C3D Labs

C3D

Руководство разработчика

ОГЛАВЛЕНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Общие сведения

C3D представляет собой программный продукт, включающий в себя геометрическое ядро, параметрическое ядро, конвертер, модули визуализации и преобразования геометрических моделей.

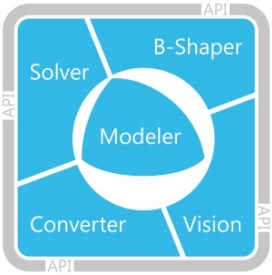
C3D предназначен для использования в системах автоматизированного проектирования в качестве программного компонента.

C3D сосредотачивает в себе программную реализацию математических методов построения численных моделей геометрии реальных и воображаемых объектов, а также математических методов обслуживания этих моделей. Численные модели используются в системах, выполняющих проектирование (Computer Aided Design), расчёты (Computer Aided Engineering) и производство (Computer Aided Manufacturing) моделируемых объектов. Численные модели геометрии реальных и воображаемых объектов называют геометрическими моделями.

Геометрическая модель содержит описание формы моделируемого объекта и описание связей элементов модели. Кроме того, в геометрическую модель включают историю её построения, хранящую способы и последовательность построения модели, а элементы геометрической модели наделяют атрибутами, несущими информацию о физических, технологических и других свойствах элементов.

Структура и отличительные особенности

C3D состоит из пяти модулей, приведённых на рисунке: геометрического ядра C3D Modeler, параметрического ядра C3D Solver, модуля обмена данными C3D Converter, модуля визуализации C3D Vision и C3D B-Shaper, осуществляющего преобразование полигональных моделей в твердотельные с граничным представлением (B-Rep).



Геометрическое ядро C3D Modeler выполняет построение геометрической модели, редактирование модели путем изменения ее внутренних данных, построение триангуляции, вычисление инерционных характеристик модели, построение плоских проекций модели, определение столкновений элементов модели.

Параметрическое ядро C3D Solver обеспечивает взаимосвязь элементов геометрической модели, что позволяет редактировать модель, синхронно изменяя ее элементы, строить подобные модели, моделировать механизмы.

C3D Converter осуществляет обмен информацией о геометрической модели с другими системами.

Модуль визуализации C3D Vision осуществляет качественную визуализацию геометрической модели и обеспечивает взаимодействие с интерфейсом инженерного ПО.

C3D B-Shaper преобразует полигональные модели в твердотельные с граничным представлением.

Наличие в одном программном продукте геометрического ядра, параметрического ядра и конвертера является одной из отличительных особенностей C3D.

C3D API

Все модули C3D предоставляют программные интерфейсы (API) для использования их функциональности в инженерном приложении, которые состоят из констант, перечислений, функций, структур, классов.

Особенностями C3D API являются открытость и расширяемость. C3D предоставляет прямой доступ к объектам, что позволяет расширить функциональность за счет наследования от объектов C3D.

Кроме того, важной особенностью C3D API является его стабильность и обратная совместимость. Стабильность означает, что API не должен сильно меняться в течение как можно более длительного периода времени. Обратная совместимость означает, что код, написанный с использованием предыдущей версии, функционально работает так же, как и со следующей версией API.

Для случаев, когда возникает необходимость модифицировать существующий интерфейс, существует четкая процедура замены его на новый интерфейс, направленная в первую очередь на поддержание удобства использования API пользователями.

Интерфейс, который необходимо изменить, объявляется устаревшим с помощью макросов DEPRECATE_DECLARE и DEPRECATE_DECLARE_REPLACE, определенных в файле math_x.h. Эти макросы отображают предупреждающее сообщение при компиляции кода, использующего устаревшую функцию. Кроме того, на платформе Windows выданное предупреждение содержит информацию о сроках удаления устаревшего интерфейса, а макрос DEPRECATE_DECLARE_REPLACE дополнительно указывает интерфейс, который заменяет устаревшую функцию.

Выполняемые функции

Геометрическое ядро C3D Modeler строит геометрическую модель, которая содержит: описание формы моделируемого объекта, описание связей элементов геометрической модели, историю построения модели, атрибуты элементов геометрической модели.

Для описания формы моделируемого объекта геометрическое ядро C3D Modeler использует граничное представление (Boundary Representation). Геометрическое ядро C3D Modeler поддерживает также полигональное представление (Polygonal Representation). Для построения геометрической модели используются методы твердотельного моделирования (Solid Modeling), методы поверхностного моделирования (Surface Modeling), методы прямого моделирования (Direct Modeling) и методы моделирования из листового металла (Sheet Metal Modeling).

Используемые для построения модели методы, их последовательность и необходимые исходные данные хранятся в журнале построения. Журнал построения позволяет редактировать геометрическую модель путем полного перестроения модели с новыми параметрами.

Дополнительная информация об элементах геометрической модели хранится в атрибутах. Атрибутами снабжены объекты геометрической модели, а также отдельные элементы этих объектов.

Геометрическое ядро C3D Modeler выполняет построение полигональной модели по ее граничному представлению. Полигональная модель строится путем триангуляции элементов геометрической модели и используется для визуализации и расчетов. Кроме того, геометрическое ядро C3D Modeler выполняет построение плоских проекций геометрической модели (Mapping), вычисление инерционных характеристик геометрической модели (Inertia Properties), определение столкновений элементов модели (Collision Detection).

Параметрическое ядро C3D Solver налагает вариационные связи на элементы геометрической модели. Эти связи называют геометрическими ограничениями (Geometric Constraints). Геометрические ограничения работают с трехмерными и двумерными объектами геометрической модели. Геометрические ограничения представляют собой условия, наложенные на элементы модели, выраженные с помощью уравнений. Геометрические ограничения позволяют создавать сборочные единицы путем наложения зависимостей на составляющие ее детали. Размеры одной или нескольких деталей можно связать уравнениями, что даст возможность синхронно редактировать элементы геометрической модели. Если связать почти все степени свободы геометрической модели и описать закон изменения для оставшихся степеней свободы, то можно привести в движение геометрическую модель и смоделировать механизм.

Модуль C3D Converter обеспечивает обмен данными с другими системами путем чтения и записи геометрической модели в форматах STEP, IGES, SAT (ACIS), X_T, X_B (Parasolid), STL, VRML, JT. Форматы STEP, IGES, SAT, X_T, X_B передают геометрическую модель в граничном представлении, форматы STL и VRML передают геометрическую модель в полигональном представлении, формат JT передает геометрическую модель в гибридном представлении.

Модуль визуализации C3D Vision отвечает за визуальное отображение геометрических моделей и функционирование графического интерфейса инженерного приложения. Компонент управляет качеством отрисовки геометрических моделей, используя математические, программные и аппаратные средства, вследствие чего повышается скорость работы программного обеспечения с большими сборками. Применение C3D Vision в разработке открывает ряд новых возможностей для управления трёхмерными сценами, позволяет задействовать готовое дерево построения 3D-моделей, анимацию, интерактивные средства манипуляции со сценой, действующие в режиме «пользователь-компьютер», а также виртуальные устройства, являющиеся неотъемлемой частью современного интерфейса инженерного ПО.

Модуль C3D B-Shaper преобразует полигональные модели в твердотельные с граничным представлением (B-Rep). В результате выполнения алгоритмов пользователь может редактировать полученную модель привычными инструментами CAD-системы, значительно уменьшив сложность и объем данных.

Теоретические основы

Граничное представление, с которым работает C3D, даёт точное описание геометрической формы моделируемого объекта. Для описания геометрической формы C3D использует набор граней, проходящих по границе, отделяющей внутреннее пространство моделируемого объекта от остальной части пространства. Грани представляют собой криволинейные поверхности, стыкующиеся друг с другом по своим краям. Края граней могут иметь сложную форму. Формирование и стыковка граней выполняются во время построения модели. Это обеспечивают методы построения модели и организация данных в C3D.

Геометрические ограничения, описывающие связи элементов модели и прочие условия, формулируются в виде уравнений. Для поиска решения, удовлетворяющего уравнениям, параметрическое ядро C3D Solver использует вариационный подход. Вариационный подход обеспечивает равноправие всех геометрических ограничений.

С помощью триангуляции граничное представление позволяет построить полигональное представление модели, которое используется для визуализации и геометрических расчётов. Полигональные объекты состоят из треугольных и четырёхугольных пластин, аппроксимирующих грани, и ломаных, аппроксимирующих рёбра. Триангуляция в геометрическом ядре C3D Modeler выполняется по принципу Делоне в плоскости параметров поверхностей.

Для кривых и поверхностей геометрическое ядро C3D Modeler может создать NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline) копии. NURBS - объекты используются для прямого моделирования и для обмена данными, когда отсутствует прямое соответствие между объектами C3D и объектами обменных форматов..

Применяемые в C3D математические объекты, методы и алгоритмы приведены в книге Голованова Н.Н. «Геометрическое моделирование», Москва, Курс, Инфра-М, 2016, http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=520536 и в книге «Geometric Modeling», Nikolay Golovanov, http://www.amazon.com/Geometric-Modeling-The-mathematics-shapes/dp/1497473195.

Комплектация

В комплект поставки C3D входят: библиотечные файлы c3d.lib, c3d.dll, libc3d.so, libc3d.dylib и набор заголовочных файлов Include/*.h. В операционной системе Windows библиотечные файлы собраны в конфигурациях 32bit/64bit, ISO/Unicode, Debug/Release в средах разработки VisualStudio 2012, VisualStudio 2013, VisualStudio 2015, VisualStudio 2017 и VisualStudio 2019. В операционной системе Linux библиотечные файлы собраны компиляторами GCC и CLang в конфигурациях 64bit, Unicode, Debug/Release. В операционной системе Mac OS библиотечные файлы собраны

компилятором Clang в конфигурациях 64bit, Unicode, Debug/Release. В операционной системе FreeBSD файлы библиотеки собраны компилятором Clang в конфигурациях amd64, Unicode/Multibyte, Release/Debug.

По заголовочным файлам Include/*.h сгенерирована документация C3D в виде *chm файлов. Заголовочные файлы содержат описание объектов и методов C3D на русском и английском языках. Описание объектов и методов C3D также приведено в данном руководстве. В файле Changes.txt приведены изменения интерфейса программного продукта.

В комплект поставки входит обертка для C3D, позволяющая использовать технологию .NET при разработке приложений на языке C#.

Вместе с C3D поставляется приложение test.exe для системы Windows, демонстрирующее возможности C3D, исходные тексты этого приложения, файл CMakeLists.txt для генерации проекта приложения и набор файлов с моделями.

После запуска приложения test.exe необходимо ввести ключ и сигнатуру, выбрав в меню: Помощь->Лицензионный_ключ, Сигнатура.

Тестовое приложение

Готовое тестовое приложение test.exe вместе с c3d.dll для системы Windows располагается в каталоге Example/Demo.

Файлы Test.vcxproj и Test.vcxproj.filters содержат проект тестового приложения геометрического ядра C3D для Microsoft VisualStudio 2015.

Проект тестового приложения в различных средах разработки можно создать с помощью системы Cmake. Для создания проекта и компиляции тестового приложения требуется выполнить следующие действия:

1. Создать тестовый каталог (например, TestApp) в удобном для работы месте.
2. Выбрать в каталоге «C3D» архив, соответствующий используемой среде разработки.
3. Скопировать каталоги <Include>, <Debug> и <Release> из выбранного архива в тестовый каталог.
4. Скопировать каталог <Source> из архива «Example» в тестовый каталог.
5. Убедиться, что в тестовом каталоге (TestApp) находятся папки: <Debug>, <Include>, <Release> и <Source>.
6. Установить CMake, выбрав в процессе установки опцию «Add CMake to the system PATH for all users».
7. Создать проект тестового приложения, выполнив следующие действия:
   Запустить CMake, который сгенерирует проект по файлу CMakeLists.txt.
   Для «Where is the source code» указать каталог <path_to_testapp>\TestApp\Source.
   Для «Where to build the binaries» указать каталог <path_to_testapp>\TestApp\Build.
   Нажать кнопку **Configure** для конфигурирования проекта.
   На запрос «Create Directory» подтвердить согласие на создание каталога <path_to_testapp>\TestApp\Build.
   По запросу «Specify the generator for this project» указать соответствующую версии C3D конфигурацию среды разработки.
   Нажать кнопку **Generate** для генерации файлов проекта.
8. Запустить созданный проект TestApp\Build\Test.sln тестового приложения в среде разработки.
9. Для активации C3D перед компиляцией необходимо изменить вызов метода EnableMathModules(...) в конструкторе объекта «Manager» в файле test_manager.cpp с реальными ключом и сигнатурой.
10. После компиляции необходимо запустить созданное тестовое приложение test.exe из каталога TestApp\Debug или TestApp\Release, соответственно.

Указанные выше действия описаны в файле readme.txt.

Разработка в среде .NET

C3D может работать в среде .NET. Для разработки приложений в среде .NET следует использовать обертку, входящую в комплект поставки C3D.

Обертка для C3D представляет собой dll-файл NetC3D.dll, собираемый на платформе .NET Framework4.5.2 в конфигурациях 32bit/64bit, Debug/Release и средах разработки VisualStudio2012, VisualStudio2013, VisualStudio2015. Библиотека скомпилирована с поддержкой подписи «Strong Name».

Для использования C3D в приложениях, разрабатываемых на C#, нужно выполнить следующие действия:

1. Выбрать из комплекта C3D файл NetC3D.dll нужной конфигурации: 32bit/64bit, Debug/Release в одной из сред разработки: VisualStudio2012/VisualStudio2013/VisualStudio2015.
2. Положить в один каталог с NetC3D.dll файл c3d.dll из этого же комплекта, той же конфигурации и среды разработки: 32bit/64bit, Debug/Release, VisualStudio2012/VisualStudio2013/VisualStudio2015.
3. Добавить файл NetC3D.dll в разрабатываемый проект: References->Add Reference->Browse..., далее выбрать файл NetC3D.dll.
4. Для дальнейшей работы перед вызовом функций из NetC3D.dll нужно ввести лицензионный ключ и сигнатуру. Способ ввода ключа и сигнатуры может быть следующим:

   ```
   System.String key = Environment.GetEnvironmentVariable("C3Dkey");
   System.String signature = Environment.GetEnvironmentVariable("C3Dsignature");
   NetC3D.ToolEnabler.EnableMathModules(key,signature );
   ```

   где C3Dkey и C3Dsignature – переменные среды, содержащие ключ и сигнатуру.

М.1. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕЛ

Основными элементами геометрической модели служат тела. Геометрическое ядро C3D строит тела, описывающие всю поверхность или часть поверхности моделируемого объекта. Тела могут быть замкнутыми и незамкнутыми. Замкнутое тело не содержит краевых ребер и описывает всю поверхность моделируемого объекта, а также множество его внутренних точек. Незамкнутое тело содержит краевые ребра и описывает только часть поверхности моделируемого объекта. Многие тела имеют простую форму и строятся на основе точек, кривых и поверхностей.

М.1.1. Построение элементарного тела

Метод
MbResultType
ElementarySolid (SArray<MbCartPoint3D> & **points**,
ElementaryShellType *solidType*,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение элементарного тела по заданным точкам в форме сферы, тора, цилиндра, конуса, прямого параллелепипеда, пирамиды, скруглённой плиты.

Входными параметрами метода являются:

- **points** – множество контрольных точек,
- *solidType* – тип создаваемого тела,
- names – именователь граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Параметр **points** содержит контрольные точки для построения тела. Параметр *solidType* определяет тип создаваемого тела. Параметр names обеспечивает именование граней построенного тела.

Для разных типов создаваемого тела требуется разное количество контрольных точек. В табл. М.1.1.1 приведено количество контрольных точек множества **points**, необходимое для создания тела типа *solidType*.

Табл. М.1.1.1.

solidType	**Тип тела**	**Количество контрольных точек**
et_Sphere	шар	3 точки
et_Torus	тор	3 точки
et_Cylinder	цилиндр	3 точки
et_Cone	конус	3 точки
et_Block	блок	4 точки
et_Wedge	клин	4 точки
et_Plate	плита	4 точки
et_Prism	призма	количество вершин основания+1 точка
et_Pyramid	пирамида	количество вершин основания+1 точка

При построении сферы точка множества **points**[0] определяет центр сферы, точка **points**[1] определяет направление оси **axisZ** локальной системы координат сферы, точка **points**[2] вместе с предыдущими точками определяет плоскость расположения осей **axisX** и **axisZ** локальной системы

координат сферы. Расстояние между точками **points**[0] и **points**[2] определяет радиус сферы, рис. М.1.1.1.

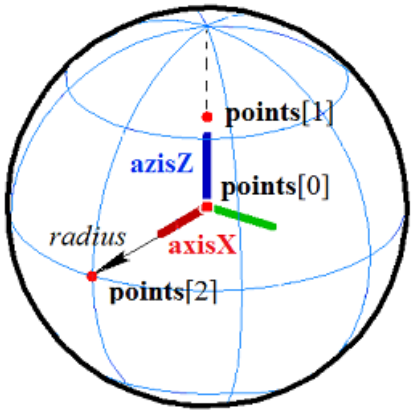


Рис. М.1.1.1.

При построении тора точка множества **points**[0] определяет центр тора, точка **points**[1] определяет направление оси **axisX** локальной системы координат тора, точка **points**[2] вместе с предыдущими точками определяют плоскость, в которой располагаются оси **axisX** и **axisZ** локальной системы координат тора. Расстояние между точками **points**[0] и **points**[1] определяет больший радиус тора, расстояние между точками **points**[1] и **points**[2] определяет меньший радиус тора, рис. М.1.1.2.

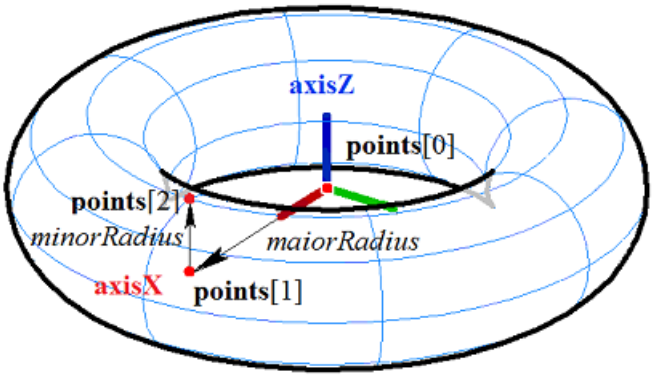


Рис. М.1.1.2.

При построении цилиндра точка множества **points**[0] определяет центр нижнего основания цилиндра, точка **points**[1] определяет центр верхнего основания цилиндра и направление оси **axisZ** локальной системы координат цилиндра, точка **points**[2] вместе с предыдущими точками определяет плоскость расположения осей **axisX** и **axisZ** локальной системы координат цилиндра. Расстояние между точками **points**[0] и **points**[1] определяет высоту цилиндра, расстояние от оси **axisZ** до точки **points**[2] определяет радиус цилиндра, рис. М.1.1.3.

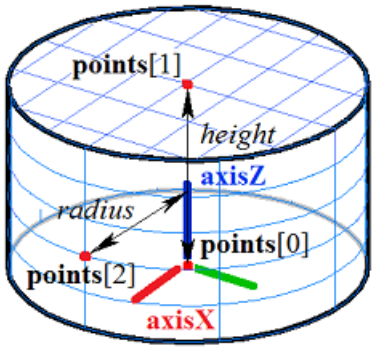


Рис. М.1.1.3.

При построении конуса точка множества **points**[0] определяет вершину конуса, точка **points**[1] определяет центр основания конуса и направление оси **axisZ** локальной системы координат конуса,

точка **points**[2] вместе с предыдущими точками определяет плоскость расположения осей **axisX** и **axisZ** локальной системы координат конуса. Расстояние между точками **points**[0] и **points**[1] определяет высоту конуса, угол конуса определяется из условия, что точка **points**[2] лежит на боковой поверхности конуса, рис. М.1.1.4.

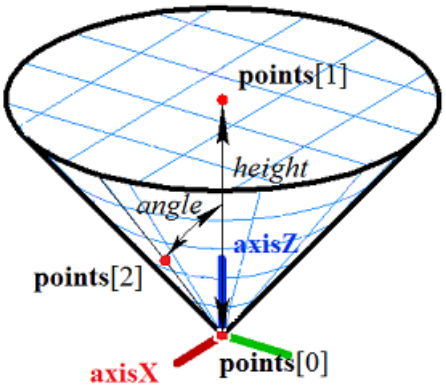


Рис. М.1.1.4.

При построении прямоугольного блока точки множества **points**[0] и **points**[1] определяют ребро и две вершины блока, точка **points**[2] вместе с предыдущими точками определяет плоскость нижнего основания блока, через точку **points**[2] проходит ребро блока, параллельное ребру **points**[0] и **points**[1], точка **points**[3] определяет плоскость верхнего основания блока, рис. М.1.1.5.

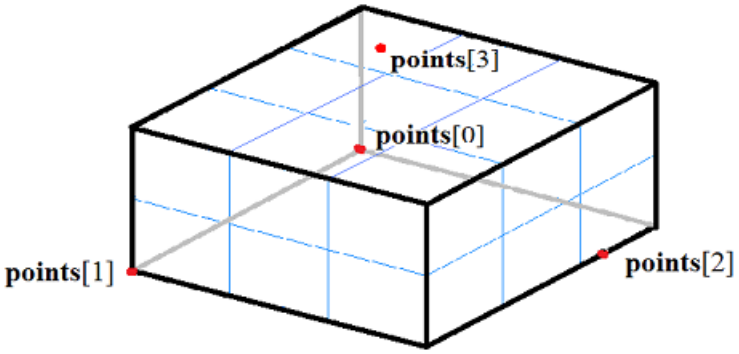


Рис. М.1.1.5.

При построении прямоугольного клина точки множества **points**[0] и **points**[1] определяют ребро и две вершины клина, точка **points**[2] вместе с предыдущими точками определяет плоскость нижнего основания клина и его вершину, через точку **points**[2] проходит ребро клина, параллельное ребру **points**[0] и **points**[1], точка **points**[3] определяет плоскость верхнего основания клина, рис. М.1.1.6.

