтов). Другими словами, задача аппроксимации решается с помощью аппарата интерполяции. Соискателем предложены и исследованы 3 варианта многомерной аппроксимации: путём выбора узловых точек из исходного множества точек; путем минимизации суммы длин между узловыми и исходными точками; путем задания в узловых точках требуемых дифференциальных характеристик. Второй вариант представлен как результат обобщения метода наименьших квадратов на многомерное пространство с использованием его геометрической интерпретации. Автором предложена дополнительная область применения третьего варианта многомерной аппроксимации: численное решение дифференциальных уравнений с помощью геометрических интерполянтов. Результаты теоретических исследований, описанные в седьмой главе, снабжены примерами их практического использования для моделирования многофакторных процессов в точечном исчислении.

В заключительной части диссертации перечислены полученные в работе результаты, сформулированы основные выводы.

По отдельным главам и по работе в целом приведены соответствующие выводы, отражающие полученные научные и практические результаты.

Работа изложена хорошим научно-техническим языком и оформлена в соответствии с требованиями, изложенными в ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации».

Краткое содержание глав диссертационной работы, основные выводы и результаты представлены в автореферате диссертации, содержание которого соответствует содержанию диссертации.

Содержание диссертации известно научной общественности, оно отражено в 70 публикациях автора, из них на момент написания отзыва 5 статей опубликованы в изданиях, индексируемых в наукометрической базе Scopus, 10 статей – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ непосредственно по специальности 05.01.01 (из них 4 – без соавторов), и 5 статей – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ по смежным специальностям (3 – без соавторов). Используемые в диссертации материалы сторонних авторов помещены в список литературы, на все источники списка в тексте диссертации имеются ссылки.

Основные научные результаты и их новизна

Научные результаты, полученные лично соискателем, соответствуют паспорту специальности 05.01.01 и характеризуются новизной. В качестве основных научных результатов можно назвать следующее.

1. Предложены новые способы параметризации геометрических объектов с помощью обобщённых тригонометрических функций, которые при решении прикладных задач позволяют переходить от одних параметризаций к другим и, в конечном итоге, создавать геометрические объекты с заданными свойствами. Новизна способов параметризации заключается в различных сочетаниях геометрических величин в качестве параметров описания.

2. Разработаны основанные на применении точечного исчисления алгоритмы моделирования дуг алгебраических кривых, проходящих через заданные точки гиперпространства. При этом порядок кривых значительно меньше количества узлов интерполяции, что упрощает вычисления. Алгоритмы могут быть применены для моделирования поведения многопараметрического объекта в геометрическом представлении.

3. Предложен метод моделирования алгебраических кривых, проходящих через наперед заданные точки, на основе кривых Безье. Отличительная особенность метода заключается в переходе от кривой в форме Безье к кривой, проходящей через точки, принадлежащие кривой и соответствующие заданным значениям аргумента-параметра. Описание кривой представляется в точечной форме. Метод позволяет проводить, по сути, сплайн-интерполяцию на основе большого количества узловых точек, сохраняя свойства кривых Безье, в том числе, прохождение через крайние узлы, и, в то же время, гарантирует точное прохождение интерполянта через заданные точки. Используя полученные кривые в качестве направляющих и в качестве образующих кривых, можно простыми средствами моделировать поверхности сложной топологии.

4. Разработан ряд геометрических алгоритмов моделирования кривых и поверхностей различной мерности и различного порядка гладкости. Новизна алгоритмов заключается в следующем: в качестве исходных данных в них используются наборы характерных точек и линий (касательных), что часто имеет место при проектировании и экспериментальном исследовании многофакторных объектов, процессов. На основе предложенных геометрических алгоритмов несложно создать вычислительные алгоритмы для компьютерного моделирования многофакторных объектов, процессов, характеризующихся большим количеством исходной экспериментально-статистической информации.

5. Создан формализованный аппарат, который можно квалифицировать как развитие геометрической теории многомерной интерполяции. Теоретические результаты включают принципы формирования дерева геометрической модели процесса и его аналитическое описание в точечном исчислении, а также методику геометрического моделирования многофакторных процессов на основе многомерной интерполяции. Диссертантом доказана возможность решения задачи интерполяции параметров сложного объекта в геометрической постановке, что во многих случаях снижает вычислительные затраты на оптимизацию свойств объекта.

