

## Анализ геометрических ядер

Д. В. Цымбал, email: paranoidts@yandex.ru

А. Н. Юров, email: kitp@vorstu.ru

С. А. Степаненко, email: st.0811@yandex.ru

Воронежский государственный технический университет

***Аннотация.** в данной статье рассмотрены технологии трехмерного моделирования для реализации задач САПР в виде самостоятельных решений на основе геометрических ядер. В работе производится анализ предполагаемых программных компонентов для разработки геометрических моделей, которые получаются при задании пользователем определенных данных с использованием библиотек программного интерфейса API.*

***Ключевые слова:** приложение API, геометрическое ядро Parasolid, геометрическое ядро C3D, геометрическое ядро Open Cascade.*

### Введение

В настоящее время можно наблюдать тенденцию развития компьютерной графики, которая находит применение в различных отраслях промышленности, научно-исследовательских организациях и в ряде учебных заведений. Одним из направлений в компьютерной графике является подготовка инженерных систем по автоматизации проектирования (САПР). Создание геометрических моделей проектируемого изделия имеет первоочередное значение в САПР, так как в ней есть необходимость при любых операциях, начиная от инженерного анализа и заканчивая конструкторской документацией. Основой каждой системы моделирования является геометрическое ядро, представляющее собой набор программных средств для работы с моделью или ее составляющими. При этом архитектура ядра гарантирует интеграцию между приложением САПР и низкоуровневыми компонентами геометрического функционала, создавая некоторую гибкость для приложения, стабильную работу при возникновении ошибок и достаточное быстродействие. При моделировании с использованием функциональных возможностей геометрических ядер создаются как твердотельные объекты, так и их топологические элементы. В режиме работы с эскизами предоставляется возможность создать такие геометрические примитивы, как: точка, прямая, а также

некоторые типы кривых. Геометрические ядра содержат программные реализации для вычислительных процессов, касающиеся инженерного анализа и использования обменных форматов данных. В работе приводятся сведения по тестированию геометрических ядер для простых операций твердотельного моделирования с получением программного кода, который может быть использован в образовательном процессе при разработке учебных САПР. Кроме того, рассматривается инструментальное программное обеспечение для разработки инженерных программ, в которых планируется применение библиотек и решений на основе геометрических ядер. В статье рассмотрены методы реализации программных средств, использующих геометрические ядра Parasolid, C3D и Open Cascade.

### **1. Геометрическое ядро Parasolid**

Для реализации инновационных трехмерных решений с уникальными возможностями и многозадачностью моделирования, разработчики приложений выбирают одну из первых технологий ядра трехмерного геометрического моделирования - программное обеспечение Siemens Parasolid. [1]

Геометрическое ядро Parasolid является базовым в мировой практике программным обеспечением, которое создает определенные геометрические трехмерные модели. Данный программный продукт предлагает основной функционал, который дает возможность потребителям оперативно и точно создавать модели различного предназначения для самого широкого спектра областей применения. Parasolid базируется на технологиях высокоточного представления границ, тем самым обеспечивает твердотельное моделирование, моделирование поверхностей и уникальную функциональность 3D-моделирования, сочетая в себе промышленную совместимость с производством, а также наработанный годами опыт поддержки программного обеспечения.

Однако геометрическое ядро Siemens является коммерческим и позиционирует свой продукт на рынке как основное ядро для выбора поддержки лидирующих крупнейших фирм при разработке приложений. NX и Solid Edge от Siemens, SOLIDWORKS от Dassault Systemes и Workbench от ANSYS являются продуктами, которые полностью построены на решениях ядра Parasolid для решения инженерных задач в разных отраслях производства.

Использование функциональности ядра Parasolid для создания собственного приложений может являться достаточно трудоемким процессом без помощи поддержки компании-производителя ядра. Parasolid имеет множество процессов проектирования и предоставляет

свои возможности через единый интерфейс, который ограничен по доступу к содержанию полной и исчерпывающей справочной документацией, необходимой для выполнения определенных задач по причине закрытого коммерческого программного обеспечения. Несмотря на это, такая согласованность предоставляет свободу структурировать собственный код приложения так, как удобнее пользователю, без необходимости что-либо изменять из-за определенных требований, налагаемых интеграцией с Parasolid.