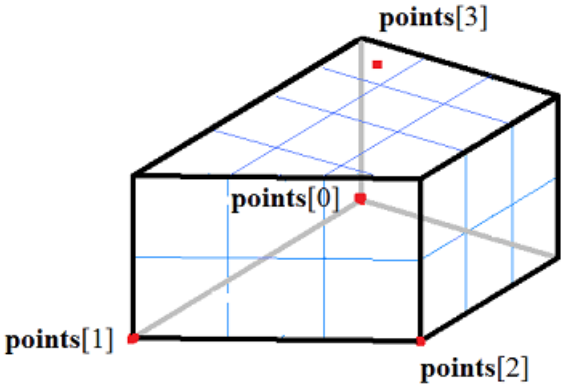


Рис. М.1.1.6.

При построении прямоугольной пластины с цилиндрическими торцами точки множества **points**[0] и **points**[1] определяют ребро и две вершины пластины, точка **points**[2] вместе с предыдущими точками определяет плоскость нижнего основания пластины, через точку **points**[2] проходит ребро

пластины, параллельное ребру **points**[0] и **points**[1], точка **points**[3] определяет плоскость верхнего основания пластины, рис. М.1.1.7.

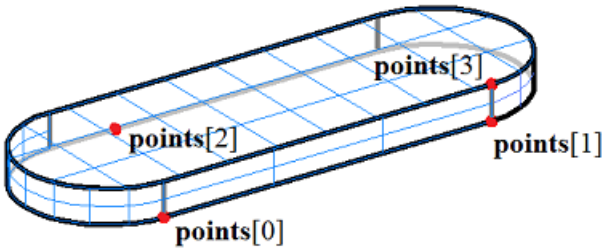


Рис. М.1.1.7.

При построении прямой призмы с многоугольником в основании точки **weightCentre**, **points**[0] и **points**[1] определяют плоскость нижнего основания призмы, где **weightCentre** центр тяжести точек основания. Проекции точек **points**[0], **points**[1], ..., **points**[*n*–1] определяют многоугольник основания, высоту призмы определяет расстояние от плоскости нижнего основания до последней точки **points**[*n*]. На рис. М.1.1.8 приведена прямая призма с пятиугольным основанием.

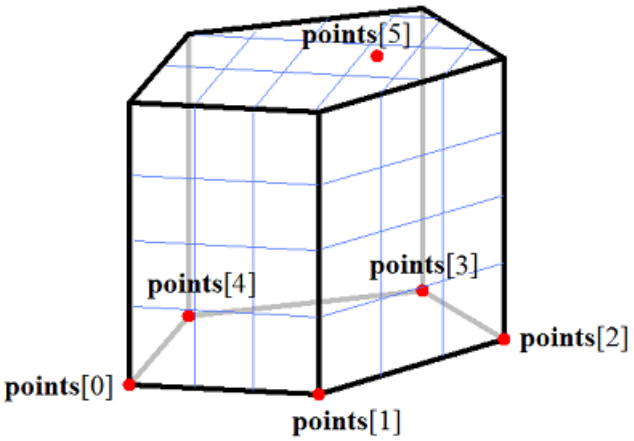


Рис. М.1.1.8.

При построении пирамиды с многоугольником в основании точки **weightCentre**, **points**[0], **points**[1] определяют плоскость нижнего основания пирамиды, где **weightCentre** центр тяжести точек основания. Проекции точек **points**[0], **points**[1], ..., **points**[*n*–1] определяют многоугольник основания, последняя точка **points**[*n*] определяет вершину пирамиды. На рис. М.1.1.9 приведена пирамида с пятиугольным основанием.

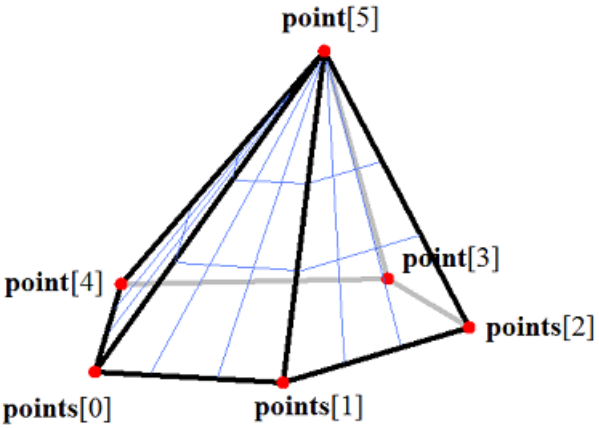


Рис. М.1.1.9.

Точки множества **points**, определяющие основание призмы или пирамиды, можно расположить в вершинах правильного многоугольника. Многоугольник основания призмы или пирамиды может быть произвольным.

Метод **ElementarySolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbElementarySolid, который содержит все необходимые для построения тела данные. Строитель MbElementarySolid объявлен в файле cr_elementary_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет построение элементарного тела по заданным точкам командами меню «Создать->Тело->Элементарное->» и «Создать->Тело->По точкам->».

M.1.2. Построение элементарного тела по заданной поверхности

Метод
MbResultType
ElementarySolid (const MbSurface & **surface**,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение элементарного тела по заданной поверхности.

Входными параметрами метода являются:

- **surface** – элементарная поверхность,
- names – именователь граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Параметр **surface** содержит исходную поверхность. Параметр names обеспечивает именование граней построенного тела.

Элементарной поверхностью может быть сфера MbSphere, поверхность тора MbTorus, цилиндрическая поверхность MbCylinder, коническая поверхность MbCone. На рис. M.1.2.1 приведена сферическая поверхность и построенное по ней тело.

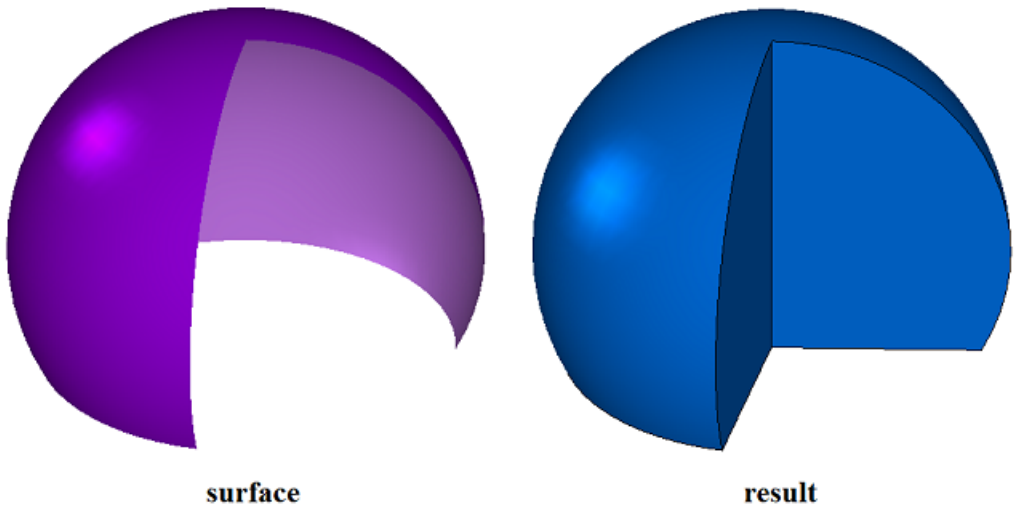


Рис. M.1.2.1.

На рис. M.1.2.2 приведена поверхность тора и построенное по ней тело.

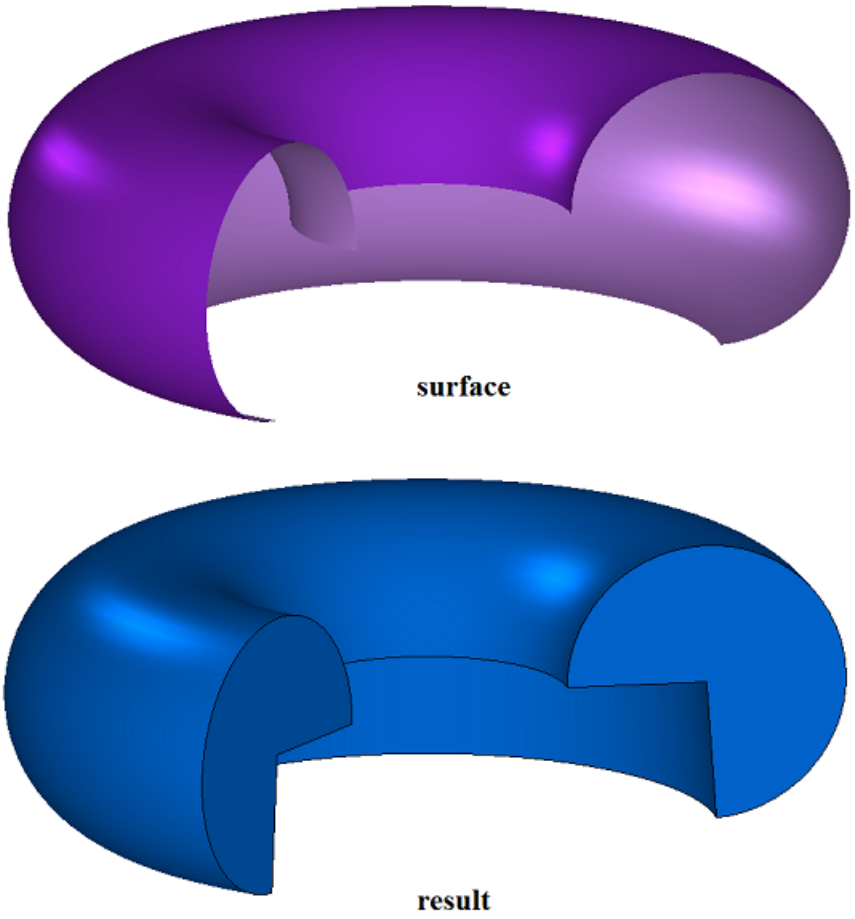


Рис. М.1.2.2.

На рис. М.1.2.3 приведена цилиндрическая поверхность и построенное по ней тело.

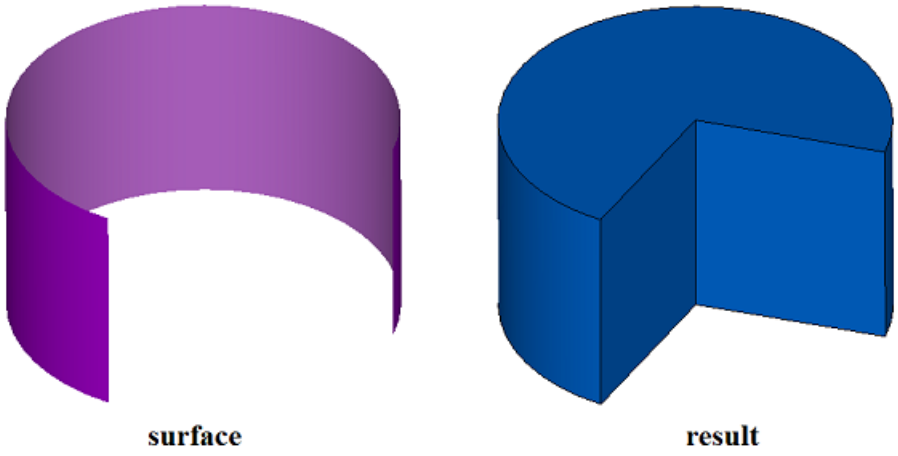


Рис. М.1.2.3.

На рис. М.1.2.4 приведена коническая поверхность и построенное по ней тело.

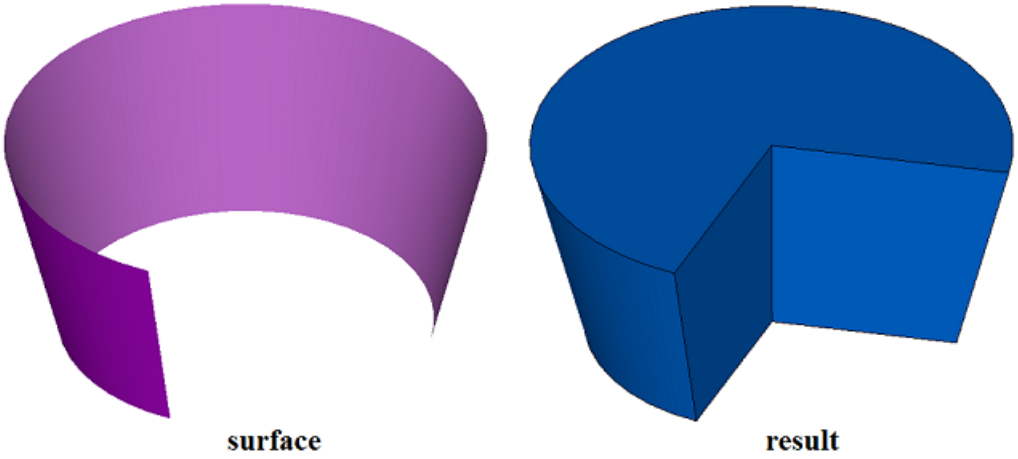


Рис. M.1.2.4.

Если перечисленные поверхности будут циклически замкнутыми, то построенные по ним тела будут иметь соответствующую форму. Если поверхность не является ни одной из перечисленных элементарных поверхностей, то метод возвращает код ошибки rt_Error.

Метод **ElementarySolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbRevolutionSolid, который содержит все необходимые для построения тела данные. Строитель MbRevolutionSolid объявлен в файле cr_revolution_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет построение элементарного тела по заданной поверхности командой меню «Создать->Тело->По поверхности->По элементарной поверхности».

M.1.3. Построение тела выдавливания

Метод
MbResultType
ExtrusionSolid (const MbSweptData & **sweptData**,
const MbVector3D *&* **direction**,
const MbSolid * **solid**1,
const MbSolid * **solid**2,
bool *checkIntersection*,
ExtrusionValues & *params*,
const MbSNameMaker & names,
PArray<MbSNameMaker> & cnames,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение тела выдавливания.

Входными параметрами метода являются:

- **sweptData** – данные об образующих кривых,
- **direction** – направление выдавливания,
- **solid1** – используется при опции «До ближайшего объекта» в прямом направлении,
- **solid2** – используется при опции «До ближайшего объекта» в обратном направлении,
- *checkIntersection* – флаг для объединения тел solid1 и solid2 с проверкой пересечения,
- *params* – параметры построения,
- names – именователь граней,
- cnames – именователи сегментов образующих кривых.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Тело выдавливания относится к разновидности тел движения, которые получают путем движения образующей кривой вдоль направляющей кривой. Направляющей кривой тела выдавливания служит

отрезок прямой. Тело выдавливания строится путем движения одной или нескольких кривых вдоль отрезка, направление которого задает вектор **direction**.

Параметр **sweptData** содержит информацию об образующих кривых. Класс MbSweptData и структура ExtrusionValues описаны в файле swept_parameter.h. Образующие кривые могут представлять собой двумерные контуры **contours** на поверхности **surface** или контуры в пространстве **contours3D**. В частном случае двумерные контуры **contours** могут располагаться на плоскости. Ориентация контуров **contours** может быть произвольной. Контуры **contours** могут быть вложены друг в друга. Контуры **contours** не должны пересекать друг друга.

Построение тела может выполняться в прямом направлении относительно вектора **direction**, в обратном направлении относительно вектора **direction** и в обоих направлениях. Параметры построения в каждом направлении задают объекты MbSweptSide.

Параметр *params* содержит информацию о способе выдавливания в прямом направлении MbSweptSide *side*1 и информацию о способе выдавливания в обратном направлении MbSweptSide *side*2. Выдавливание в каждую сторону может выполнятся тремя способами. При *way*==sw_scalarValue выдавливание выполняется на длину *scalarValue* в направлении *side*1 или *side*2, соответственно. При *way*==sw_shell выдавливание выполняется до ближайшего объекта **solid**1 или **solid**2, соответственно. При *way*==sw_surface выдавливание выполняется до поверхности *side*1.**surface** или *side*2.**surface**, соответственно, при *side*1.*distance*=0 или *side*2.*distance*=0. При *way*==sw_surface и *distance*!=0 выдавливание выполняется до эквидистантной поверхности к *side*1.**surface** или до эквидистантной поверхности к *side*2.**surface**, соответственно. Если *side*1.*rake*!=0 или *side*2.*rake*!=0, то выдавливание выполняется с уклоном *side*1.*rake* или *side*2.*rake* в соответствующую сторону. Параметр *params.thickness*1 задает отступ наружу от образующей кривой, а параметр *params.thickness*2 задает отступ внутрь от образующей кривой. Параметр *params.shellClosed* управляет замкнутостью построенного тела. Параметр *params.checkSelfInt* сообщает о необходимости проверки результата построения на самопересечение. По умолчанию *params.checkSelfInt*=false, проверка не выполняется.

На рис. М.1.3.1 приведены данные, используемые при построении, и схема наследования параметров построения тела выдавливания ExtrusionValues & *params*.

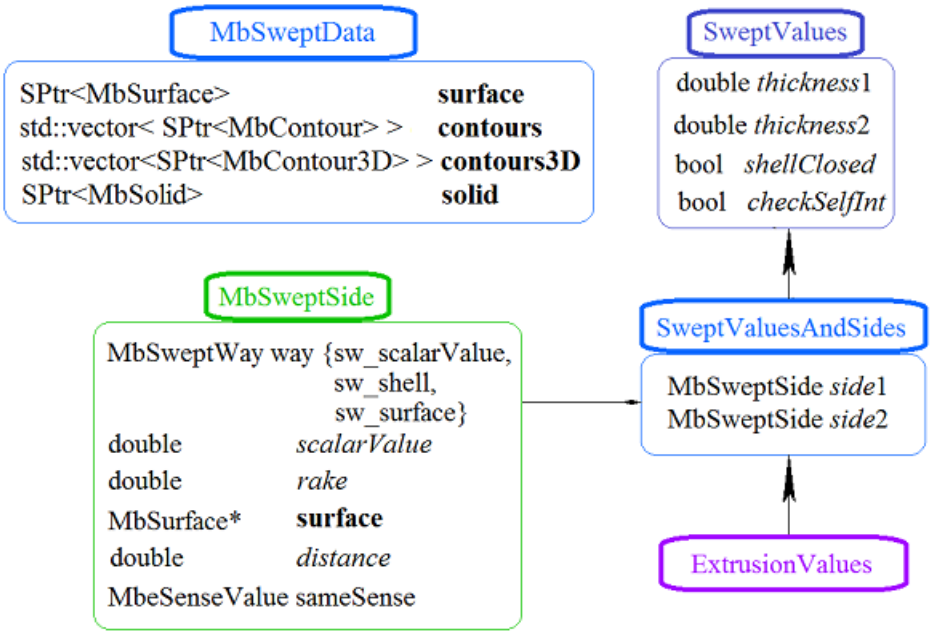


Рис. М.1.3.1.

Параметры names и cnames обеспечивают именование граней построенного тела.

На рис. М.1.3.2 приведен двумерный контур **contour** и плоская поверхность **surface** (MbPlane).

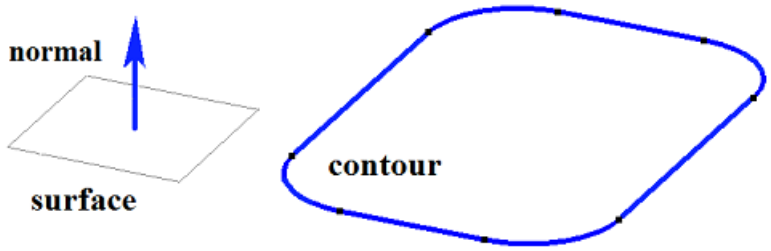


Рис. М.1.3.2.

На рис. М.1.3.3 приведено замкнутое тело, построенное выдавливанием по заданным параметрам контура, показанного на рис. М.1.3.2. Каждому сегменту контура соответствует грань тела, имя которой взято от соответствующего элемента генератора имен cnames[0].

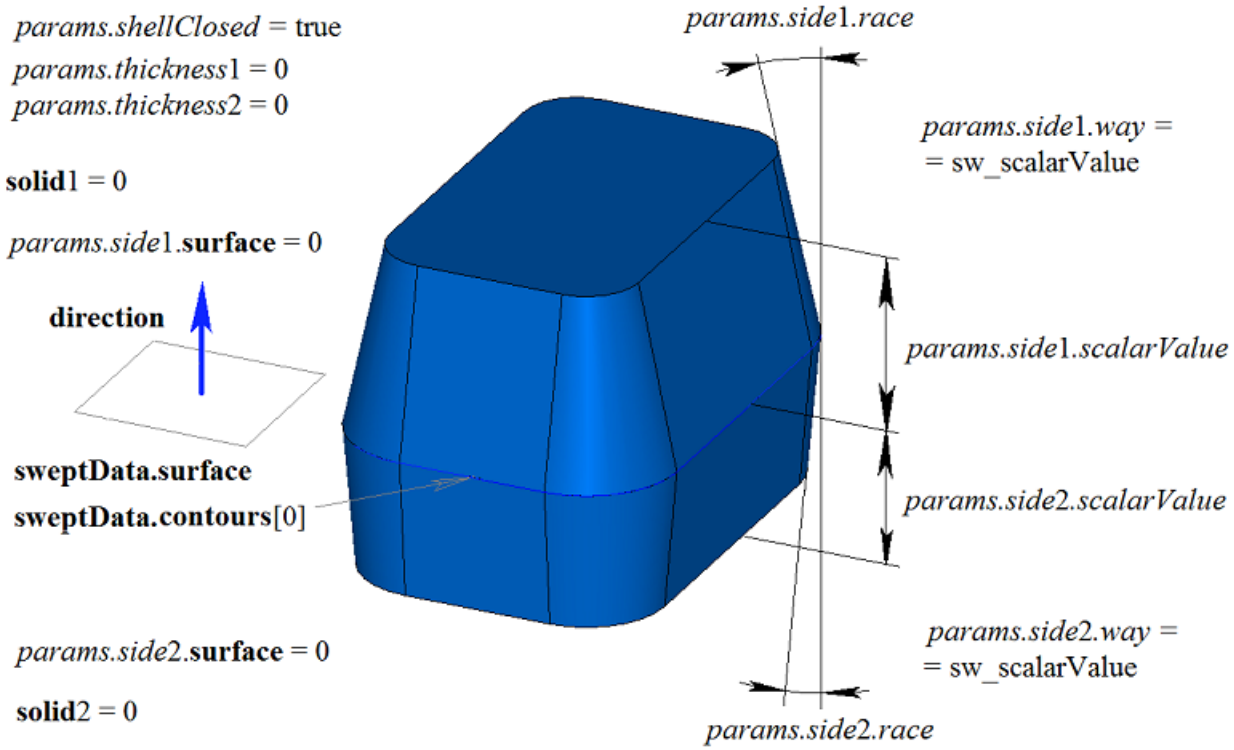


Рис. М.1.3.3.