6. Предложены подходы к аппроксимации геометрических объектов многомерного пространства с помощью дуг алгебраических кривых, проходящих через наперёд заданные точки. В процессе исследований получено оригинальное обобщение метода наименьших квадратов на многомерное пространство с использованием его геометрической интерпретации, что расширяет инструментарий геометрического моделирования сложных объектов. Новизна полученных решений заключается в применении интерполяционных методов для решения аппроксимационных задач, что позволяет снизить количество узловых точек аппроксимации и уменьшить требуемые для нее вычислительные затраты.

7. Разработан и описан, хотя и в неявной форме, метод моделирования многомерных геометрических объектов, имеющих в узловых точках требуемые дифференциальные характеристики. Его новизна заключается в задании требуемых дифференциальных характеристик путём аппроксимации геометрическими объектами, проходящими через наперёд заданные точки. Метод предложено использовать и для аппроксимации решения дифференциальных уравнений. Такой геометрический подход к традиционно алгебраическим задачам легко обобщается на многомерное пространство, соответствующее представлению объектов со многими переменными, и во многих случаях позволяет уменьшить количество необходимых вычислений.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов

Научные положения и выводы диссертационной работы теоретически обоснованы, аргументированы и подтверждены в достаточной степени. Достоверность и обоснованность теоретических результатов диссертационного исследования обусловлена корректным применением в работе методов геометрического моделирования: проективной, аффинной, дифференциальной и начертательной геометрии. Положения диссертационного исследования основаны на изучении научных трудов и разработок зарубежных и отечественных

исследователей, а также на результатах, которые получены лично автором, и в ходе обобщения результатов описанных в работе исследований.

Достоверность и обоснованность результатов проведенных исследований подтверждаются результатами компьютерного моделирования: данными вычислительных экспериментов, проведенных автором на основе разработанных им вычислительных алгоритмов в системе компьютерной алгебры.

Научная ценность и практическая значимость диссертационной работы

Научная ценность диссертационной работы состоит в том, что в ней получила развитие теория многомерной интерполяции. Диссертантом разработан математический и алгоритмический аппарат геометрического моделирования многофакторных процессов в точечном исчислении. В его основу положено применение в качестве базовых формообразующих элементов дуг алгебраических кривых, проходящих через наперёд заданные точки. В работе прослеживается методология построения модели исследуемого объекта, процесса: исходные данные – их геометрическая интерпретация – аналитическое описание в виде точечных уравнений – вычислительные алгоритмы, построенные на основе аналитического описания – компьютерная модель.

Результативность предложенных соискателем научных решений подтверждена компьютерным моделированием. Практическая ценность полученных результатов обусловлена возможностью их применения для решения широкого круга инженерных задач моделирования и оптимизации многофакторных объектов, процессов. Для эффективного применения предложенных решений диссертантом разработана специальная библиотека непрерывных алгебраических и кусочно-полиномиальных кривых, проходящих через наперёд заданные точки.

Работа прошла апробацию на восемнадцати научно-практических конференциях различного ранга на территории России, Украины и Донецкой Народной Республики.

Результаты диссертационного исследования внедрены на ряде предприятий России, Украины и Донецкой Народной Республики, на что имеются справки о внедрении.

Полученные в процессе выполнения работы научные и практические результаты – методы и алгоритмы построения многопараметрических объектов, процессов в геометрическом представлении – могут найти применение в системах автоматизации научных исследований, системах автоматизации проектирования

объектов машиностроения, архитектуры и строительства, легкой промышленности, в автоматизированном обучении.

Замечания по диссертационной работе

1. В работе не представлено в полной мере количественное подтверждение преимуществ полученных диссертантом теоретических и практических результатов путем сравнения с известными методами и алгоритмами.

2. В главе 1 диссертации описано более десяти известных и авторских видов параметризации пространства. Новизна видов параметризации, предложенных автором, в соответствующих пунктах диссертации и автореферата явно не сформулирована. Выбор вида параметризации для описания объектов исследования и проектирования всегда целенаправлен. В связи с этим хотелось бы видеть рекомендации по выбору вида параметризации, хотя бы в виде примеров предметных областей их применения. В главе 1 в качестве примера упомянута лишь одна такая предметная область – геодезия (п.1.3.6).

3. В п.5 положений, выносимых на защиту, значится геометрическая теория многомерной интерполяции, однако этот термин не фигурирует ни в одном заголовке главы 6, посвященной этому вопросу. Более того, в заголовке главы 6 записан метод многомерной интерполяции, а на стр.25 автореферата результат назван методикой. На мой взгляд, результат в части многомерной интерполяции может квалифицироваться как методика, одна из методик теории, т.е. развитие теории.