Чтобы начать применение кода в С# необходимы настроить приложения SlimDX и Оболочка OpenGL – OpenTK, которая используется для отображения моделей.

Для создания функции, например, выдавливания воспользуемся следующим кодом:

Листинг 1

### *Выдавливание в Parasolid*

```
PK_BODY_extrude(PK_BODY_t profile, PK_VECTOR1_t path, const
PK_BODY_extrude_o_t * options, PK_BODY_t * const body,
PK_TOPOL_track_r_t * const tracking, PK_TOPOL_local_r_t *
const results)
```

Рассмотрим вышеуказанную функцию. Profile – профиль эскиза, благодаря которому будет произведено выдавливание, path – направление выдавливания, options – структура параметров, body – получение выдавленного тела, tracking – определение местоположения, results – получение результата.

Рабочие примеры кода на С ++ и С # предназначены для помощи пользователю в вызове многих часто используемых API-интерфейсов Parasolid. Благодаря данным примерам можно быстро узнать, как вызвать конкретный API, понять функционал о его наиболее полезных параметрах. Логическая группировка по функциональности обеспечивает простую для просмотра иерархию, позволяющую быстро находить определенные части кода, относящиеся к конкретному сценарию использования. На рисунке 1 изображен программный интерфейс Parasolid.

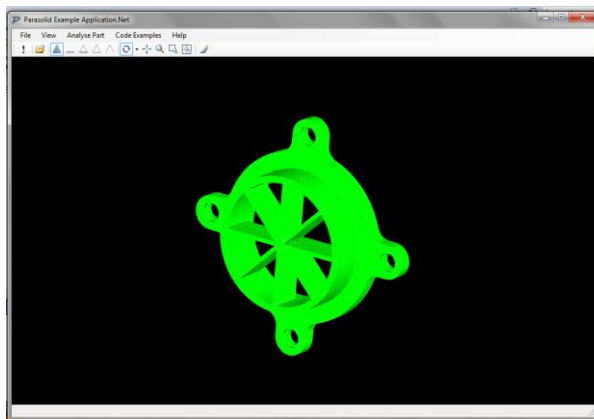


Рис. 1. Приложение Parasolid

## 2. Геометрическое ядро C3D

АСКОН является основной российской компанией по разработке программного обеспечения для систем автоматизированного проектирования. C3D Labs представляет собой дочернюю компанию АСКОН, разрабатывающая программный продукт C3D, который представляет полнофункциональное геометрическое ядро, включающее набор инструментов трехмерного моделирования, применяемое в главном продукте АСКОН - КОМПАС-3D, в том числе и в самых различных системах САПР.

C3D представляет набор специальных средств для разработки программного обеспечения, который выполняет функции построения, редактирования, визуализации и конвертации геометрических моделей.

Данное программное обеспечение позволяет создавать геометрические модели, производит различные геометрические вычисления и образует связи между элементами геометрических моделей.

C3D производит выполнение многих геометрических расчетов, которые нужны для проектирования 2D-эскизов и 3D-моделей. Граничное представление геометрии используется для описания формы моделируемого объекта, в этом случае модель формируется из трехмерных объектов, которые проектируются по средством поверхностей и кривых.[2]

Геометрические ограничения создаются при помощи связи элементов модели и функционируют с двумерными и трехмерными объектами геометрической модели. Условия, наложенные на элементы

модели, выраженные с помощью уравнений и неравенств, являются геометрическими ограничениями, которые позволяют редактировать модель, создавать подобные модели, сборочные единицы и моделировать механизмы. Также существует возможность получения полигонального представления геометрии, помимо граничного представления модели. Разработка полигональной модели производится на основании граничного представления посредством триангуляции. Полигональные модели представляют собой аппроксимационные объекты, которые состоят из отдельных полигонов, используемые для расчётов и визуализации модели.

Методы, их последовательность и необходимые исходные данные для построения объектов хранятся в журналах построения геометрической модели. При помощи журнала построения появляется возможность редактировать геометрическую модель и перестраивать с новыми данными.

В топологических элементах объектов модели, а именно в гранях, ребрах и вершинах, хранится информация о геометрии в виде поверхностей, кривых и точек. В виде атрибутов допускается хранение дополнительной информации для определенного элемента модели и в общем всего объекта.