На рис. М.1.3.4 приведено замкнутое тонкостенное тело, построенное выдавливанием по заданным параметрам контура, показанного на рис. М.1.3.2.

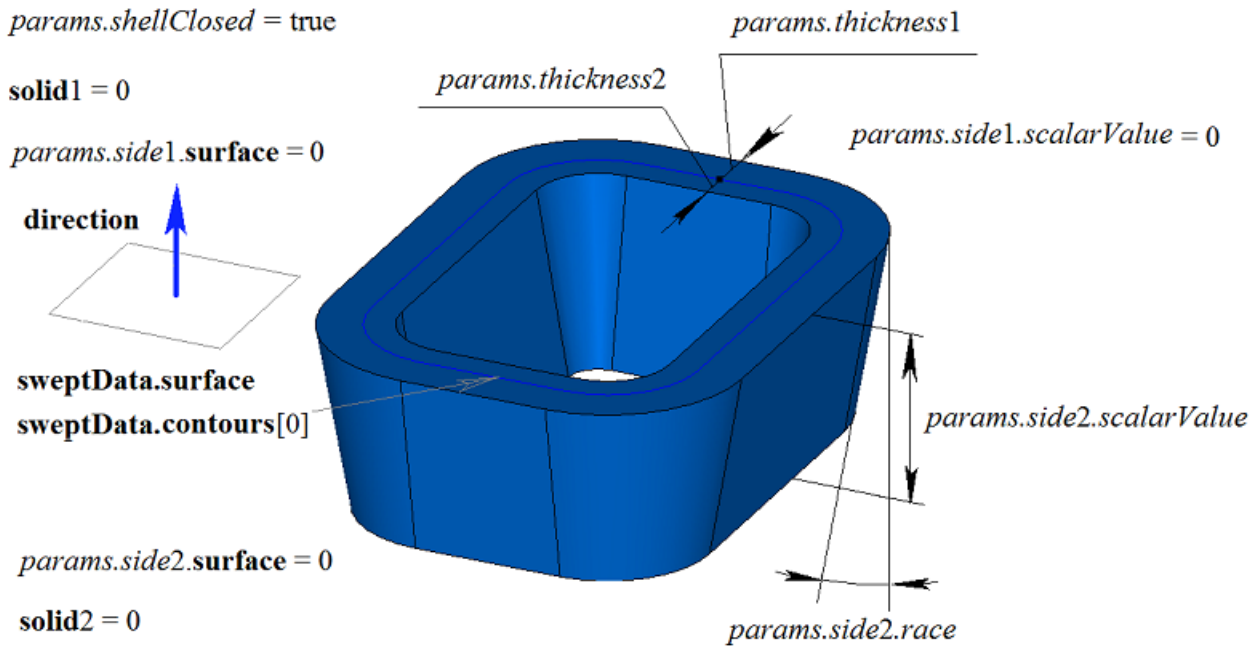


Рис. М.1.3.4.

На рис. М.1.3.5 приведено незамкнутое тело, построенное выдавливанием по заданным параметрам контура, показанного на рис. М.1.3.2. Параметры построения тела, показанного на рис. М.1.3.3, отличаются от параметров построения тела, показанного на рис. М.1.3.5, только величиной *params.shellClosed*.

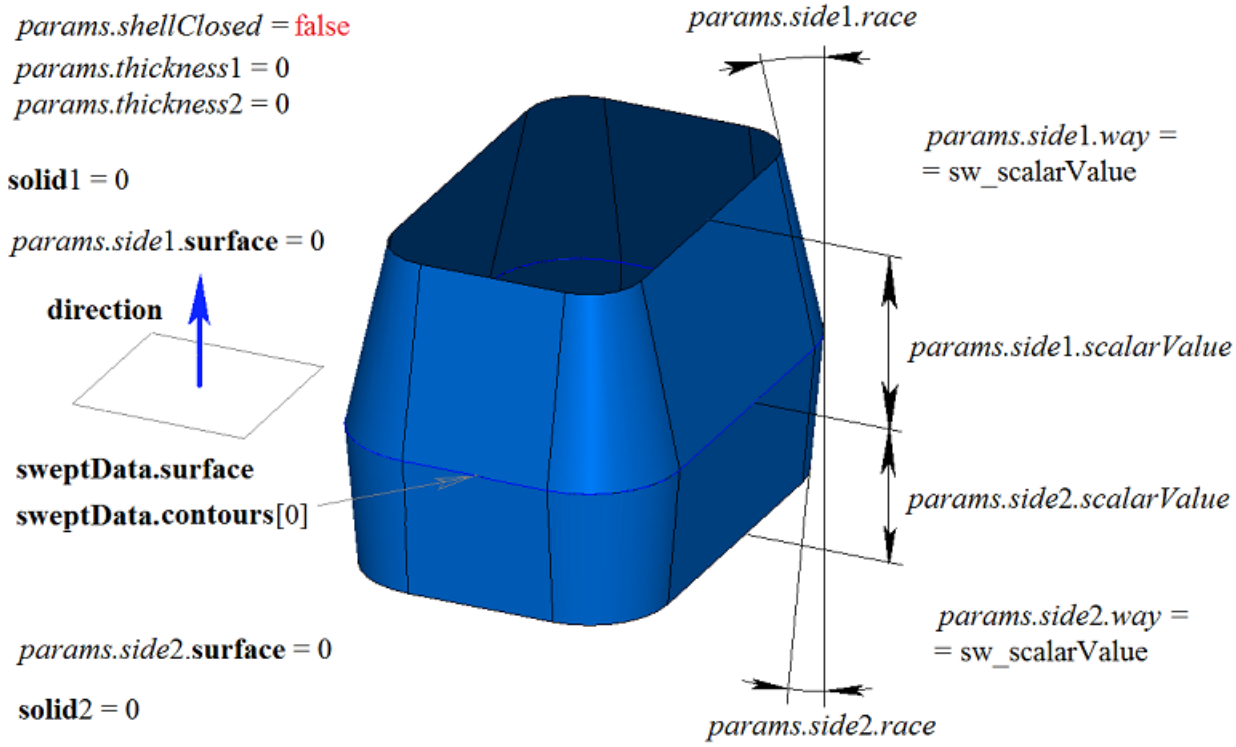


Рис. М.1.3.5.

На рис. М.1.3.6 приведен двумерный контур **contour**, плоская поверхность **surface** (MbPlane) и два тела **solid**1 и **solid**2, которые будут использоваться при построении тела выдавливания. Для построения необходимо, чтобы тела **solid**1 и **solid**2 полностью перекрывали путь движения контура в

соответствующем направлении. При этом следует учитывать параметры *params.side*1.*rake*, *params.side*2.*rake*, *params.thickness*1, *params.thickness*2.

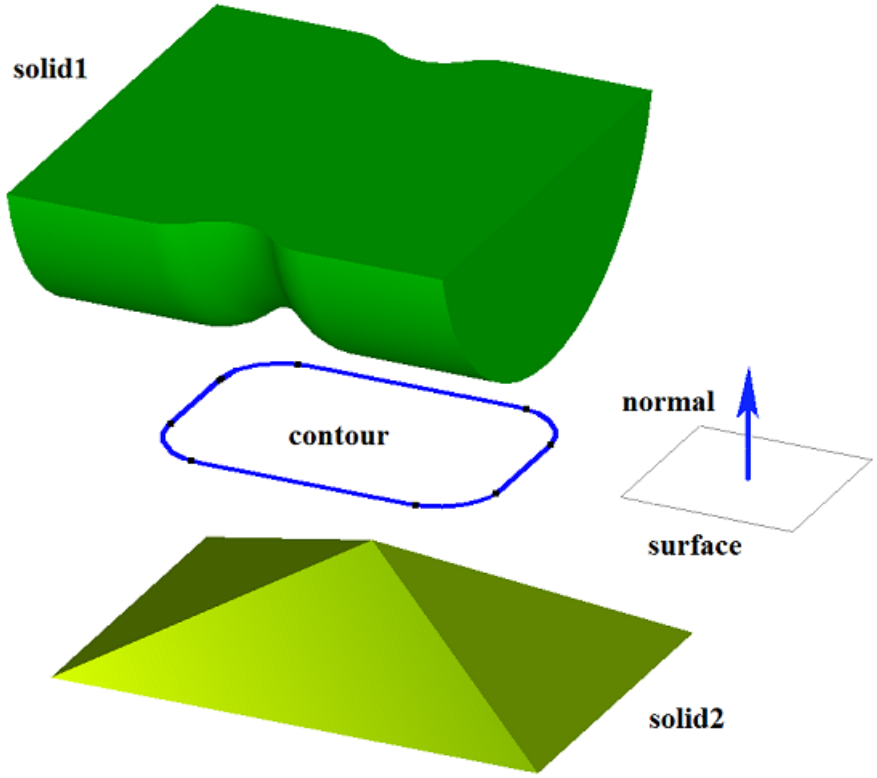


Рис. М.1.3.6.

Такое построение выполняется выдавливанием контура на длину, превосходящую максимальное расстояние до заданного тела с последующим вычитанием заданного тела из построенного тела.

На рис. М.1.3.7 приведено тело, построенное выдавливанием контура, показанного на рис. М.1.3.6, с опциями «До ближайших объектов», в качестве которых заданы тела **solid**1 и **solid**2.

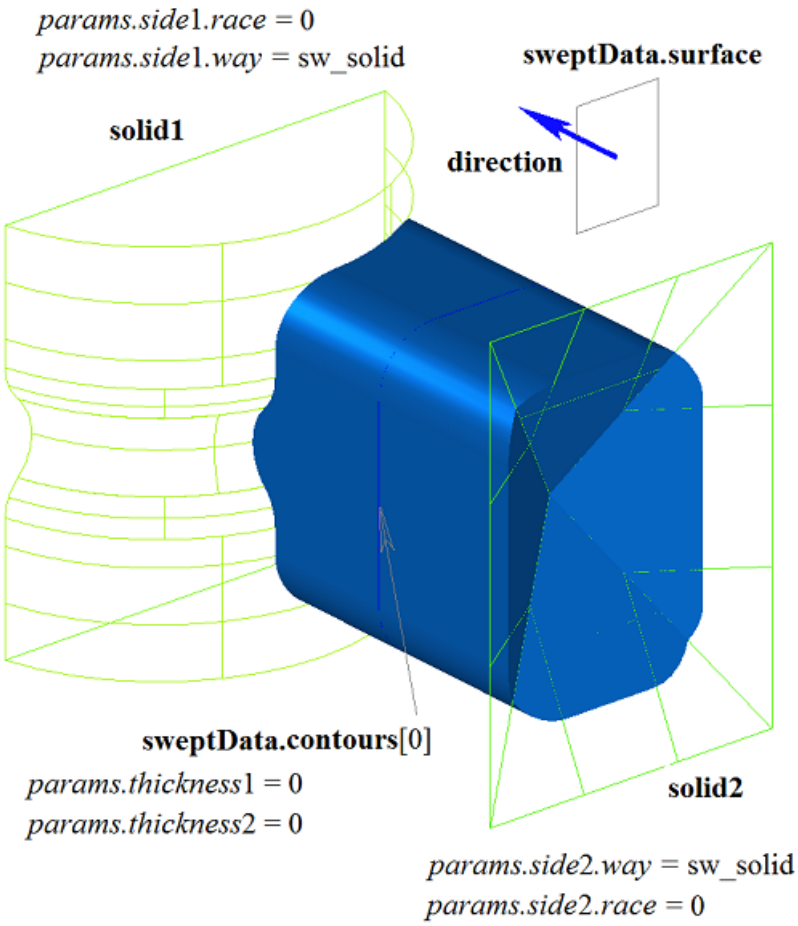


Рис. М.1.3.7.

На рис. М.1.3.8 приведено тонкостенное тело с уклоном граней, построенное выдавливанием контура, показанного на рис. М.1.3.6, с опциями «До ближайших объектов», в качестве которых заданы тела **solid**1 и **solid**2.

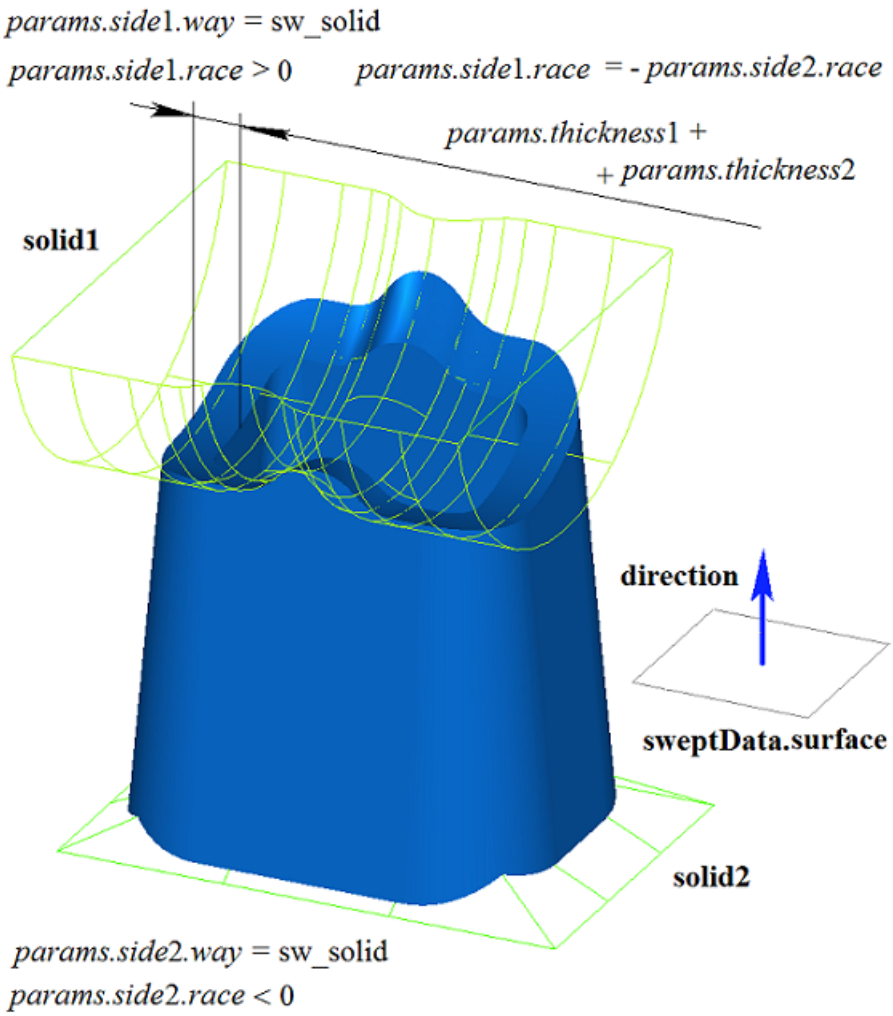


Рис. М.1.3.8.

На рис. М.1.3.9 приведен двумерный контур **contour**, плоская поверхность **surface** (MbPlane) и две поверхности **surface**1 и **surface**2, которые будут использоваться при построении тела выдавливания. Для построения необходимо, чтобы поверхности **surface**1 и **surface**2 полностью перекрывали путь движения контура в соответствующем направлении. При этом следует учитывать параметры *params.side*1.*rake*, *params.side*2.*rake*, *params.thickness*1, *params.thickness*2. Тело выдавливания обрезается заданными поверхностями или эквидистантными к ним поверхностями, если *params.side*1.*distance* или *params.side*2.*distance* не равны нулю.

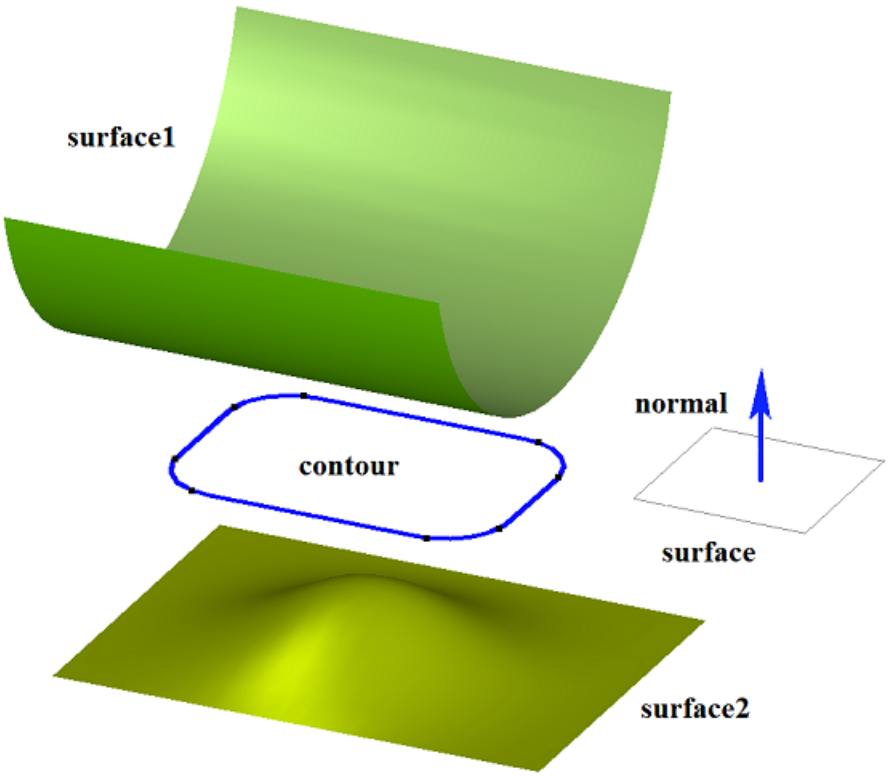


Рис. М.1.3.9.

На рис. М.1.3.10 приведено тело, построенное выдавливанием контура, показанного на рис. М.1.3.9, с опциями «До поверхности», в качестве которых заданы **surface**1 и **surface**2.

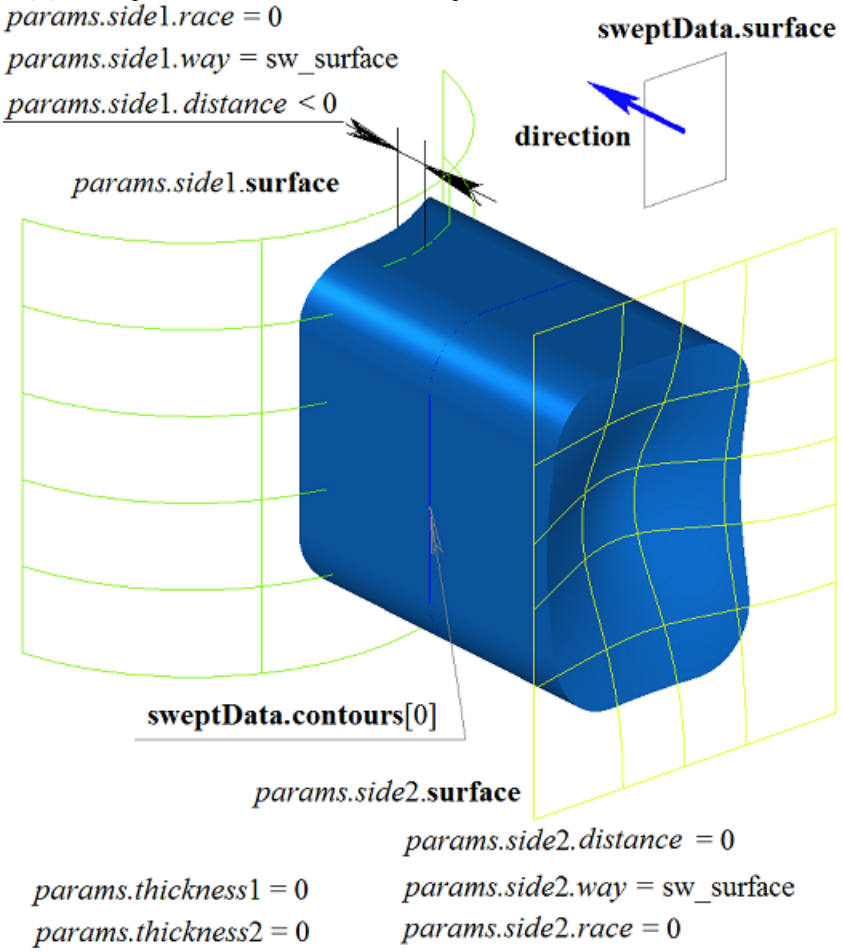


Рис. М.1.3.10.

На рис. М.1.3.11 приведено тонкостенное тело с уклоном граней, построенное выдавливанием контура, показанного на рис. М.1.3.9, с опциями «До поверхности», в качестве которых заданы **surface**1 и **surface**2.

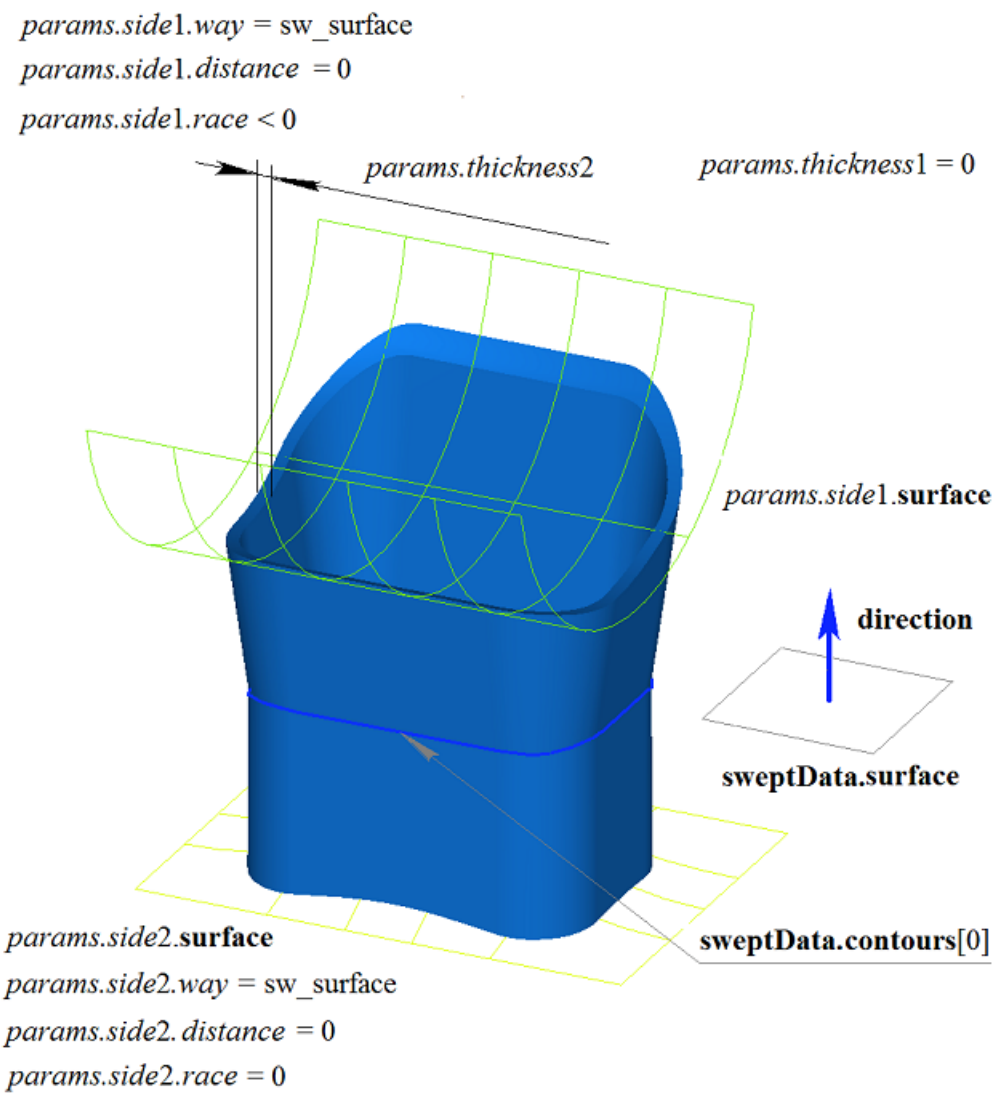


Рис. М.1.3.11.