4. В разделе диссертации и автореферата «Научная новизна полученных результатов» не сформулирована новизна метода определения многомерных геометрических объектов, имеющих в узловых точках требуемые дифференциальные характеристики (п.7 новизны). Ни в одном из заголовков главы 7, в которой рассматривается задание дифференциальных характеристик геометрических объектов, нет слова «метод».

5. В результате исследований автором выведены модельные соотношения, связывающие параметры системы, например, бетона, с влияющими на эти параметры факторами. Возникает вопрос: как, используя эти соотношения, решать обычную для практики задачу – находить множества значений факторов, обеспечивающие попадание параметров в заданные диапазоны? Ответа на этот вопрос в диссертации нет.

6. Предлагаемая автором в главе 3 интерполяция на основе кривых второго и третьего порядка, точно проходящих, соответственно, через 5 и 6 узлов интерполяции, имеет существенные ограничения на расположение узлов. Узлы

интерполяции должны предварительно проверяться на соответствие этим ограничениям, что отмечено в диссертации. В работе не указано, в чем преимущество такой интерполяции перед составной сплайновой кривой третьего порядка, для применения которой нужно знать лишь последовательность узлов.

7. В обзорной части диссертации автором не рассматривались такие эффективные известные средства интерполяции, как радиальные базисные функции и сплайны Кэтмулла-Рома. Между тем, эти средства обеспечивают точное прохождение гладких пространственных кривых через узлы интерполяции и могут быть описаны с применением точечного исчисления.

8. В работе имеются структурные издержки. В некоторых главах между заголовком раздела и первым подразделом вставлен текст, не имеющий нумерации. Это не краткая преамбула главы (например, в главе 1 этот текст занимает 4 страницы), а некая вводная часть, на которую невозможно сослаться в последующем тексте.

9. В работе имеются недостатки стиля и оформления. На стр.28 автореферата говорится о разработке методов аппроксимации (во множественном числе), тогда как на защиту выносится один метод (п.6 положений, выносимых на защиту). В тексте диссертации встречаются подразделы, оканчивающиеся формулами без каких бы то ни было резюме, например, 3.3, 6.6.2. В середине стр.74 недописанное предложение. На стр.117 после выражения (4.17) в предложении пропущено слово. Примеры можно продолжить.

10. Список литературы в работе насчитывает 180 наименований, из которых только 8 – источники зарубежных авторов на иностранном языке (кроме украинских источников). В соответствии со стандартом оформления литературные источники в списке упорядочиваются или в порядке цитирования, или по алфавиту. В работе порядок размещения источников произвольный.

Следует отметить, что приведенные замечания в большей степени относятся к изложению и оформлению материала диссертации и не снижают научной новизны и практической значимости ее результатов.

Заключение по работе

Диссертационная работа Конопацкого Е.В. является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема создания математического и алгоритмического аппарата геометрического моделирования многофакторных процессов в точечном исчислении. Усилиями диссертанта получила развитие теория многомерной интерполяции в части применения в качестве базовых

формообразующих элементов дуг алгебраических кривых, проходящих через наперёд заданные точки.

Работа имеет важное значение для исследования и проектирования сложных многопараметрических объектов, процессов с применением интерполяционных и вычислительных методов в областях автоматизированного проектирования, автоматизации научных исследований, автоматизированного обучения.

Совокупность результатов, полученных лично автором, позволяет квалифицировать работу как докторскую диссертацию. Диссертация выполнена на достаточно высоком научном уровне и оформлена в соответствии с предъявляемыми требованиями. Результаты работы имеют научную новизну и практическую ценность.

Диссертационная работа соответствует специальности 05.01.01 – «Инженерная геометрия и компьютерная графика» и отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ. Автор работы, Конопацкий Евгений Викторович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.01.01 – «Инженерная геометрия и компьютерная графика».

Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор



Косников Юрий Николаевич

Косников Юрий Николаевич, профессор кафедры «Информационно-вычислительные системы» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», докторская диссертация защищена в 2006 году по специальности 05.13.18.

Адрес: 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40

Тел.: (841-2) 56 35 11

Факс: (841-2) 56 51 22

e-mail: cnit@pnzgu.ru

Подпись Косникова Ю.Н. заверяю

Ученый секретарь ученого совета

Пензенского государственного университета



О.С. Дорофеева

22.06.2020,