Открытая архитектура представляет собой одно из главных особенностей ядра C3D, позволяющая увеличить базовые возможности функционала.

Для построения тела выдавливания воспользуемся следующим методом:

Листинг 2

### *Выдавливание в C3D*

```
ExtrusionSolid ( const MbSweptData & sweptData, const
MbVector3D & direction, const MbSolid * solid1, const MbSolid
* solid2, bool checkIntersection, ExtrusionValues & params,
const MbSNameMaker & names, PArray<MbSNameMaker> & cnames,
MbSolid *& result )
```

Рассмотрим параметры метода.

sweptData – данные об образующих кривых, direction – направление выдавливания, solid1 – опция «До ближнего объекта» в прямом направлении, solid2 – опция «До ближнего объекта» в обратном направлении, checkIntersection – параметр для объединения тел solid1 и solid2 с проверкой пересечения, params – параметры построения, names – именование граней, cnames – именование сегментов образующих кривых, result – выходной параметр метода для построения тела. [3]

Важнейшей особенностью геометрического ядра C3D является необязательное минимальное лицензионное отчисления, что дает возможность создания как малобюджетного, так и бесплатного программного обеспечения. Также главным преимуществом можно считать то, что данный продукт разрабатывается в России, что представляет собой значительное повышение конкурентоспособности отечественного производителя и играет большую роль при импортозамещении. На рисунке 2 показан программный интерфейс C3D.

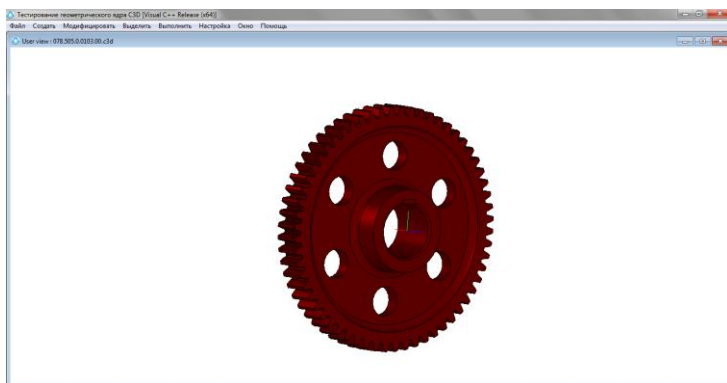


Рис. 2. Приложение C3D

### 3. Геометрическое ядро Open Cascade

Open Cascade позволяет выполнить реализацию модуля 3D моделирования с минимальными трудозатратами. Помимо этого, открытый исходный код дает возможность наибольшему количеству пользователей Open Cascade принимать участие в развитии данного программного обеспечения, позволяя добавлять свой функционал, который повышает возможности по улучшению вышеуказанного продукта.[4]

Open Cascade дает большое преимущество для создания бесплатного программного обеспечения. Бытует мнение, что бесплатные геометрические ядра является менее качественными, чем коммерческие продукты, именно поэтому при их внедрении в производстве могут возникать различные проблемные ситуации: начиная от малой надежности до сравнительно низкой интерактивности. На самом деле в реальности происходит все несколько иначе в зависимости от ситуации. Библиотека Open Cascade, удачно объединяет в одном целом достаточно

длительный промышленный срок существования и высокую конкурентоспособность геометрических вычислений.

При рассмотрении основных функций Open Cascade, акцентируя внимание на главных компонентах ядра, следует отметить, что хотя в определенных нюансах библиотека Open Cascade уступает некоторым коммерческим аналогам, она содержит ряд значительных преимуществ, а именно:

Промышленная надежность — за длительное время эксплуатации библиотека Open Cascade достаточно много раз применена в проектах разработки различных приложений в самых разнообразных видах промышленности, а именно в самолетостроении, космонавтике, агропромышленности, машиностроении, кораблестроении, и в других индустриальных отраслях.

В итоге полученных опытных наработок появилась постоянно совершенствуемая база нерегрессионных испытаний.

Большим преимуществом является то, что в открытом программном обеспечении код библиотеки предоставлен в полном распоряжении программиста, что позволяет разработчику достаточную независимость от компании-поставщика.