Двумерный контур может располагаться на плоской или криволинейной поверхности. Например, тело можно построить выдавливанием контура на криволинейной поверхности, полученного от цикла одной из граней твердого тела, показанного на рис. М.1.3.12.

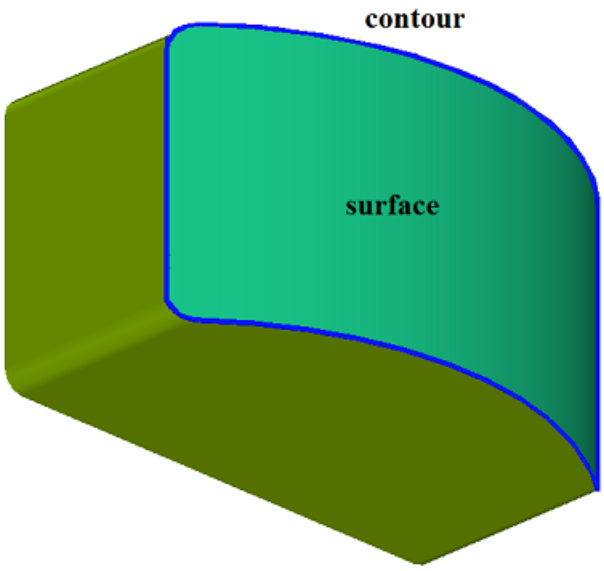


Рис. М.1.3.12.

На рис. М.1.3.13 приведено тело, полученное выдавливанием контура на криволинейной поверхности, приведенной на рис. М.1.3.12.

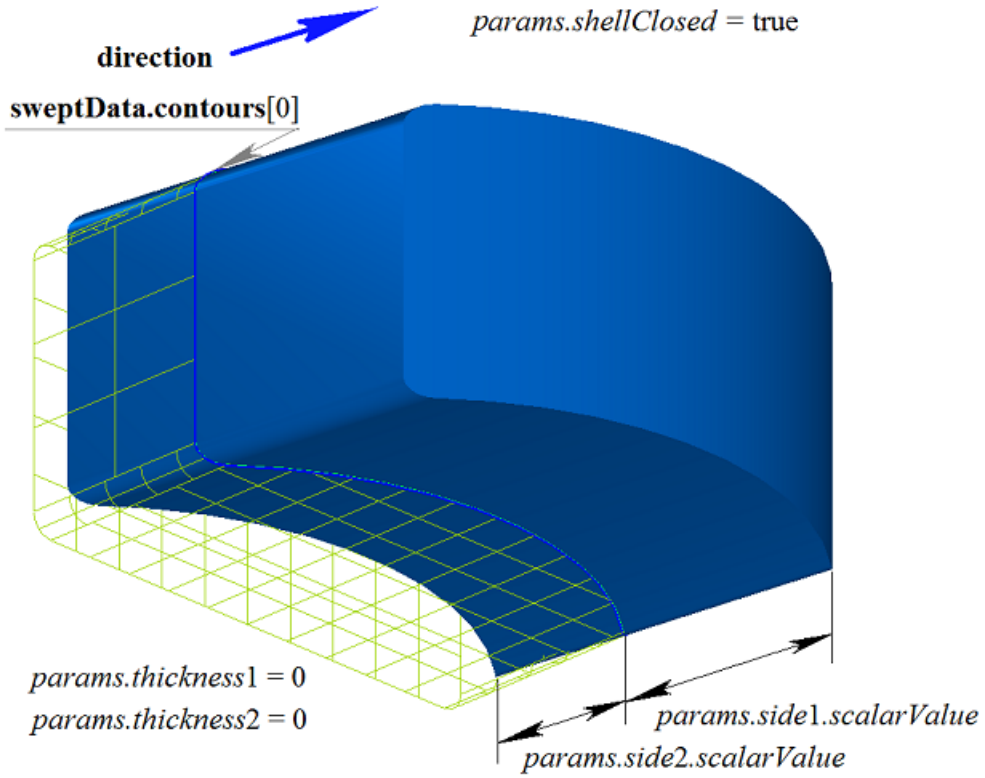


Рис. М.1.3.13.

На рис. М.1.3.14 приведено тонкостенное тело, полученное выдавливанием контура на криволинейной поверхности, приведенной на рис. М.1.3.12.

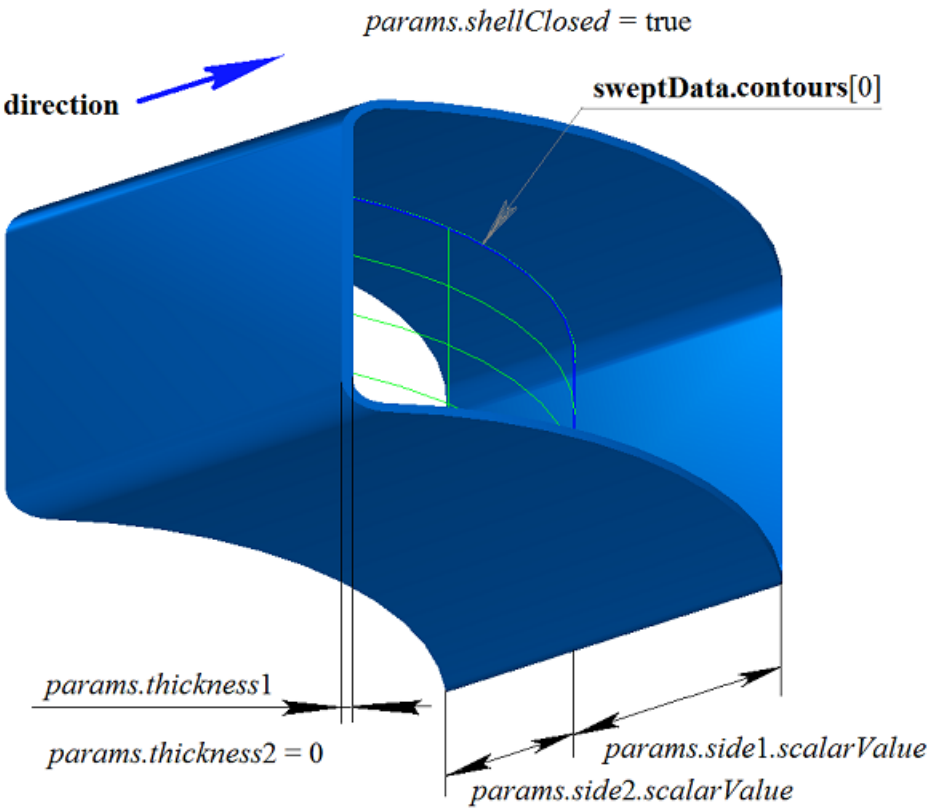


Рис. М.1.3.14.

На рис. М.1.3.15 приведено незамкнутое тело, полученное выдавливанием контура на криволинейной поверхности, приведенной на рис. М.1.3.12.

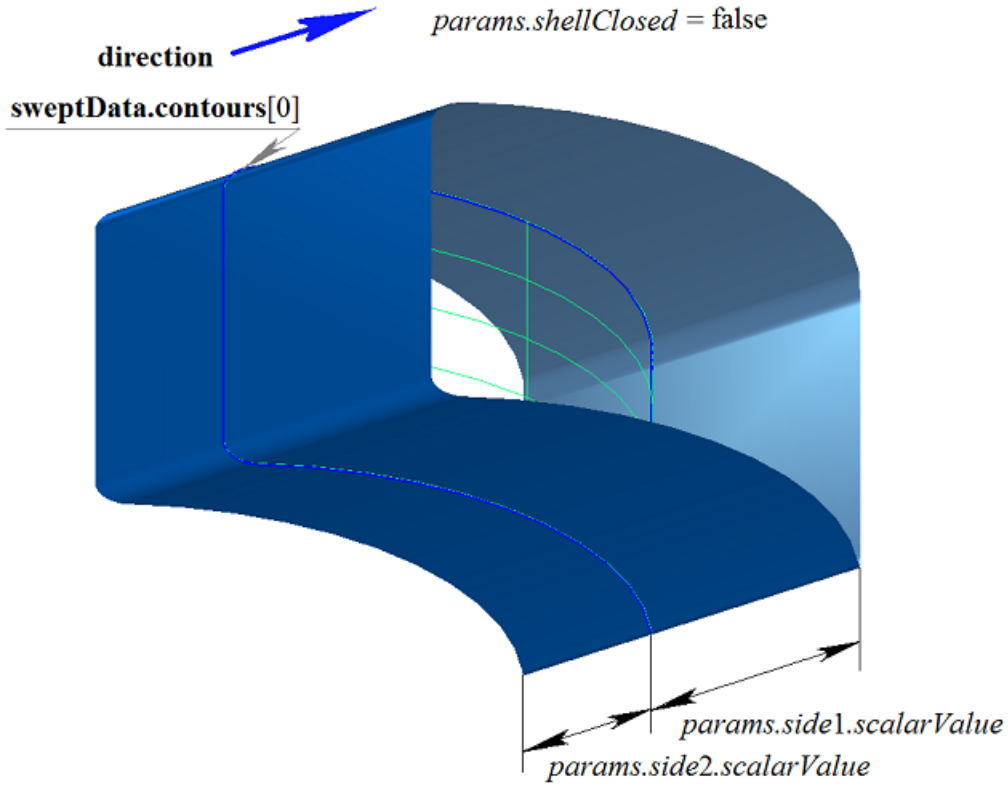


Рис. М.1.3.15.

Если на одной поверхности расположено множество не пересекающихся двумерных контуров, то рассматриваемый метод определяет внешние контуры и вложенные в них внутренние контуры, причем вложение может быть многократным. На рис. М.1.3.16 приведено множество не пересекающихся двумерных контуров **contours** и плоская поверхность **surface** (MbPlane).

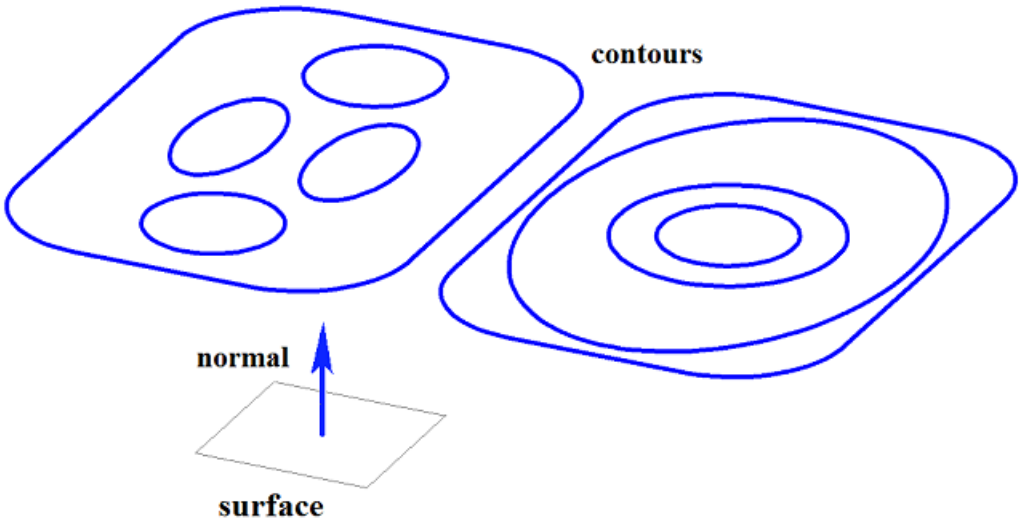


Рис. М.1.3.16.

На рис. М.1.3.17 приведено замкнутое тело, состоящее из нескольких частей, построенное выдавливанием множества контуров, показанного на рис. М.1.3.16.

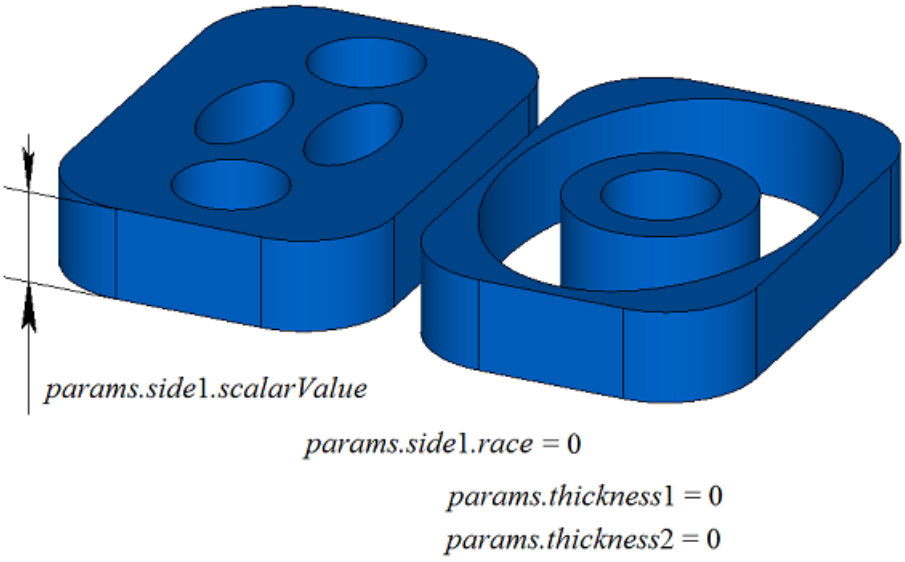


Рис. М.1.3.17.

На рис. М.1.3.18 приведено замкнутое тело, состоящее из нескольких частей, построенное выдавливанием с уклоном множества контуров, показанного на рис. М.1.3.16.

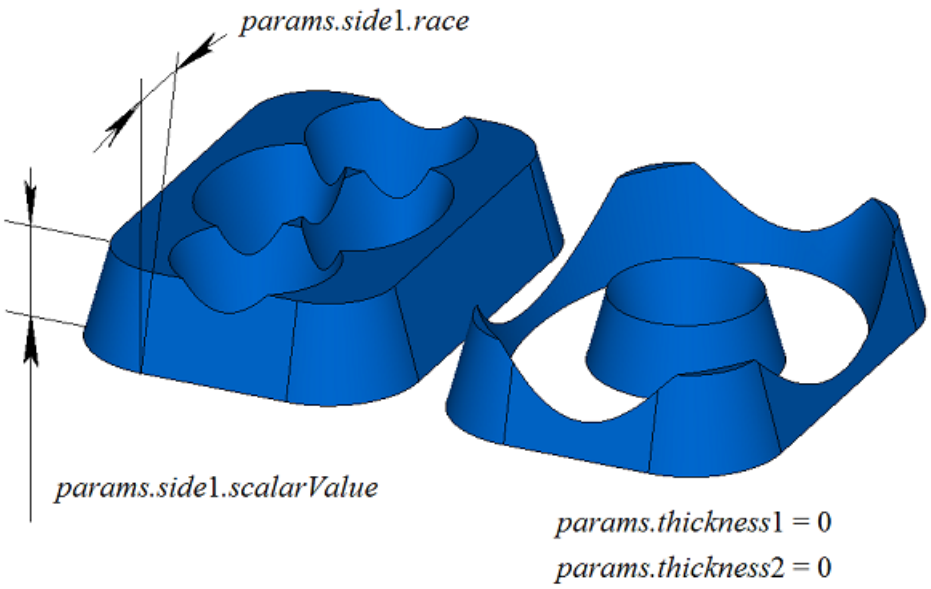


Рис. М.1.3.18.

На рис. М.1.3.19 приведено замкнутое тонкостенное тело, состоящее из нескольких частей, построенное выдавливанием множества контуров, показанного на рис. М.1.3.16.

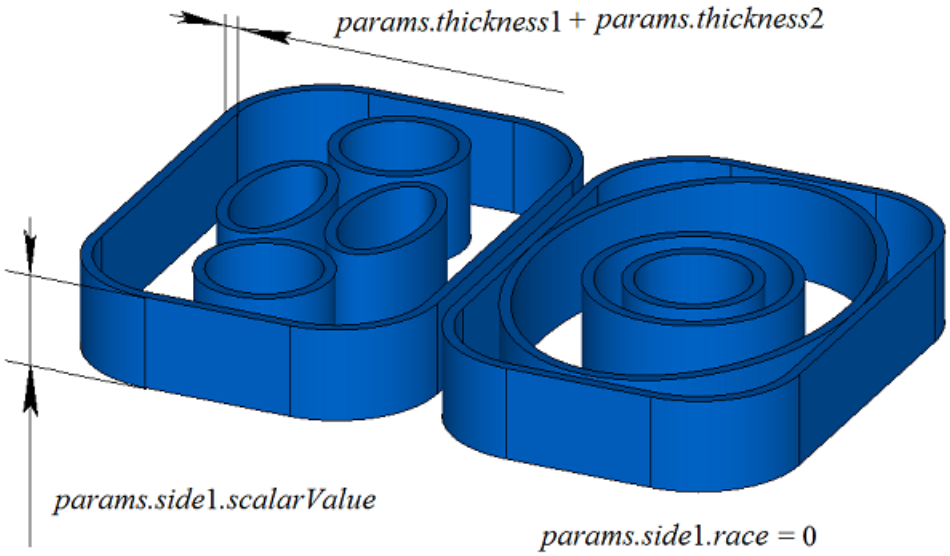


Рис. М.1.3.19.

На рис. М.1.3.20 приведены два трехмерных контура.

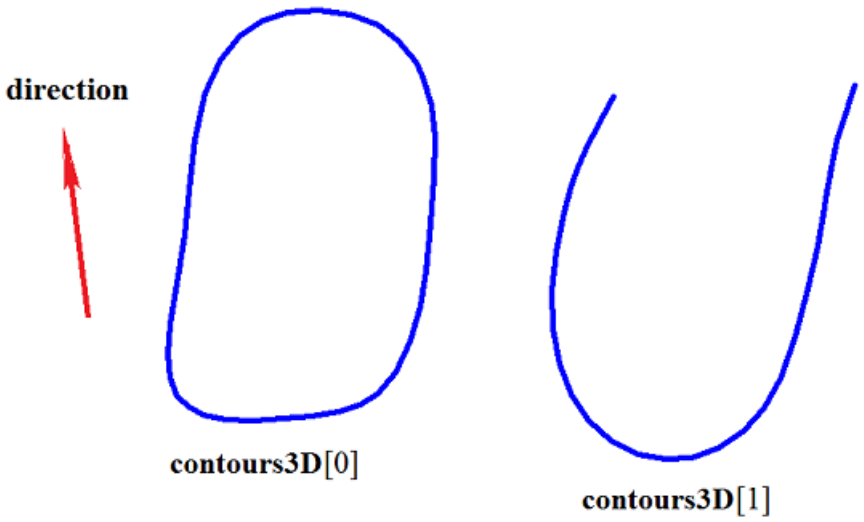


Рис. М.1.3.20.

На рис. М.1.3.21 приведено двусвязное тонкостенное замкнутое тело, полученное выдавливанием трехмерных контуров, приведенных на рис. М.1.3.20.

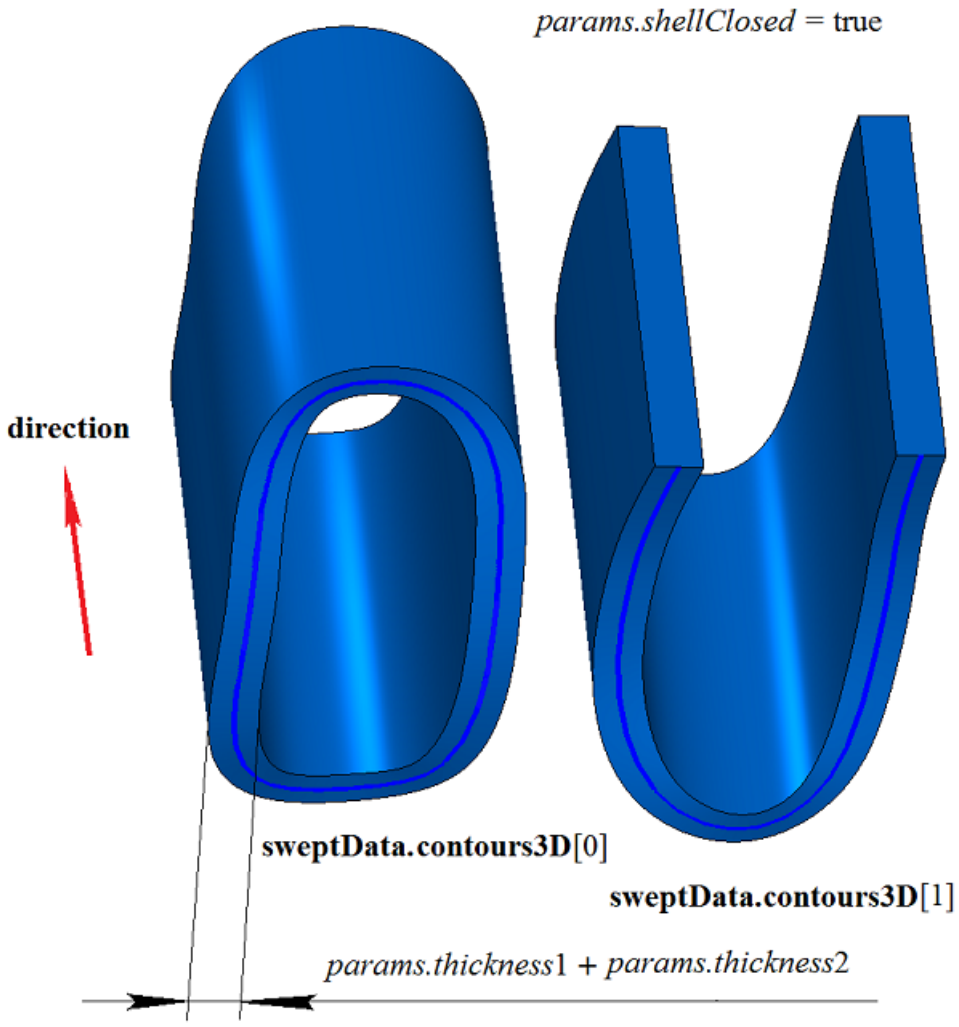


Рис. М.1.3.21.

