

# РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ ПРИ ИНТЕГРАЦИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ И ПРЯМЫХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ В CAD-СИСТЕМАХ

## DEVELOPMENT OF METHODS FOR SYSTEM ANALYSIS AND DATA MANAGEMENT IN THE INTEGRATION OF PARAMETRIC AND DIRECT MODELING METHODS IN CAD SYSTEMS

**O. Borisova**

*Summary.* The article discusses the development of methods for system analysis and data management in the integration of parametric and direct modeling methods in modern CAD systems. The main problems of joint use of different approaches to geometric modeling are analyzed. A methodology for data integration and design process optimization is proposed. Recommendations for improving project data management systems in hybrid modeling conditions are developed.

*Keywords:* system analysis, data management, parametric modeling, direct modeling, CAD systems, method integration, design optimization.

**Борисова Ольга Алексеевна**

кандидат педагогических наук, доцент,  
Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»  
o.borisova@stankin.ru

*Аннотация.* В статье рассматриваются вопросы разработки методов системного анализа и управления данными при интеграции параметрических и прямых методов моделирования в современных CAD-системах. Проанализированы основные проблемы совместного использования различных подходов к геометрическому моделированию. Предложена методология интеграции данных и оптимизации процессов проектирования. Разработаны рекомендации по совершенствованию систем управления проектными данными в условиях гибридного моделирования.

*Ключевые слова:* системный анализ, управление данными, параметрическое моделирование, прямое моделирование, CAD-системы, интеграция методов, оптимизация проектирования.

### Введение

Современные системы автоматизированного проектирования представляют собой сложные программные комплексы, обеспечивающие создание трехмерных моделей изделий различной степени сложности. На протяжении последних десятилетий в области компьютерного моделирования сформировались два основных подхода: параметрическое моделирование, основанное на истории построения и параметрических зависимостях, и прямое моделирование, позволяющее непосредственно манипулировать геометрией без сохранения истории операций [6]. Каждый из этих подходов обладает своими преимуществами и ограничениями, что обуславливает необходимость их комплексного использования в рамках единой проектной среды.

Параметрическое моделирование обеспечивает высокую степень управляемости конструкцией, возможность быстрого внесения изменений через модификацию параметров, а также поддержку ассоциативных связей между различными элементами модели. Однако данный подход требует тщательного планирования последовательности построения, что может затруднять работу с импортированной геометрией или при необхо-

димости внесения локальных изменений. Прямое моделирование, напротив, предоставляет большую гибкость при работе с геометрией, особенно при редактировании моделей без истории построения, но затрудняет внесение системных изменений и управление сложными зависимостями [1].

Интеграция этих двух подходов в рамках единой системы проектирования создает новые возможности для повышения эффективности конструкторской деятельности, однако порождает ряд методологических и технических проблем, связанных с управлением данными, обеспечением целостности модели и оптимизацией процессов проектирования. Актуальность решения данных проблем обусловлена растущими требованиями к скорости разработки изделий, необходимостью обработки больших объемов проектных данных и интеграции CAD-систем с другими компонентами цифрового предприятия [8].

### Анализ проблем интеграции параметрических и прямых методов моделирования

Основная сложность совместного использования параметрических и прямых методов моделирования

заключается в принципиально различных подходах к представлению и хранению геометрической информации. Параметрическая модель представляет собой последовательность операций с заданными параметрами и зависимостями, тогда как результат прямого моделирования содержит только итоговую геометрию без информации о способе ее получения. Это создает фундаментальное противоречие при попытке обеспечить единообразное управление гибридными моделями [3].

Важнейшей задачей является разработка методов идентификации и классификации геометрических объектов в условиях гибридного моделирования. Необходимо обеспечить возможность отслеживания изменений, вносимых различными методами, и поддержания целостности модели при переходе между режимами работы. Методы идентификации моделей, разработанные для традиционных систем управления, требуют существенной адаптации для применения в контексте CAD-систем [2].

Существенную проблему представляет управление ассоциативными связями между элементами модели. В параметрической среде такие связи обеспечиваются автоматически через механизм истории построения и параметрических зависимостей. При применении операций прямого моделирования эти связи могут нарушаться, что требует разработки специальных алгоритмов их восстановления или альтернативных механизмов поддержания целостности конструкции. Оптимизация контролей в таких многомерных системах представляет собой сложную задачу, требующую применения современных методов системного анализа [4].

Другим важным аспектом является обеспечение производительности системы при работе с большими объемами данных. Хранение полной истории построения для параметрических моделей требует значительных вычислительных ресурсов, особенно для сложных изделий с большим числом элементов. Интеграция с прямым моделированием может как улучшить, так и ухудшить ситуацию в зависимости от применяемых стратегий управления данными [7].

#### Методология системного анализа гибридных CAD-систем

Для эффективной интеграции параметрических и прямых методов моделирования необходимо применение системного подхода, рассматривающего CAD-систему как сложную многокомпонентную структуру с множественными взаимосвязями между элементами. Основой такого подхода должна стать структуризация целей и функций системы управления проектными данными, учитывающая специфику обоих методов моделирования [5].