Open Cascade представляет собой библиотеку геометрического моделирования, иначе говоря, геометрическое ядро. Open Cascade использует граничное предоставление (B-Rep) для трехмерных моделей. При этом в таком представлении основными понятиями являются геометрия и топология, которые рассматриваются в ограниченном определении. Например, под геометрией традиционно следует понимать математическое описание формы, в виде кривых и поверхностей Безье, NURBS-представления и тому подобное, а топология представляет собой структуру данных, которая позволяет соединять геометрические объекты в одно целое. Данный аспект приравнивает библиотеку к таким продуктам как Parasolid и C3D. [5]

Для создания проекта Open Cascade необходимо настроить нужные компоненты вместе со сборкой, а именно: FreeImage, FreeType, VTK, TCL/TLK.

Чтобы выполнить выдавливание воспользуемся функцией `BRepPrimAPI_MakePrism`, в которой нужно указать поверхность для выдавливания, направление и расстояние выдавливания.

В ближайшее время Open Cascade целенаправленно усиленно работает для известности своего ядра. В связи с тем, что в продукте имеется открытый исходный код, а его публикация прошла уже достаточно давно, то само собой разумеется, что большое количество пользователей может принимать участие в развитии ядра.

Также необходимо подчеркнуть, что библиотека Open Cascade доступна под лицензией GNU/LGPL. При этом пользователь имеет свободный доступ к использованию этого ядра в любом приложении, не раскрывая исходного кода. Программный интерфейс Open Cascade представлен на рисунке 3.

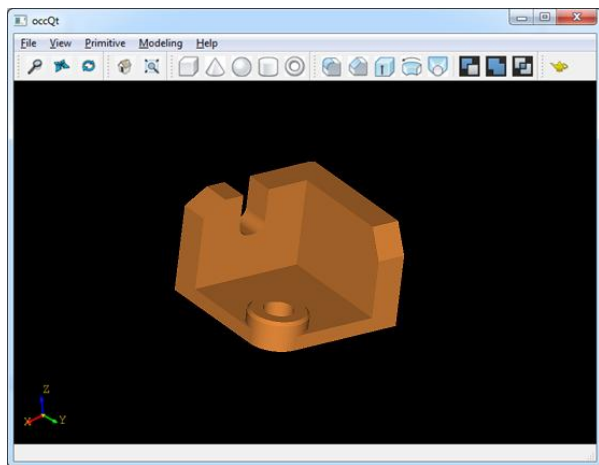


Рис. 3. Приложение Open Cascade

### Заключение

Были проанализированы геометрические ядра Parasolid, Open Cascade и C3D. В ходе проведенного анализа были изучены сравнительные свойства каждого из ядер, рассмотрены основные преимущества и особенности работы. Каждое из геометрических ядер имеет как свои достоинства, так и недостатки. Определенные из них имеют свои экономические выгоды, такие, как общедоступность для применения и развитие проекта за счет сообщества, но при приобретении проприетарного программного обеспечения также имеется возможность поддержки производителя. Представленные в работе приложения, использующие геометрические ядра можно использовать в промышленных целях в зависимости от вида разрабатываемых объектов. В целом, все рассмотренные ядра являются вполне конкурентоспособными и рентабельными программными продуктами, которые достойны внимания самого широкого круга пользователей в различных отраслях, соразмерно финансовой состоятельности тех лиц, которые будут их использовать по назначению и потребности в применении.



### Список литературы

1. Parasolid brochure - Siemens PLM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.plm.automation.siemens.com/en\\_us/Images/3847\\_tcm1023-7382.pdf](https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/3847_tcm1023-7382.pdf)
2. Геометрическое ядро - C3D Modeler [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://c3dlabs.com/ru/products/c3d-toolkit/modeler/>
3. C3D Toolkit: Построение тел [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://c3d.ascon.ru/doc/math/group\\_\\_solid\\_\\_modeling.html](https://c3d.ascon.ru/doc/math/group__solid__modeling.html)
4. Абросимов С.Н. Основы компьютерной графики САПР изделий машиностроения (MCAD): учебное пособие/ С.Н. Абросимов// Балт. гос. техн. ун-т. – Спб., 2014. С. 19-21.
5. Еремин И.А. Open CASCADE - инструмент для разработки системы автоматизированного проектирования/ И.А. Еремин, В.А. Рыжков, А.А. Килина// Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Т. 8. № 12-2. С. 82-85.