На рис. М.1.3.22 приведены два незамкнутых тела, полученных выдавливанием трехмерных контуров, приведенных на рис. М.1.3.20. Построение выполнено для каждого контура отдельно.

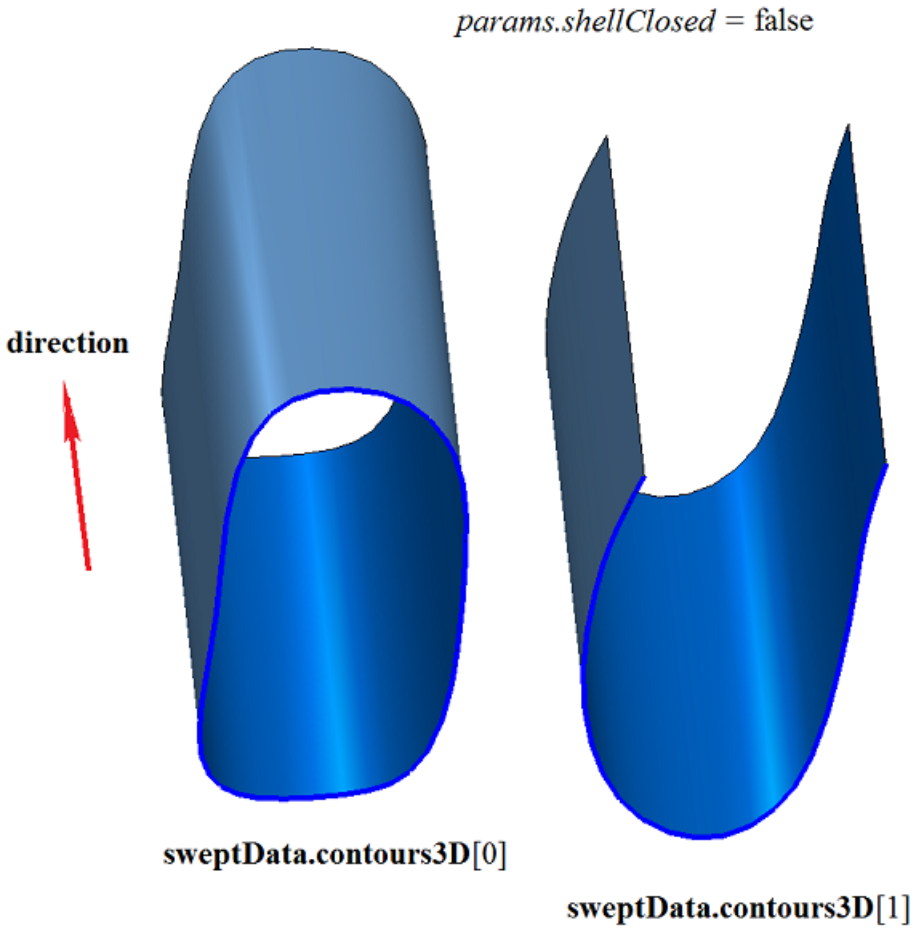


Рис. М.1.3.22.

Метод построения тела выдавливания **ExtrusionSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbExtrusionSolid, который содержит все необходимые для построения тела данные. Строитель MbExtrusionSolid объявлен в файле cr_extrusion_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет построение тела выдавливания командами меню «Создать->Тело->На базе кривых->Выдавливанием поверхностной кривой» и «Создать->Тело->На базе кривых->Выдавливанием трехмерной кривой».

М.1.4. Построение тела вращения

Метод
MbResultType
RevolutionSolid (const MbSweptData & **sweptData**,
const MbAxis3D & **axis**,
RevolutionValues & *params*,
const MbSNameMaker & names,
PArray<MbSNameMaker> & cnames,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение тела вращения.

Входными параметрами метода являются:

- **sweptData** – данные об образующих кривых,
- **axis** – ось вращения,
- params – параметры построения,

- names – именователь граней,
- cnames – именователи сегментов образующих кривых.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Тело вращения относится к разновидности тел движения, которые получают путем движения образующей кривой вдоль направляющей кривой. Направляющей кривой тела вращения служит окружность или ее дуга. Тело вращения строится путем вращения одной или нескольких кривых вокруг оси **axis**.

Параметр **sweptData** содержит информацию об образующих кривых. Класс MbSweptData и структура RevolutionValues описаны в файле swept_parameter.h. Образующие кривые могут представлять собой двумерные контуры **contours** на поверхности **surface** или контуры в пространстве **contours3D**. В частном случае двумерные контуры **contours** могут располагаться на плоскости. Ориентация контуров **contours** может быть произвольной. Контуры **contours** могут быть вложены друг в друга. Контуры **contours** не должны пересекать друг друга.

Вращение кривых может выполняться в прямом направлении относительно оси **axis**, в обратном направлении относительно оси **axis** и в обоих направлениях. Вращение в прямом направлении выполняется против часовой стрелки при взгляде навстречу оси **axis**. Параметры построения в каждом направлении задают объекты MbSweptSide.

Параметр *params* содержит информацию о способе вращения в прямом направлении MbSweptSide *side*1 и информацию о способе вращения в обратном направлении MbSweptSide *side*2. Вращение в каждую сторону может выполняться двумя способами. При *way*==sw_scalarValue вращение выполняется на угол *scalarValue* в направлении *side*1 или *side*2, соответственно. При *way*==sw_surface вращение выполняется до поверхности *side*1.**surface** или *side*2.**surface**, соответственно, при *side*1.*distance*=0 или *side*2.*distance*=0. При *way*==sw_surface и *distance*!=0 вращение выполняется до эквидистантной поверхности к *side*1.**surface** или до эквидистантной поверхности к *side*2.**surface**, соответственно. Параметры *params.thickness*1 и *params.thickness*2 определяют толщину стенки тонкостенного тела. Параметр *params.thickness*1 задает отступ наружу от образующей кривой, а параметр *params.thickness*2 задает отступ внутрь от образующей кривой. Параметр *params.shellClosed* управляет замкнутостью построенного тела. Параметр *params.checkSelfInt* сообщает о необходимости проверки результата построения на самопересечение. По умолчанию *params.checkSelfInt*=false, проверка не выполняется. Параметр *params.shape* управляет формой построенного тела. При *params.shape*=1 построенное тело имеет топологию тора, при *params.shape*=0 построенное тело имеет топологию сферы.

На рис. М.1.4.1 приведены данные, используемые при построении, и схема наследования параметров построения тела вращения RevolutionValues & *params*.

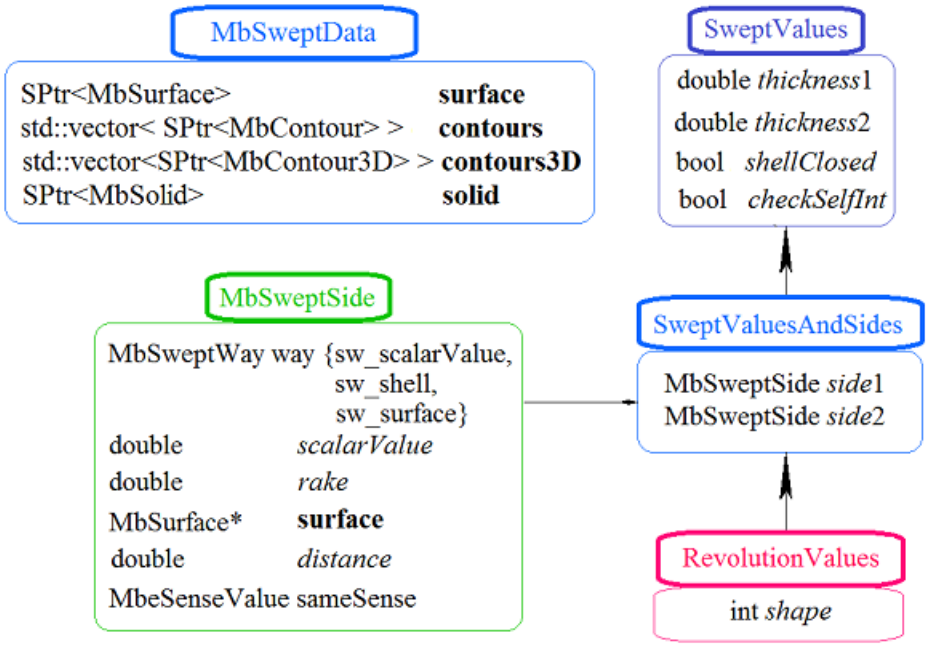


Рис. М.1.4.1.

Параметры names и cnames обеспечивают именование граней построенного тела.

На рис. М.1.4.2 приведен двумерный контур **contour**, плоская поверхность **surface** (MbPlane) и ось вращения **axis**.

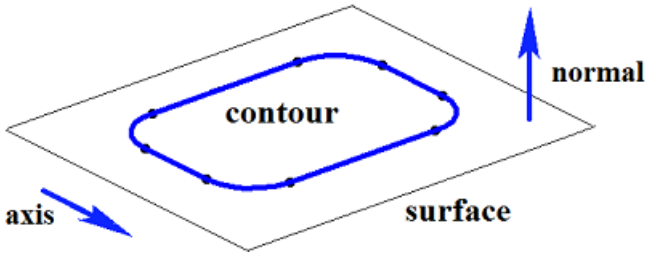


Рис. М.1.4.2.

На рис. М.1.4.3 приведено замкнутое тело, построенное вращением по заданным параметрам контура, показанного на рис. М.1.4.2. Каждому сегменту контура соответствует грань тела, имя которой взято от соответствующего элемента генератора имен cnames[0].

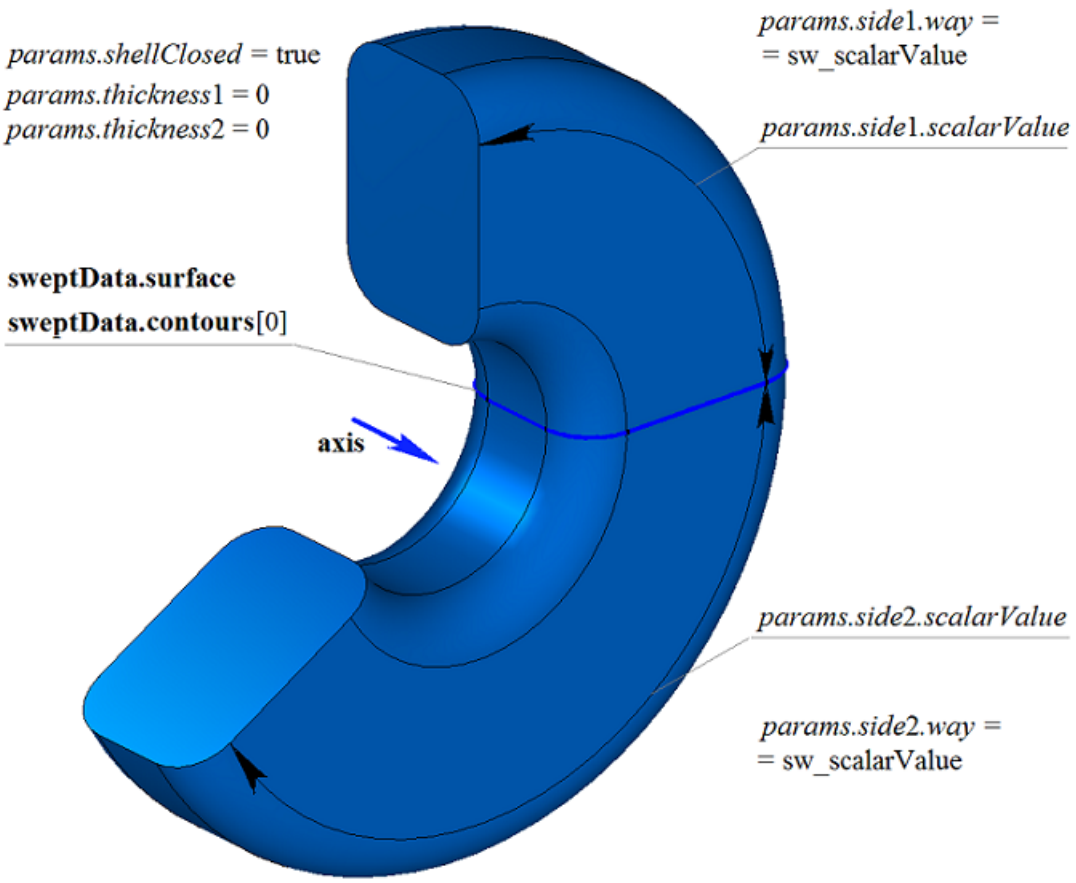


Рис. М.1.4.3.

На рис. М.1.4.4 приведено замкнутое тонкостенное тело, построенное вращением по заданным параметрам контура, показанного на рис. М.1.4.2.

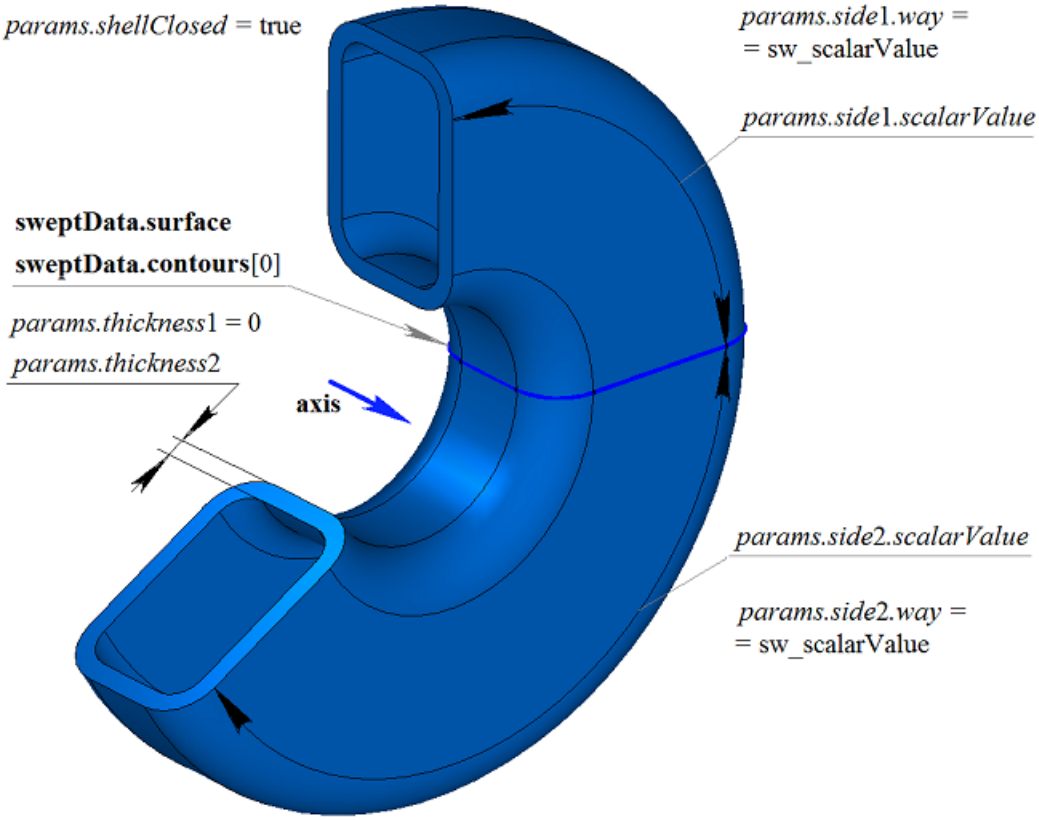


Рис. М.1.4.4.

На рис. М.1.4.5 приведено незамкнутое тело, построенное вращением по заданным параметрам контура, показанного на рис. М.1.4.2. Параметры построения тела, показанного на рис. М.1.4.3, отличаются от параметров построения тела, показанного на рис. М.1.4.5, только величиной *params.shellClosed*.

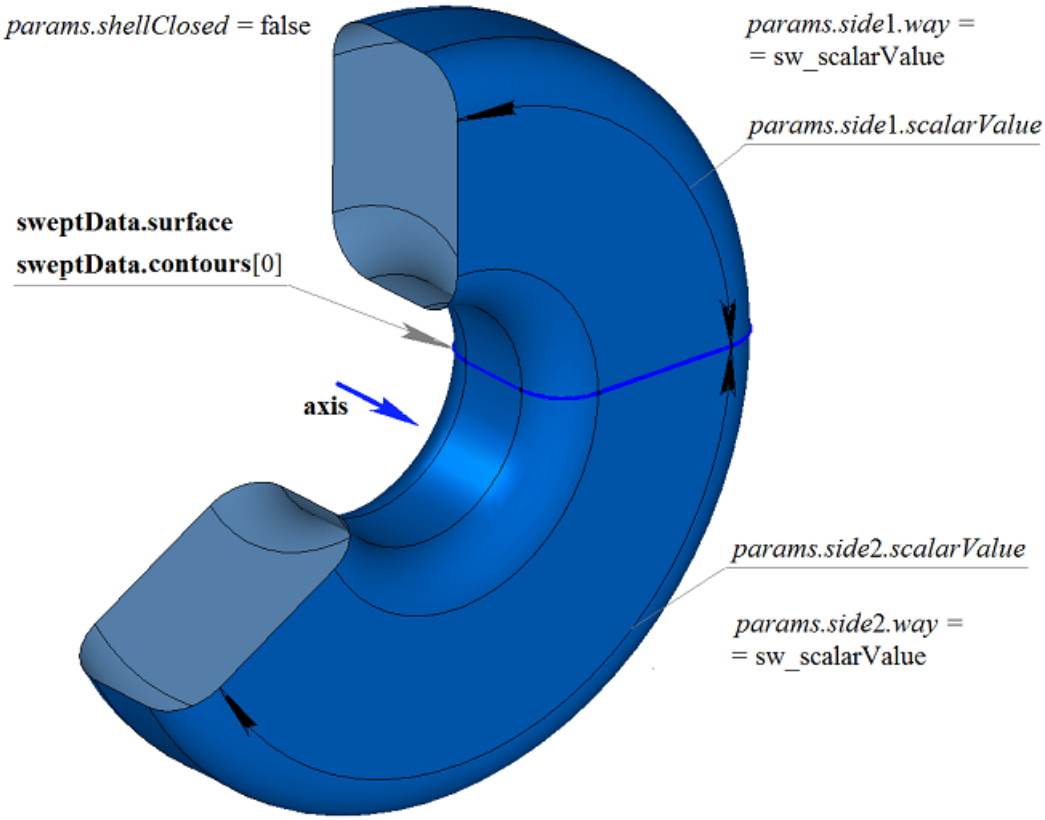


Рис. М.1.4.5.

На рис. М.1.4.6 приведен двумерный контур **contour**, плоская поверхность **surface** (MbPlane) и две поверхности **surface**1 и **surface**2, которые будут использоваться при построении тела вращения. Для построения необходимо, чтобы поверхности **surface**1 и **surface**2 полностью перекрывали путь движения контура в соответствующем направлении. При этом следует учитывать параметры *params.thickness*1, *params.thickness*2. Тело вращения обрезается заданными поверхностями или эквидистантными к ним поверхностями, если *params.side*1.*distance* или *params.side*2.*distance* не равны нулю.

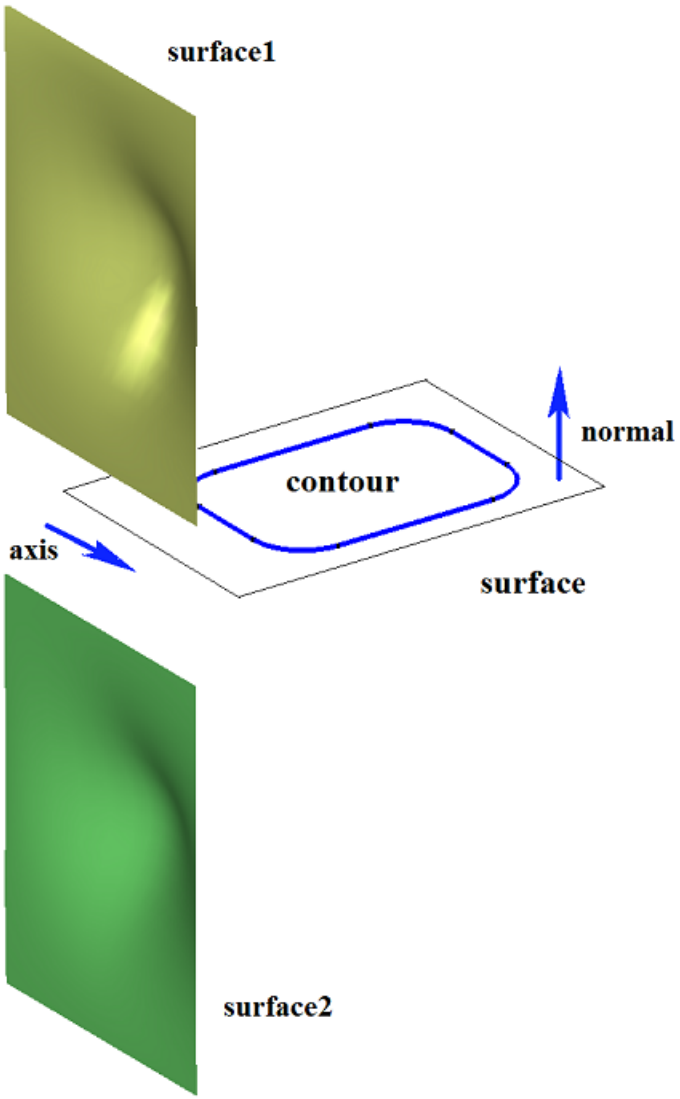


Рис. М.1.4.6.