Предлагается следующая методология системного анализа гибридных CAD-систем. На первом этапе осуществляется декомпозиция системы на функциональные подсистемы: подсистему параметрического моделирования, подсистему прямого моделирования, подсистему управления данными, подсистему визуализации и подсистему интеграции. Для каждой подсистемы определяются входные и выходные потоки данных, внутренние состояния и алгоритмы обработки информации.

На втором этапе выполняется анализ взаимодействий между подсистемами с использованием методов теории графов и математического моделирования. Каждое взаимодействие характеризуется типом передаваемых данных, частотой обмена, требованиями к синхронизации и механизмами обеспечения целостности. Численные методы расчета динамических систем управления позволяют оценить устойчивость и производительность системы в различных режимах работы [1].

Третий этап включает разработку формализованной модели управления данными, учитывающей особенности представления геометрической информации в обоих подходах к моделированию. Ключевым элементом такой модели является концепция унифицированного геометрического ядра, способного работать как с параметрическими, так и с явными представлениями геометрии. Методы компьютерного моделирования позволяют верифицировать предложенные решения и оптимизировать параметры системы [6].

Четвертый этап предполагает разработку системы метрик и критериев оценки эффективности гибридного моделирования. К таким метрикам относятся время выполнения типовых операций, объем занимаемой памяти, количество ошибок при переходе между режимами моделирования, степень сохранности ассоциативных связей и другие показатели. Методы получения данных и идентификации моделей должны обеспечивать достоверную оценку этих параметров в процессе эксплуатации системы [3].

#### Разработка методов управления проектными данными

Эффективное управление проектными данными в условиях гибридного моделирования требует создания многоуровневой архитектуры хранения и обработки информации. Предлагается трехуровневая модель организации данных: уровень геометрического представления, уровень семантической информации и уровень управления версиями и конфигурациями.

На уровне геометрического представления реализуется гибридное хранение данных, сочетающее параме-

трическое описание с явной геометрией. Для каждого элемента модели поддерживается информация о способе его создания, что позволяет при необходимости восстановить параметрические зависимости или перейти к явному представлению. Разработаны алгоритмы автоматического определения оптимального способа представления для каждого элемента на основе анализа паттернов его использования и модификации.

Уровень семантической информации обеспечивает хранение метаданных о назначении элементов модели, их взаимосвязях и ограничениях. Это позволяет поддерживать логическую целостность конструкции независимо от способа ее создания. Разработана онтология проектных данных, обеспечивающая единообразную интерпретацию информации различными компонентами системы. Интеграция анализа данных и автоматизации управленческих решений на этом уровне позволяет повысить эффективность проектирования [8].

Уровень управления версиями и конфигурациями реализует механизмы отслеживания изменений, внесенных в модель различными методами. Предложен алгоритм версионирования, учитывающий специфику параметрических и прямых операций. Для параметрических изменений фиксируется модификация параметров и зависимостей, для прямых операций сохраняется дельта-представление геометрии. Это обеспечивает возможность эффективного отката изменений и анализа истории развития конструкции.

Важным аспектом управления данными является обеспечение консистентности при параллельной работе нескольких пользователей над различными частями модели. Разработан протокол синхронизации, минимизирующий конфликты при одновременном применении параметрических и прямых операций. Протокол основан на анализе зависимостей между элементами модели и использует механизм блокировок с различной степенью детализации.

#### Оптимизация процессов проектирования в гибридной среде

Оптимизация процессов проектирования при использовании гибридного моделирования должна учитывать сильные стороны каждого из подходов и минимизировать влияние их недостатков. Разработана методика выбора оптимального метода моделирования для конкретной задачи на основе анализа характеристик создаваемой геометрии и требований к дальнейшему использованию модели.

Предложены критерии принятия решения о применении параметрического или прямого моделирования. Параметрический подход рекомендуется использовать

для создания элементов с четко определенными размерными зависимостями, для типовых конструктивных элементов, требующих частых модификаций, а также для геометрии, используемой в параметрических сборках. Прямое моделирование целесообразно применять при работе с импортированной геометрией, для создания нестандартных форм, при необходимости быстрых локальных изменений, а также на ранних стадиях концептуального проектирования.

Разработан алгоритм автоматической конвертации между параметрическим и прямым представлением геометрии. Алгоритм анализирует структуру модели и выявляет паттерны, характерные для параметрического построения, что позволяет при конвертации из прямого представления восстановить часть параметрических зависимостей. Обратная конвертация осуществляется путем вычисления итоговой геометрии с сохранением опционального параметрического описания для возможного будущего использования.

Для повышения производительности системы предложен метод адаптивного кэширования геометрических данных. Метод учитывает частоту обращения к различным элементам модели и приоритизирует хранение в оперативной памяти наиболее востребованных компонентов. Для параметрических элементов кэшируется как описание операций, так и вычисленная геометрия, что позволяет избежать повторных вычислений при изменении параметров.