На рис. М.1.4.7 приведено тело, построенное вращением контура, показанного на рис. М.1.4.6, с опциями «До поверхности», в качестве которых заданы **surface**1 и **surface**2.

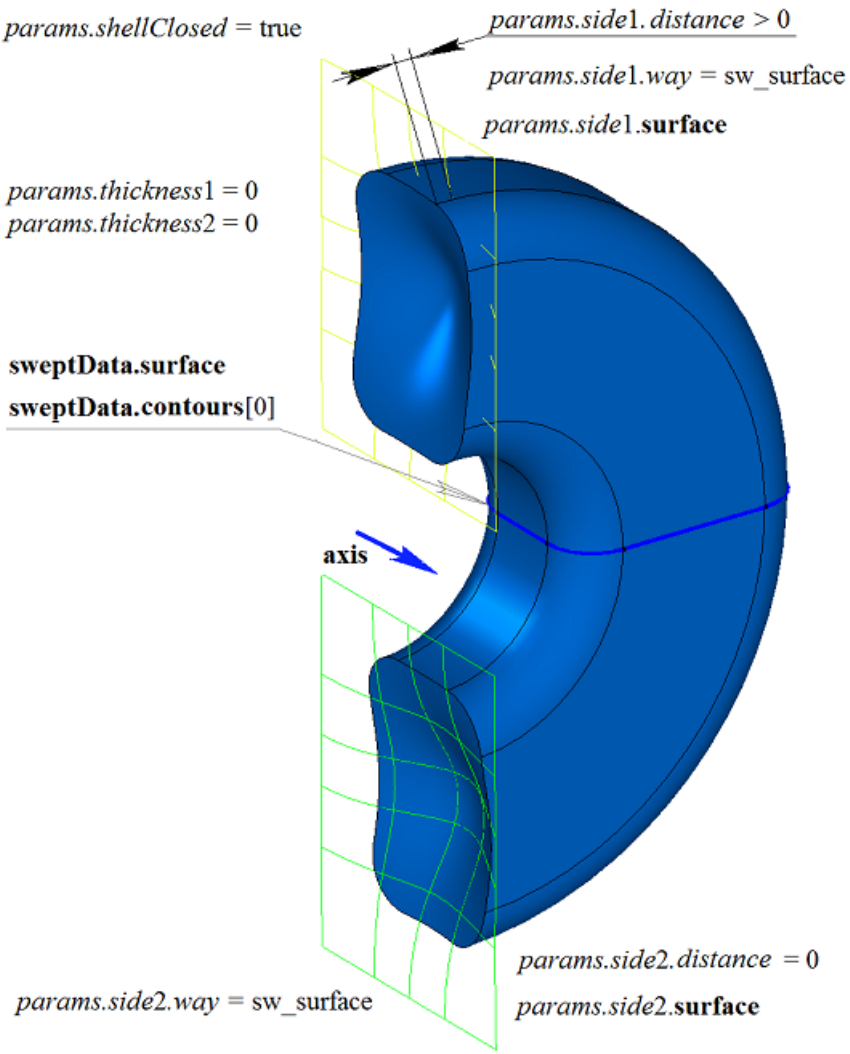


Рис. М.1.4.7.

На рис. М.1.4.8 приведено тонкостенное тело, построенное вращением контура, показанного на рис. М.1.4.6, с опциями «До поверхности», в качестве которых заданы **surface**1 и **surface**2.

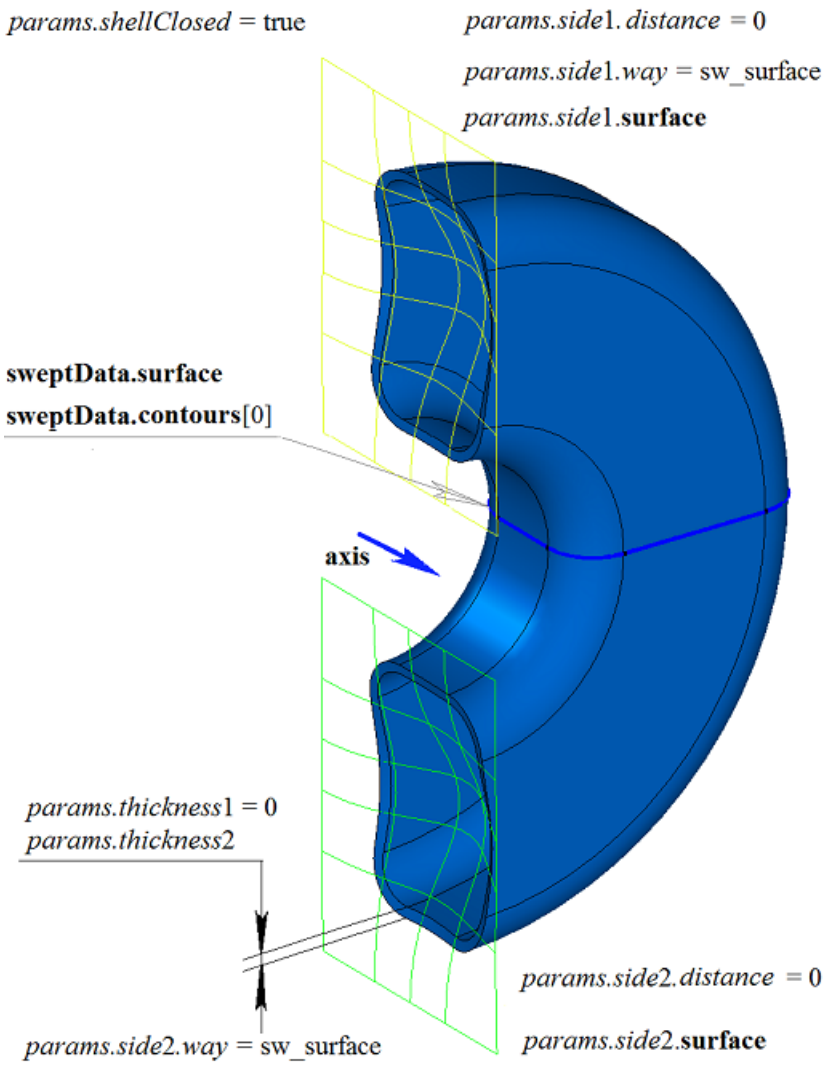


Рис. М.1.4.8.

Двумерный контур может располагаться на плоской или криволинейной поверхности. Например, тело можно построить вращением контура на криволинейной поверхности, полученного от цикла одной из граней твердого тела, показанного на рис. М.1.4.9.

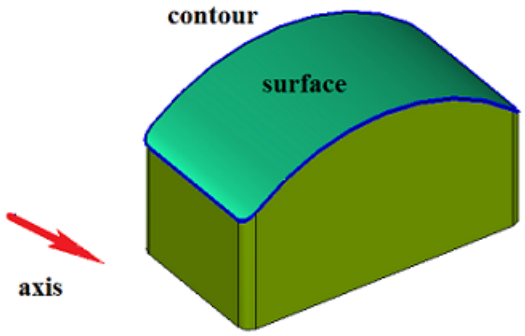


Рис. М.1.4.9

На рис. М.1.4.10 приведено тело, полученное вращением контура на криволинейной поверхности, приведенной на рис. М.1.4.9.

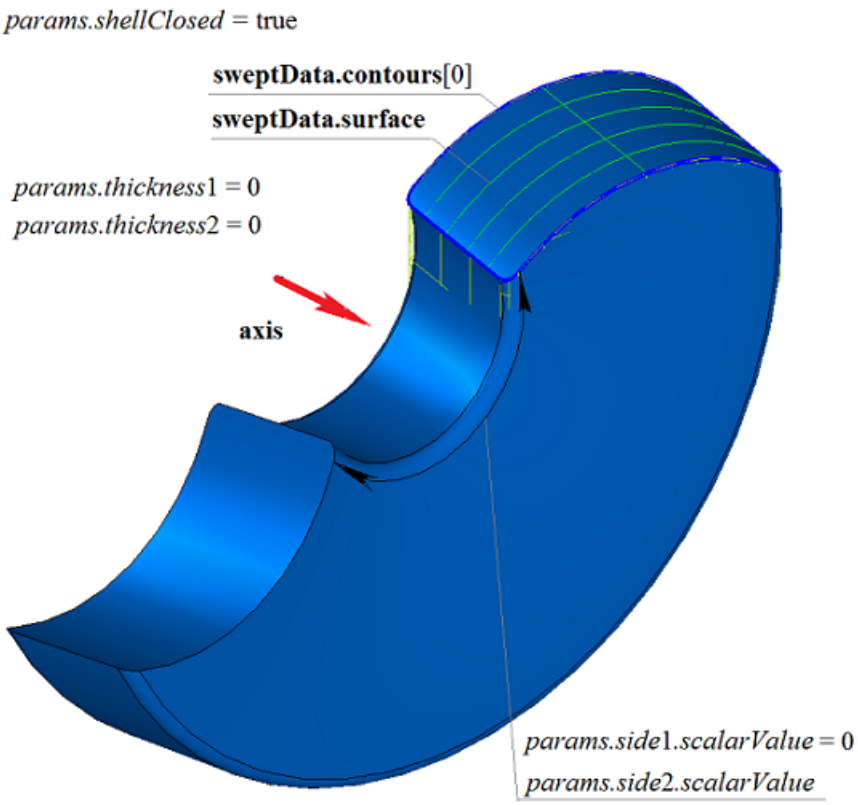


Рис. М.1.4.10.

На рис. М.1.4.11 приведено тонкостенное тело, полученное вращением контура на криволинейной поверхности, приведенной на рис. М.1.4.9.

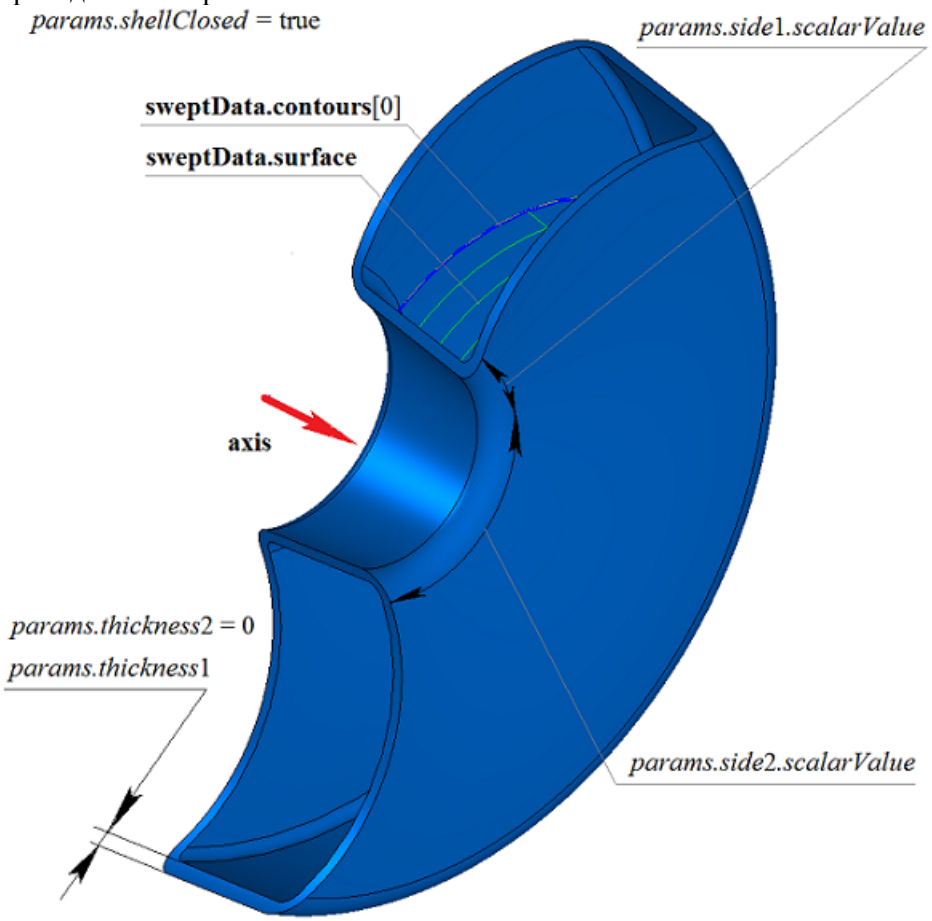


Рис. М.1.4.11.

На рис. М.1.4.12 приведено незамкнутое тело, полученное вращением контура на криволинейной поверхности, приведенной на рис. М.1.4.9.

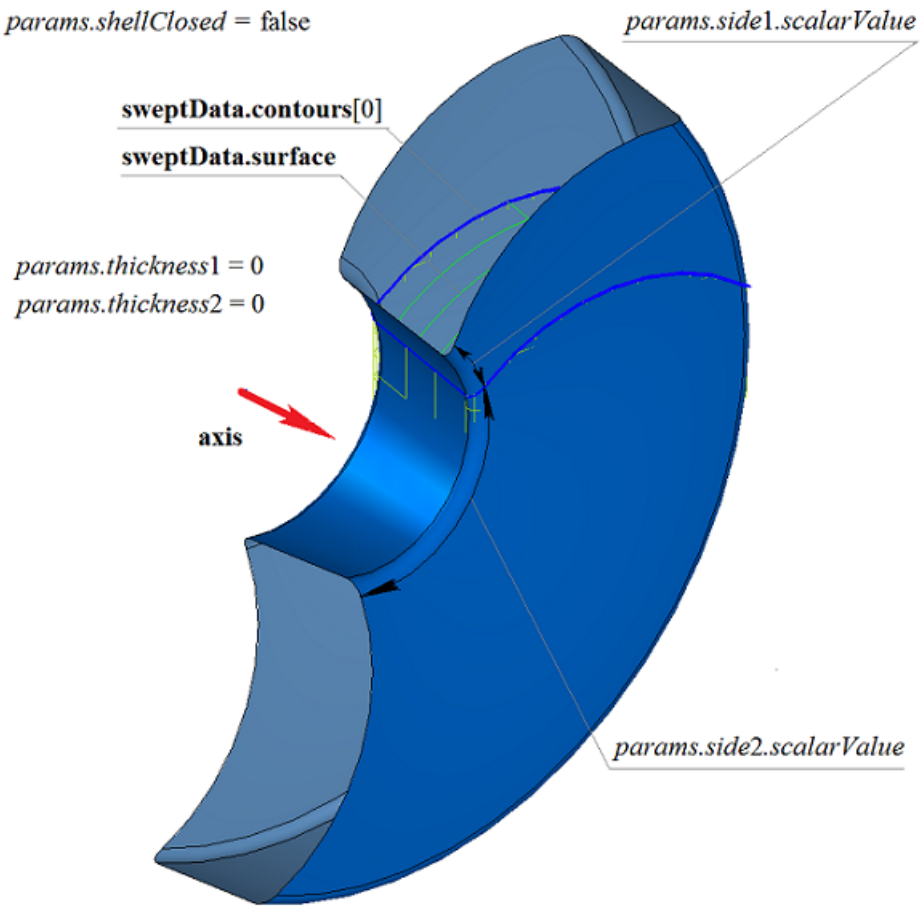


Рис. М.1.4.12.

Если на одной поверхности расположено множество не пересекающихся двумерных контуров, то рассматриваемый метод определяет внешние контуры и вложенные в них внутренние контуры, причем вложение может быть многократным. На рис. М.1.4.13 приведено множество не пересекающихся двумерных контуров **contours** и плоская поверхность **surface** (MbPlane).

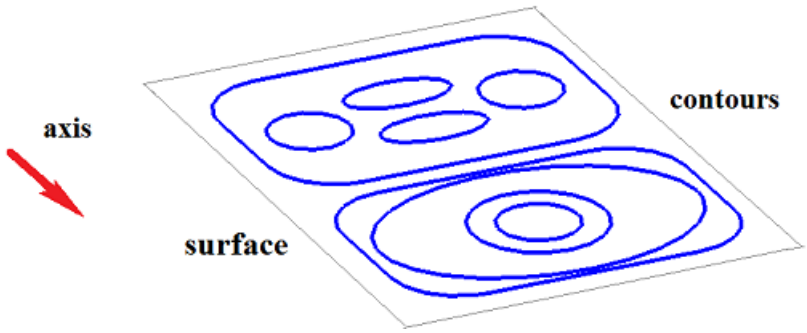


Рис. М.1.4.13.

На рис. М.1.4.14 приведено замкнутое тело, состоящее из нескольких частей, построенное вращением множества контуров, показанного на рис. М.1.4.13.

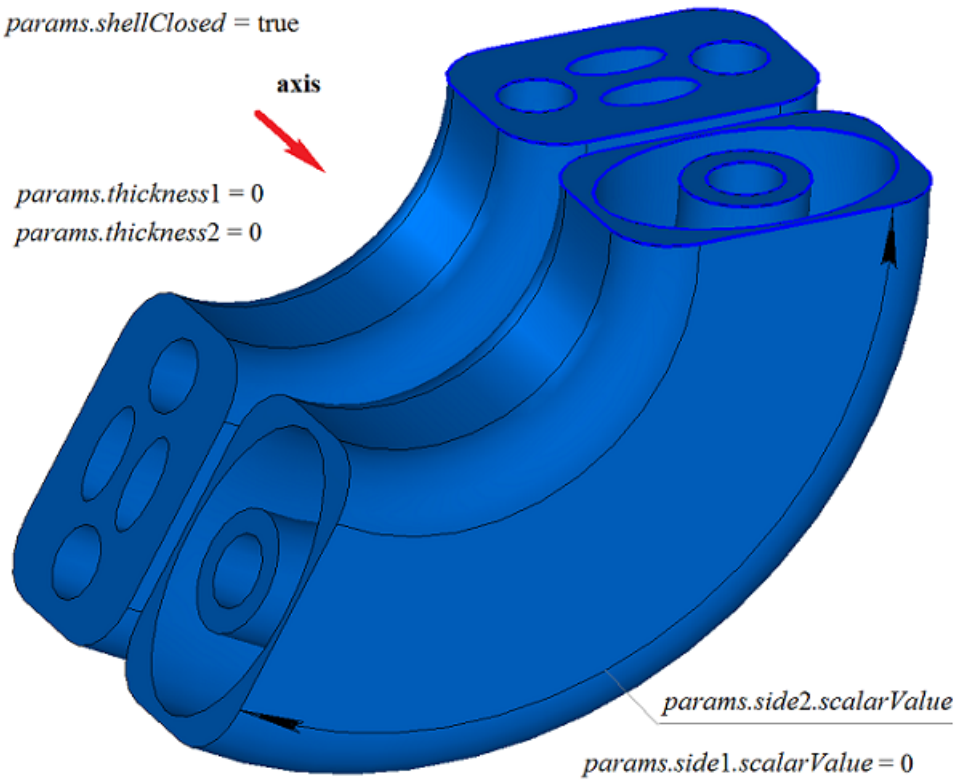


Рис. М.1.4.14.

На рис. М.1.4.15 приведено замкнутое тонкостенное тело, состоящее из нескольких частей, построенное вращением множества контуров, показанного на рис. М.1.4.13.

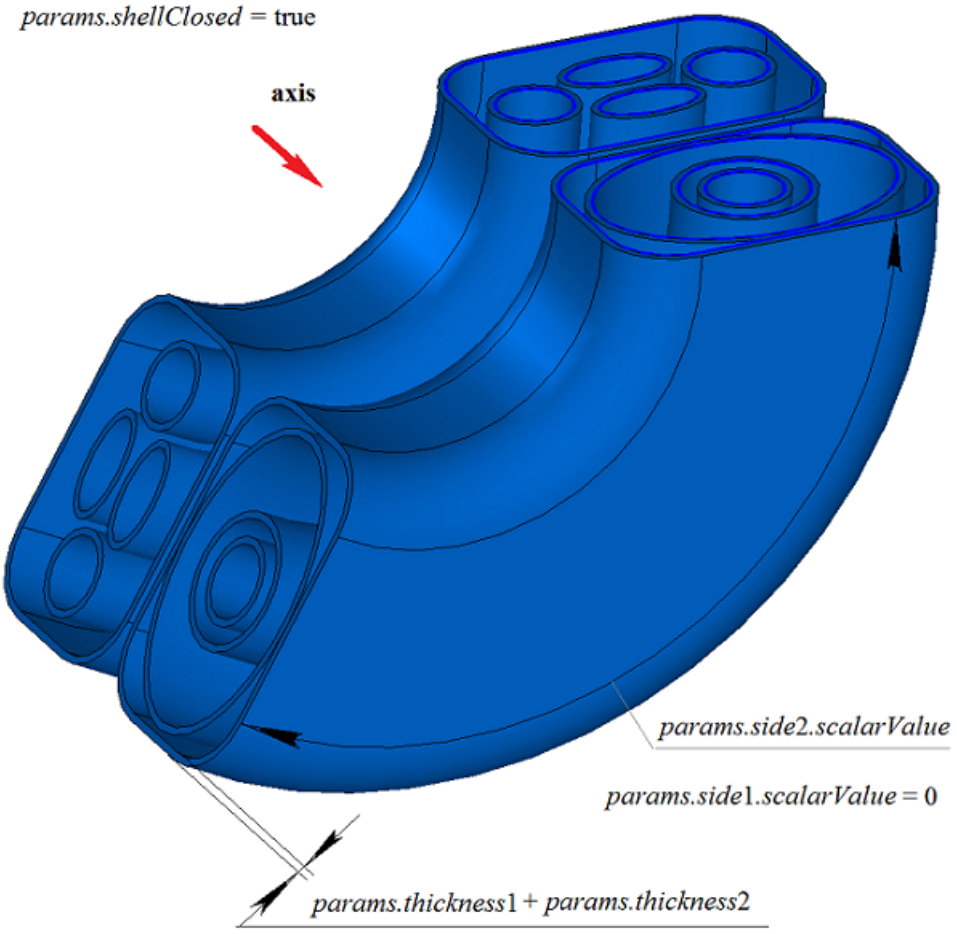


Рис. М.1.4.15.

На рис. М.1.4.16 приведены два трехмерных контура.

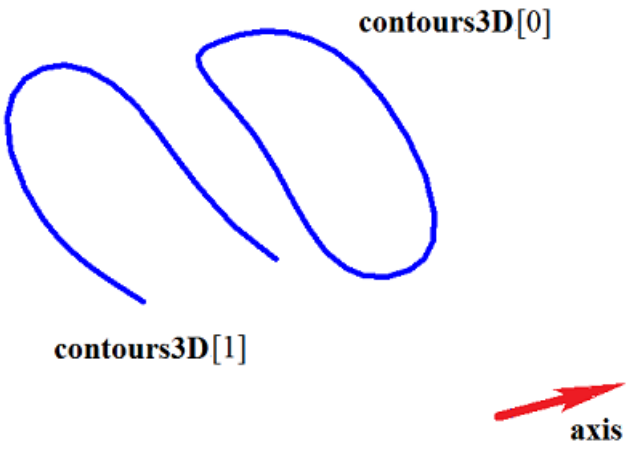


Рис. М.1.4.16.

На рис. М.1.4.17 приведено двусвязное тонкостенное замкнутое тело, полученное вращением трехмерных контуров, приведенных на рис. М.1.4.16.

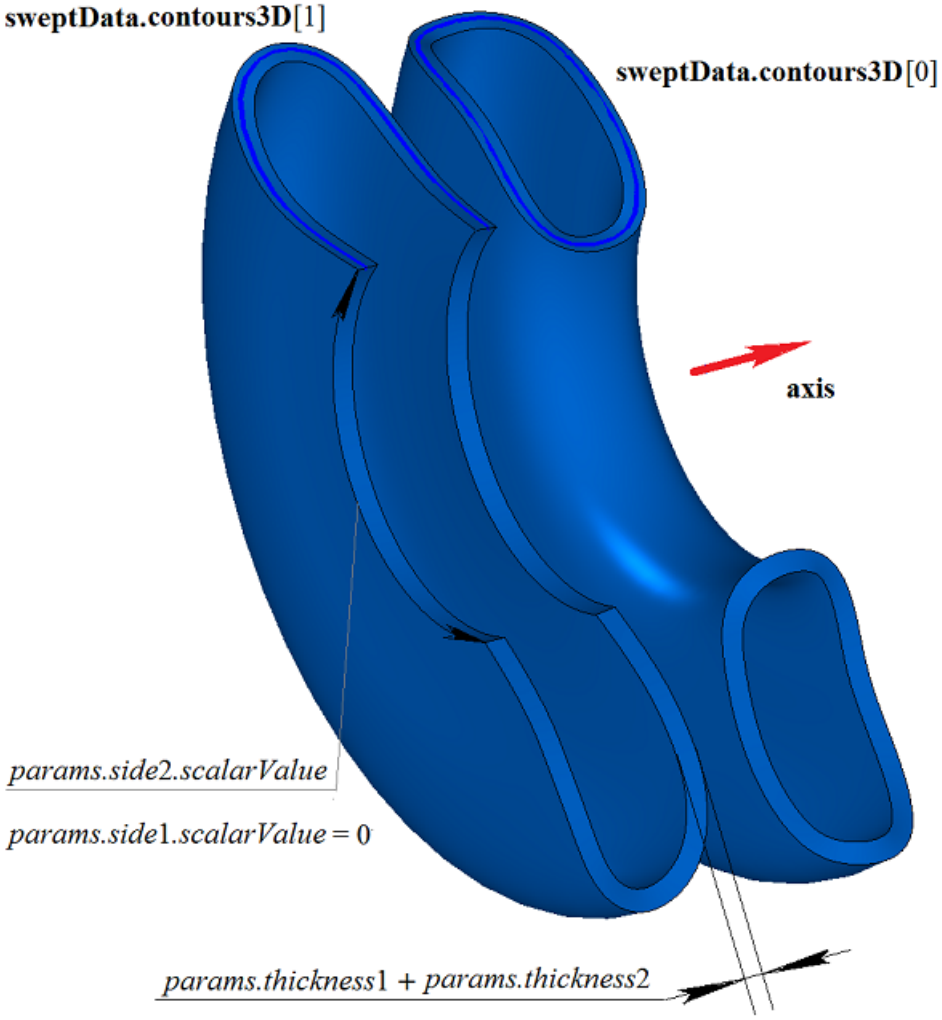


Рис. М.1.4.17.

На рис. М.1.4.18 приведены два незамкнутых тела, полученных вращением трехмерных контуров, приведенных на рис. М.1.4.16.

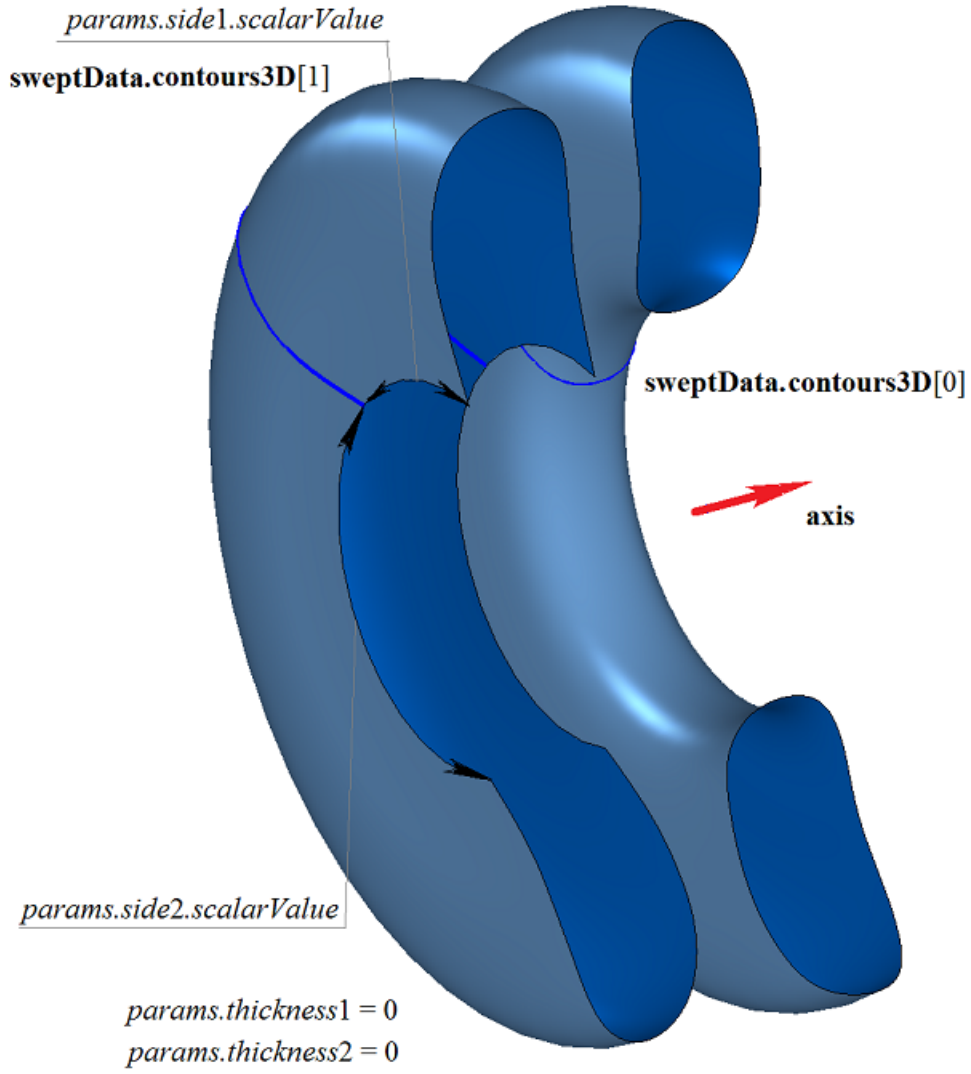


Рис. M.1.4.18.

Метод построения тела вращения **RevolutionSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbRevolutionSolid, который содержит все необходимые для построения тела данные. Строитель MbRevolutionSolid объявлен в файле cr_revolution_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет построение тела вращения командами меню «Создать->Тело->На базе кривых->Вращением поверхностной кривой» и «Создать->Тело->На базе кривых->Вращением трехмерной кривой».

M.1.5. Построение тела заметания

Метод
MbResultType
EvolutionSolid (const MbSweptData & **sweptData**,
const MbCurve3D & **spine**,
EvolutionValues & *params*,
const MbSNameMaker & names,
const MbSNameMaker & cnames,
const MbSNameMaker & snames,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение тела заметания путем движения образующей кривой вдоль направляющей кривой.

Входными параметрами метода являются:

- **place** – локальная система координат образующего контура,
- **contour** – образующий контур,
- **spine** – направляющая кривая,
- *params* – параметры построения,
- names – именователь граней,
- cnames – именователь образующей,
- snames – именователь направляющей.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Тело заметания представляет собой общий случай тела движения, которые получают путем движения образующей кривой вдоль направляющей кривой. Направляющей кривой тела заметания служит произвольная кривая.

Параметр **sweptData** содержит информацию об образующих кривых. Класс MbSweptData и структура EvolutionValues описаны в файле swept_parameter.h. Образующие кривые могут представлять собой двумерные контуры **contours** на поверхности **surface** или контуры в пространстве **contours3D**. В частном случае двумерные контуры **contours** могут располагаться на плоскости. Ориентация контуров **contours** может быть произвольной. Контуры **contours** могут быть вложены друг в друга. Контуры **contours** не должны пересекать друг друга.

Движение образующих кривых выполняется вдоль направляющей кривой **spine**. Параметр *params* содержит информацию о способе движения, наличии и толщине стенок тела, замкнутости построенного тела. Параметры *params.thickness*1 и *params.thickness*2 определяют толщину стенки построенного тонкостенного тела. Параметр *params.thickness*1 задает отступ наружу от образующей кривой, а параметр *params.thickness*2 задает отступ внутрь от образующей кривой. Параметр *params.shellClosed* управляет замкнутостью построенного тела. Параметр *params.checkSelfInt* сообщает о необходимости проверки результата построения на самопересечение. По умолчанию *params.checkSelfInt*=false, проверка не выполняется, и метод допускает построение самопересекающегося тела. Движение может выполняться тремя способами. Способом движения управляет параметр *params.mode*. При *params.mode*=0 образующие кривые движутся плоскопараллельно, при *params.mode*=1 при движении образующие кривые сохраняют свое положение в локальной системе координат, касательной к образующей кривой, при *params.mode*=2 до начала движения образующие кривые переносятся в плоскость, перпендикулярную направляющей кривой в ее начале, а далее движении сохраняют свое положение в локальной системе координат, касательной к образующей кривой.

На рис. М.1.5.1 приведены данные, используемые при построении, и схема наследования параметров построения тела заметания EvolutionValues & *params*.

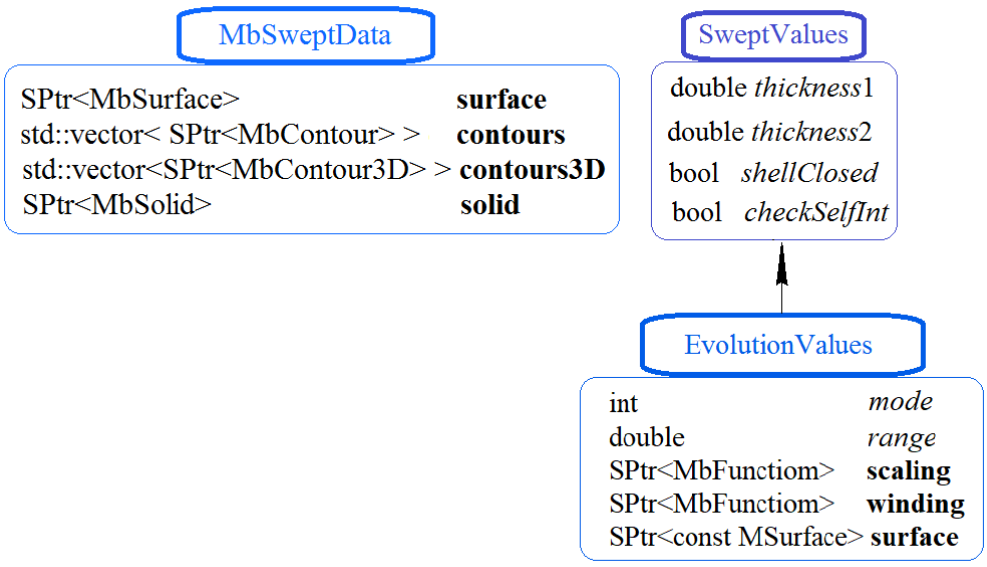


Рис. М.1.5.1.

Образующая кривая в процессе движения вдоль траектории может менять свою форму, а также менять масштаб по заданному закону и поворачиваться по заданному закону. Параметр *params.range* определяет эквидистантное смещение точек образующей кривой в конце траектории. Эквидистантное изменение образующей кривой выполняется по линейному закону. Функция *params.scaling* определяет закон масштабирования образующей кривой. Функция *params.winding* определяет закон поворота образующей кривой. Поверхность *params.surface* используется для управления направляющей кривой **spine**.

Параметры names, cnames и snames обеспечивают именование граней построенного тела.

На рис. М.1.5.2 приведен двумерный контур **contour**, плоская поверхность **surface** (MbPlane) и направляющая кривая **spine**.

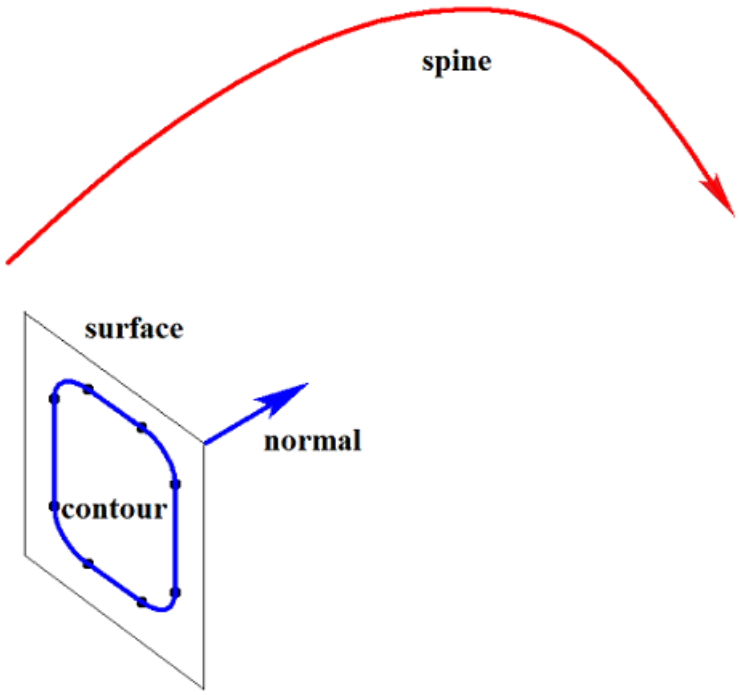


Рис. М.1.5.2.

На рис. М.1.5.3 приведено тело заметания, построенное движением контура вдоль направляющей, показанного на рис. М.1.5.2, способом, определяемым параметром *params.mode*=0, при котором плоскости торцев тела сохраняют параллельность.

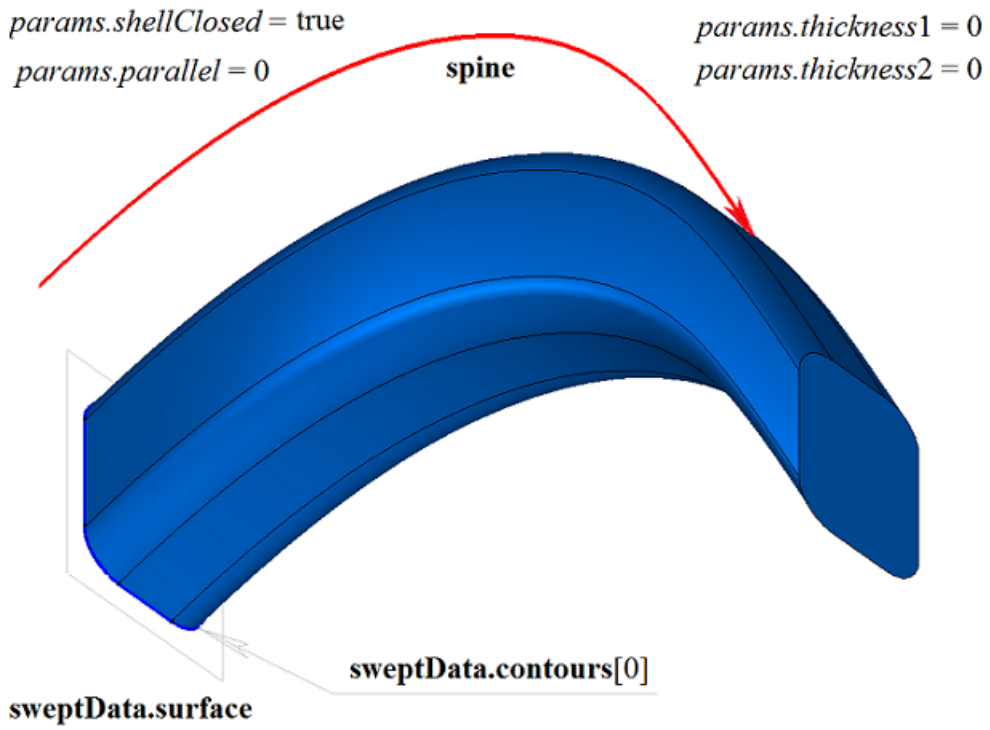


Рис. М.1.5.3.

На рис. М.1.5.4 приведено тело заметания, построенное движением контура вдоль направляющей, показанного на рис. М.1.5.2, способом, определяемым параметром *params.mode*=1, при котором плоскость конечного торца тела сохраняет положение относительно конца направляющей таким же, какое положение имеет плоскость начального торца относительно начала направляющей кривой.

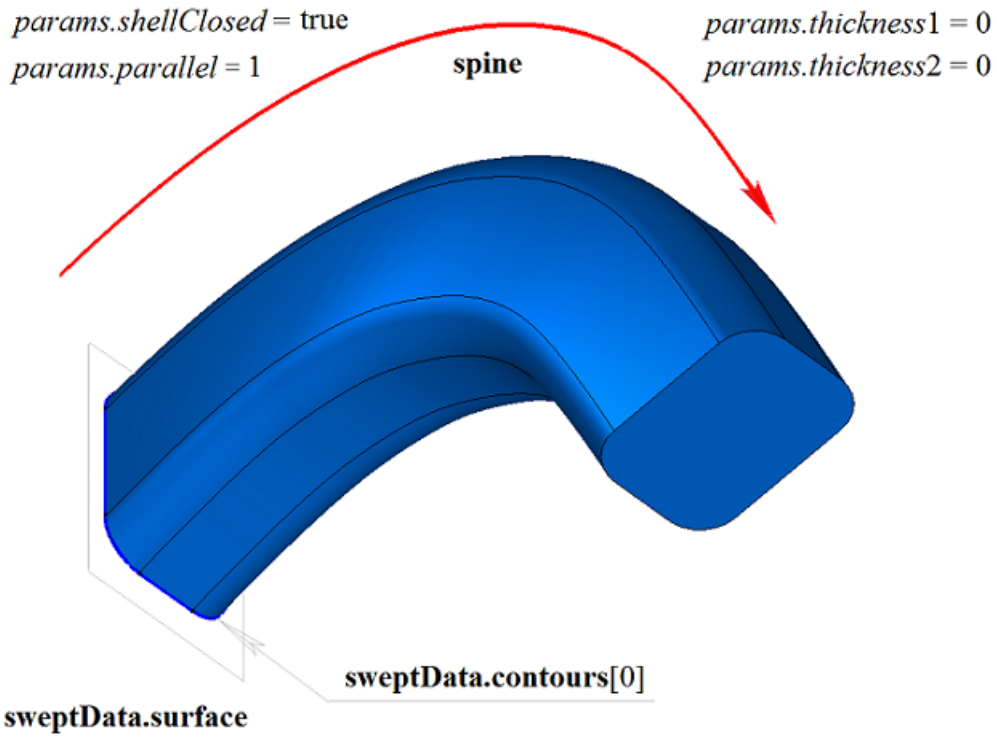


Рис. М.1.5.4.

На рис. М.1.5.5 приведено тело заметания, построенное движением контура вдоль направляющей, показанного на рис. М.1.5.2, способом, определяемым параметром *params.mode*=2, при котором плоскости торцев тела сохраняют перпендикулярность направляющей в начале и конце кривой.

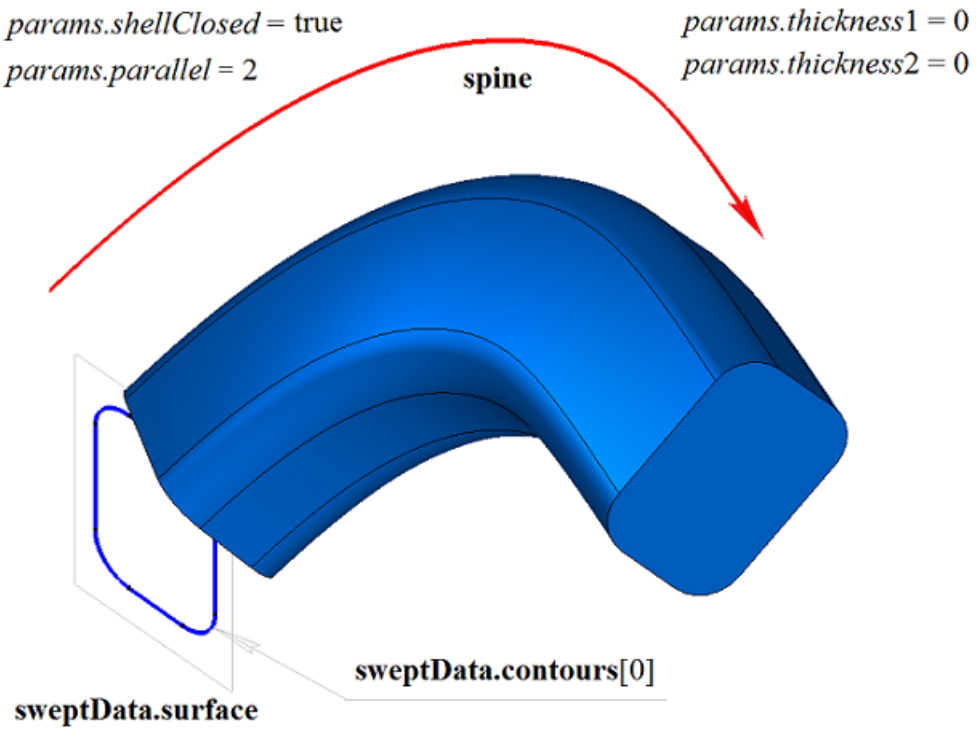


Рис. М.1.5.5.