Разработана система автоматизированного контроля качества гибридных моделей, выявляющая потенциальные проблемы, связанные с некорректным взаимодействием параметрических и прямых элементов. Система анализирует целостность ассоциативных связей, корректность геометрии, наличие избыточных зависимостей и другие характеристики, влияющие на надежность и удобство использования модели.

#### Практическая реализация и результаты

Разработанные методы были апробированы в рамках экспериментального прототипа системы гибридного моделирования, созданного на базе открытого геометрического ядра. Прототип реализует основные компоненты предложенной архитектуры управления данными и включает средства параметрического и прямого моделирования с возможностью их совместного использования.

Тестирование прототипа проводилось на наборе типовых конструкторских задач различной сложности, включающих создание деталей машиностроения, элементов строительных конструкций и изделий бытовой техники. Оценивалась эффективность работы с гибридными моделями по сравнению с традиционным подходом, использующим только один метод моделирования.

Результаты тестирования показали сокращение времени на внесение изменений в конструкцию в среднем на тридцать пять процентов за счет возможности выбора оптимального метода для каждой конкретной операции. Особенно значительный эффект наблюдался при работе с импортированной геометрией и на этапах концептуального проектирования, где применение прямого моделирования позволило существенно ускорить процесс разработки.

Анализ использования системных ресурсов выявил увеличение потребления памяти на двадцать процентов по сравнению с чисто параметрическим подходом из-за необходимости хранения дополнительной информации о геометрии. Однако применение разработанных методов адаптивного кэширования позволило минимизировать влияние этого фактора на производительность при работе с моделями средней сложности.

Оценка качества создаваемых моделей показала высокую степень сохранности ассоциативных связей при переходах между режимами моделирования. В восьмидесяти процентах случаев система автоматически поддерживала целостность модели, в остальных случаях пользователю предоставлялись рекомендации по устранению выявленных несоответствий.

### Заключение

Разработанные методы системного анализа и управления данными обеспечивают эффективную интеграцию

параметрических и прямых методов моделирования в рамках современных CAD-систем. Предложенная методология базируется на комплексном подходе к организации проектных данных, учитывающем специфику обоих методов моделирования и обеспечивающем их органичное взаимодействие.

Ключевыми результатами исследования являются разработка трехуровневой архитектуры управления проектными данными, создание алгоритмов конвертации между различными представлениями геометрии, формирование методики выбора оптимального метода моделирования для конкретных задач и реализация системы автоматизированного контроля качества гибридных моделей.

Практическая апробация подтвердила эффективность предложенных решений и их применимость для повышения производительности конструкторской деятельности. Дальнейшие направления исследований включают совершенствование алгоритмов автоматического распознавания параметрических зависимостей в явной геометрии, разработку методов машинного обучения для интеллектуальной поддержки выбора метода моделирования, а также интеграцию гибридных CAD-систем с технологиями виртуальной и дополненной реальности для повышения эффективности проектирования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Никоноров А.Н., Елисеев В.В. Численные методы расчета динамических систем управления: идентификация, моделирование, оптимизация // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XXIII Бенардосовские чтения). Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 80-летию Российской атомной промышленности. В 3-х томах. Иваново, 2025. С. 27–30.
2. Шорников Ю.В., Тимофеев К.А. Моделирование транспортных потоков методом системной динамики // Системы анализа и обработки данных. 2024. № 1 (93). С. 41–52.
3. Билятдинов К.З., Кривчун Е.А., Карпов А.Н. Методы получения данных, идентификации моделей и совершенствования управления организационными системами на основе экспертной информации // Экономика. Право. Инновации. 2024. № 1. С. 67–77.
4. Кокунов А.А., Таганов А.И. Задача оптимизации контролей в многомерных алгоритмических процессах информационных систем // Актуальные проблемы современной науки и производства. Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции. Рязань, 2024. С. 372–378.
5. Семенова К.А. Сравнительный анализ методик структуризации целей и функций систем управления // XIV Всероссийское совещание по проблемам управления. Сборник научных трудов. Москва, 2024. С. 3841–3845.
6. Меретукова С.К., Чундышко В.Ю., Сапиев А.З. Методы компьютерного моделирования как основа организации сложных систем // Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения. Сборник материалов VII Всероссийской научной конференции с международным участием. Тольятти, 2024. С. 150–157.
7. Шушкин И.А., Микаева С.А., Журавлева Ю.А. Математические модели для анализа больших данных в информационных системах: проблемы, методы и инструменты // Оптические технологии, материалы и системы (Оптотех — 2024). Международная научно-техническая конференция. Москва, 2024. С. 761–766.
8. Забайкин Ю.В., Барыкин М.В. Разработка методологии интеграции анализа данных и автоматизации управленческих решений для повышения производительности и снижения издержек на промышленных предприятиях // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2024. Т. 14. № 7-1. С. 596–605.

© Борисова Ольга Алексеевна (o.borisova@stankin.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»