На рис. М.1.5.6 приведено замкнутое тонкостенное тело заметания, построенное движением контура вдоль направляющей, показанного на рис. М.1.5.2, способом, определяемым параметром *params.mode*=1. Каждому сегменту контура соответствует грань тела, имя которой взято от соответствующего элемента генератора имен cnames[0].

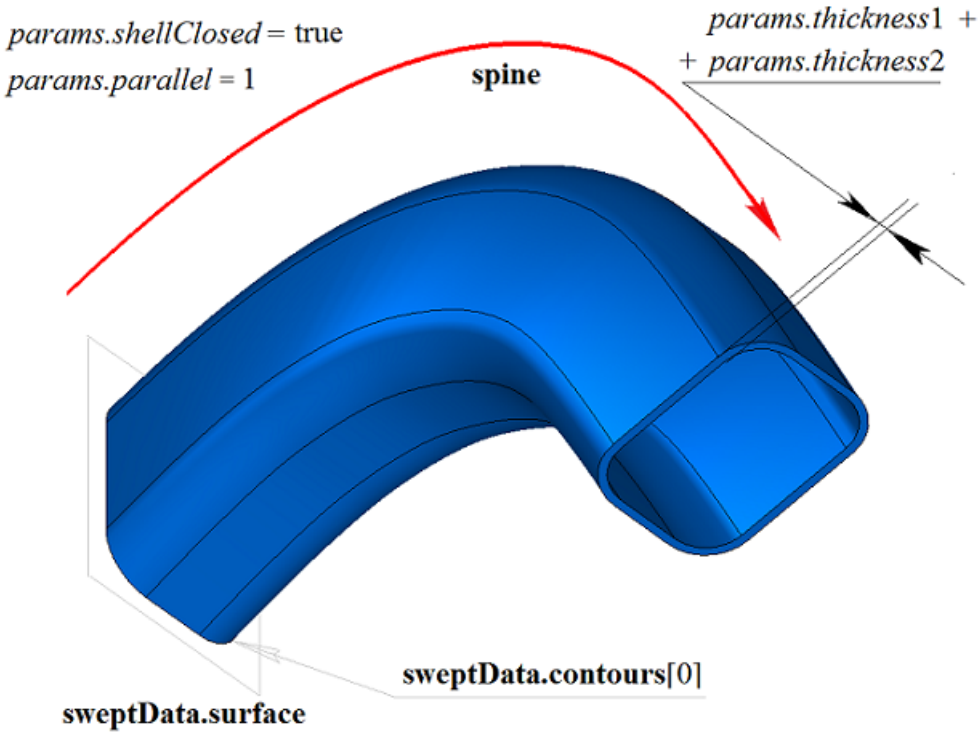


Рис. М.1.5.6.

На рис. М.1.5.7 приведено незамкнутое тело заметания, построенное движением контура вдоль направляющей, показанного на рис. М.1.5.2, определяемым параметром *params.mode*=1. Параметры

построения тела, показанного на рис. М.1.5.4, отличаются от параметров построения тела, показанного на рис. М.1.5.7, только величиной *params.shellClosed*=false.

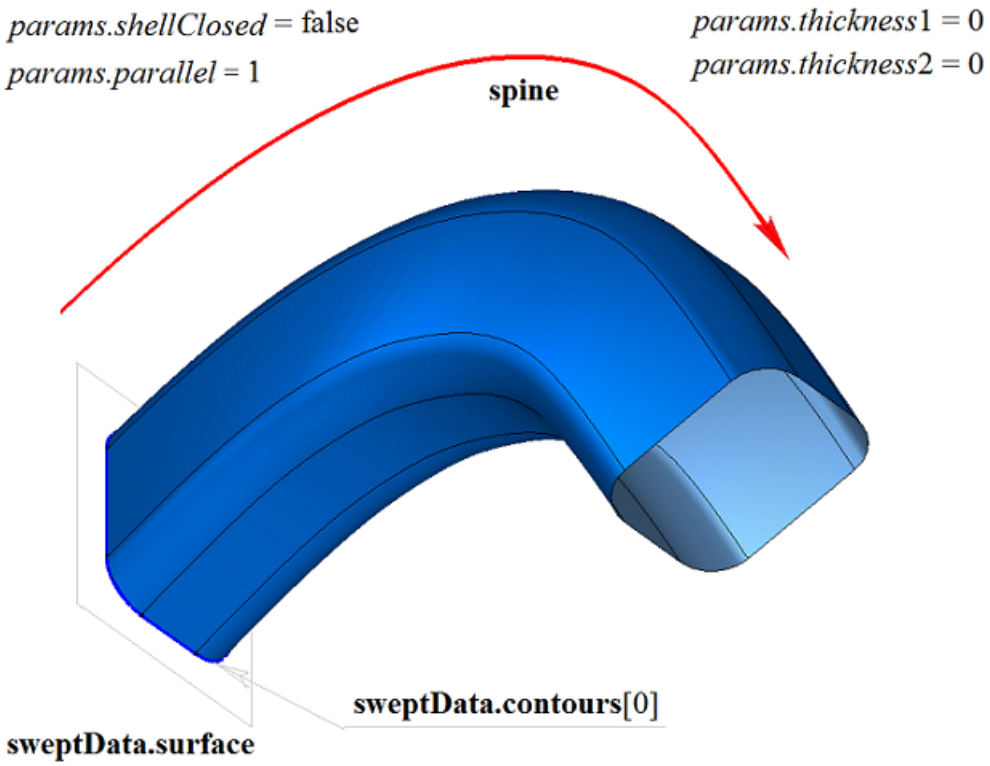


Рис. М.1.5.7.

Двумерный контур может располагаться на плоской или криволинейной поверхности. Например, тело можно построить движением контуров на криволинейной поверхности, полученных от циклов одной из граней твердого тела, показанного на рис. М.1.5.8.

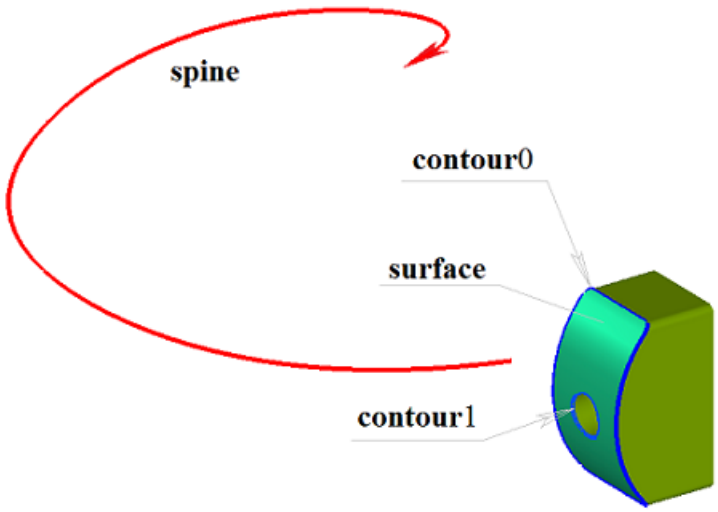


Рис. М.1.5.8.

На рис. М.1.5.9 приведено тело заметания, полученное движением двух контуров на криволинейной поверхности вдоль направляющей, показанных на рис. М.1.5.8. Движение контуров на криволинейной поверхности выполняется способом, соответствующим параметру *params.mode*=1.

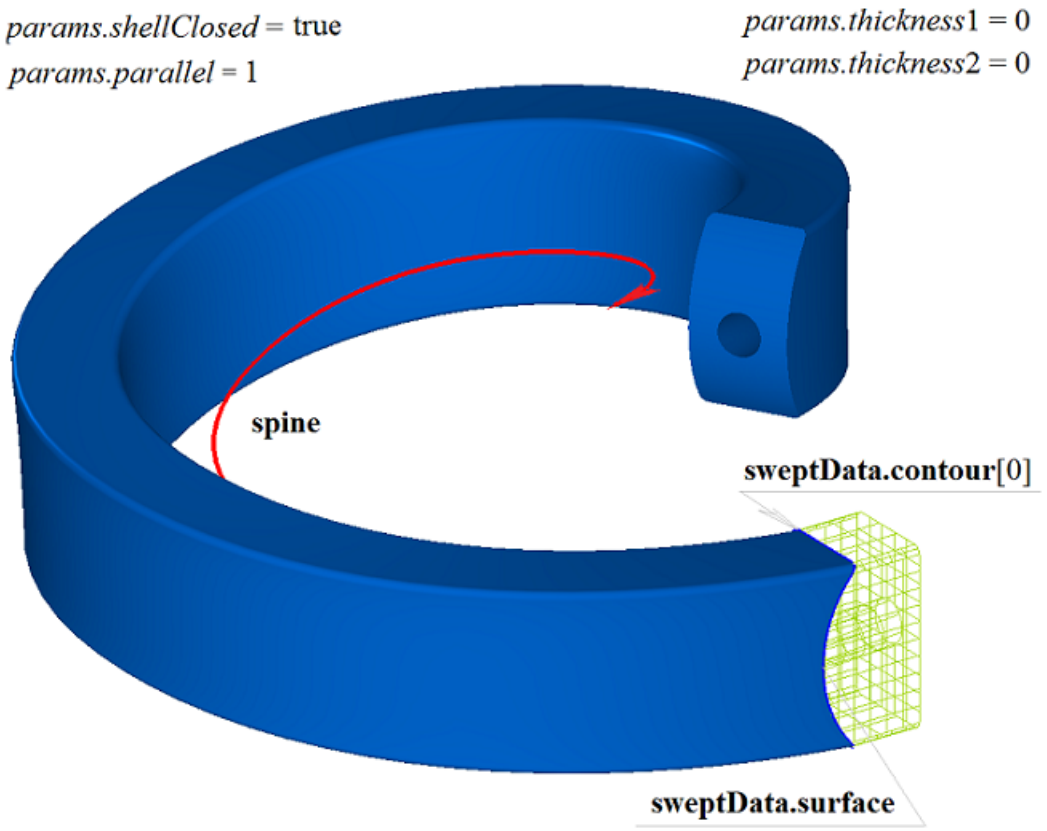


Рис. М.1.5.9.

На рис. М.1.5.10 приведено двусвязное тонкостенное тело заметания, полученное движением двух контуров на криволинейной поверхности вдоль направляющей, показанных на рис. М.1.5.9.

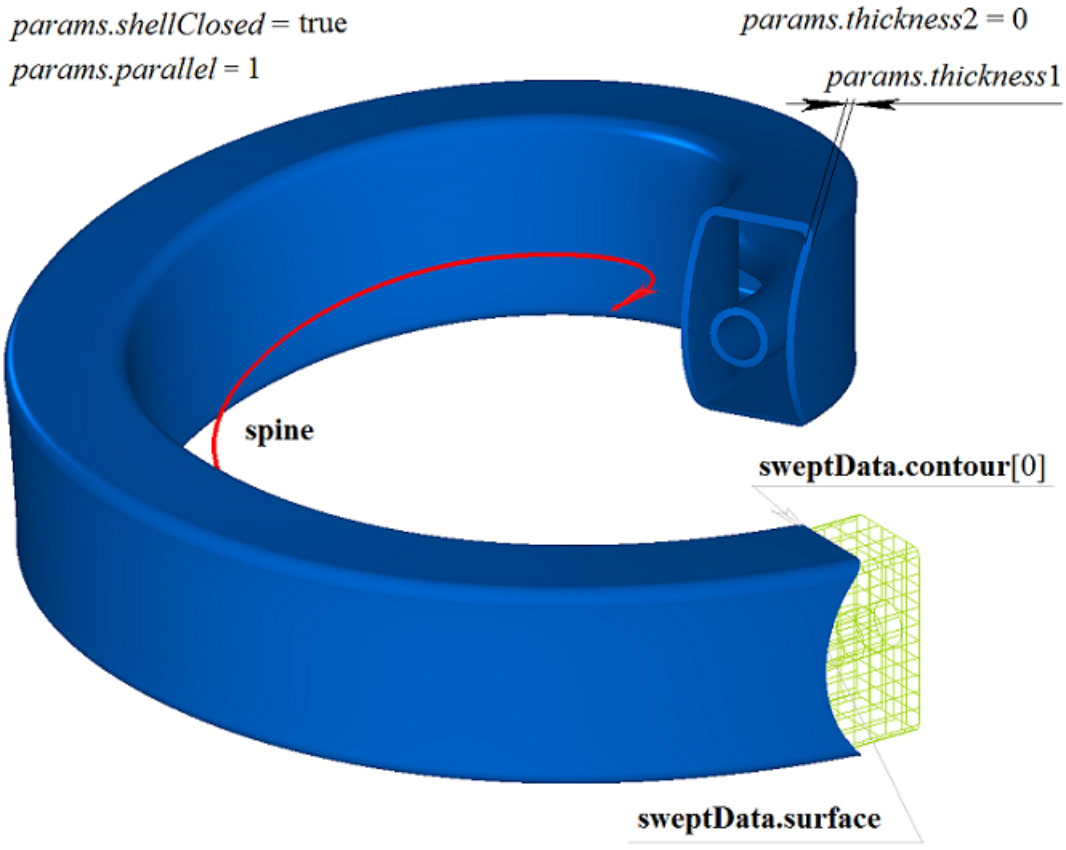


Рис. М.1.5.10.

На рис. М.1.5.11 приведено двусвязное незамкнутое тело заметания, полученное движением двух контуров на криволинейной поверхности вдоль направляющей, показанных на рис. М.1.5.9.

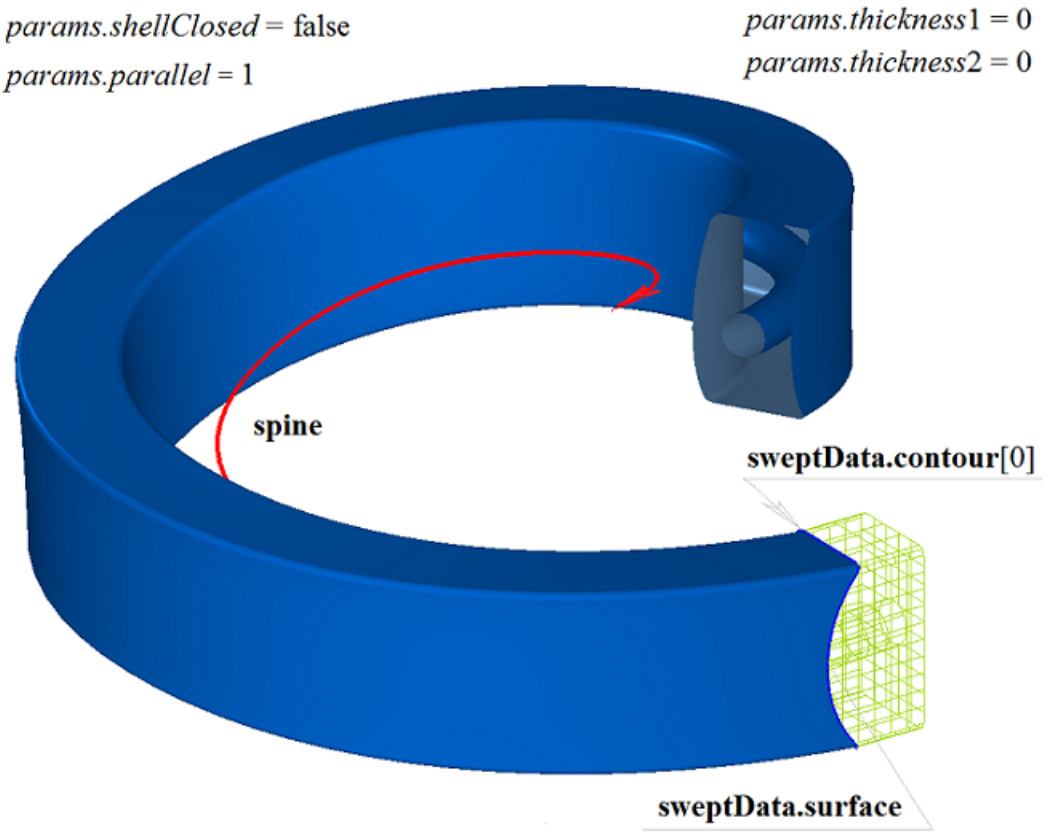


Рис. М.1.5.11.

Если на одной поверхности расположено множество не пересекающихся двумерных контуров, то рассматриваемый метод определяет внешние контуры и вложенные в них внутренние контуры, причем вложение может быть многократным. На рис. М.1.4.12 приведено множество не пересекающихся двумерных контуров **contours**, плоская поверхность **surface** (MbPlane) и направляющая кривая **spine**.

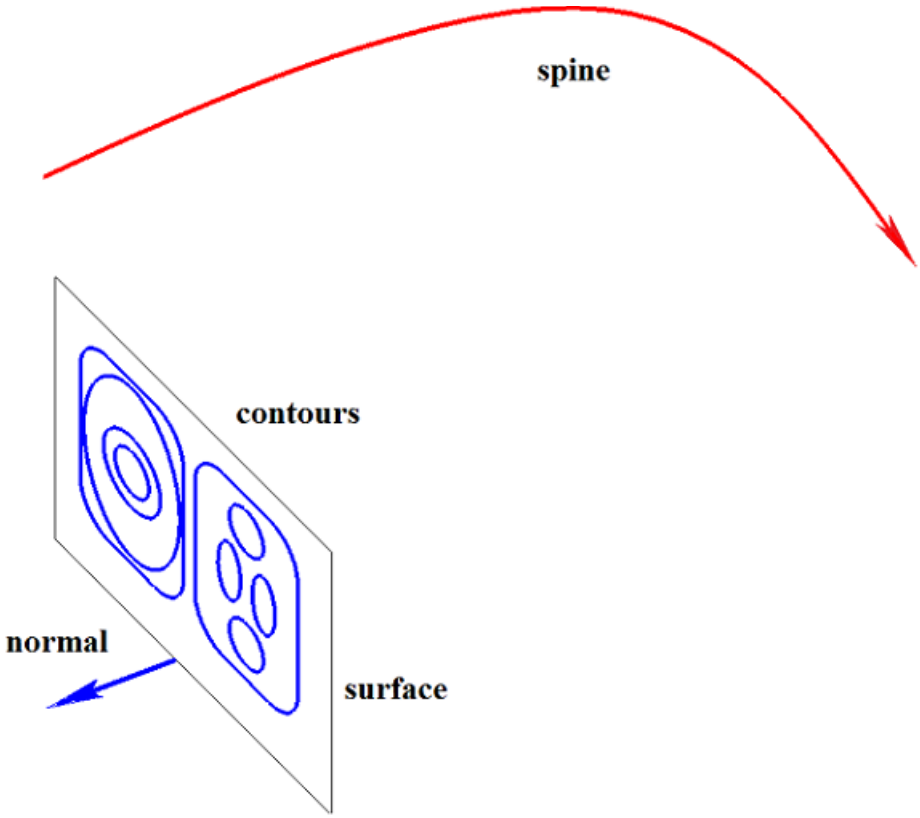


Рис. M.1.5.12.

На рис. M.1.5.13 приведено многосвязное тело заметания, состоящее из нескольких частей, построенное движением множества плоских контуров вдоль направляющей, показанных на рис. M.1.5.12. Контуры не должны пересекаться, но могут быть вложены друг в друга, в том числе многократно.

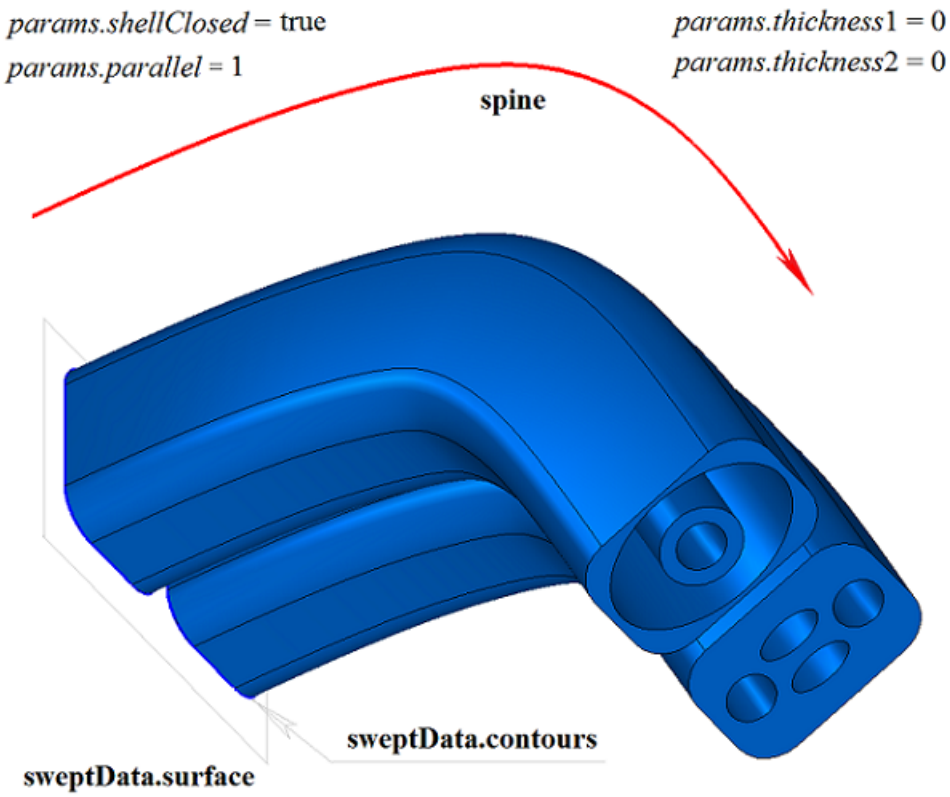


Рис. M.1.5.13.

На рис. М.1.5.14 приведено многосвязное тонкостенное тело заметания, состоящее из нескольких частей, построенное движением множества плоских контуров вдоль направляющей, показанных на рис. М.1.5.12.

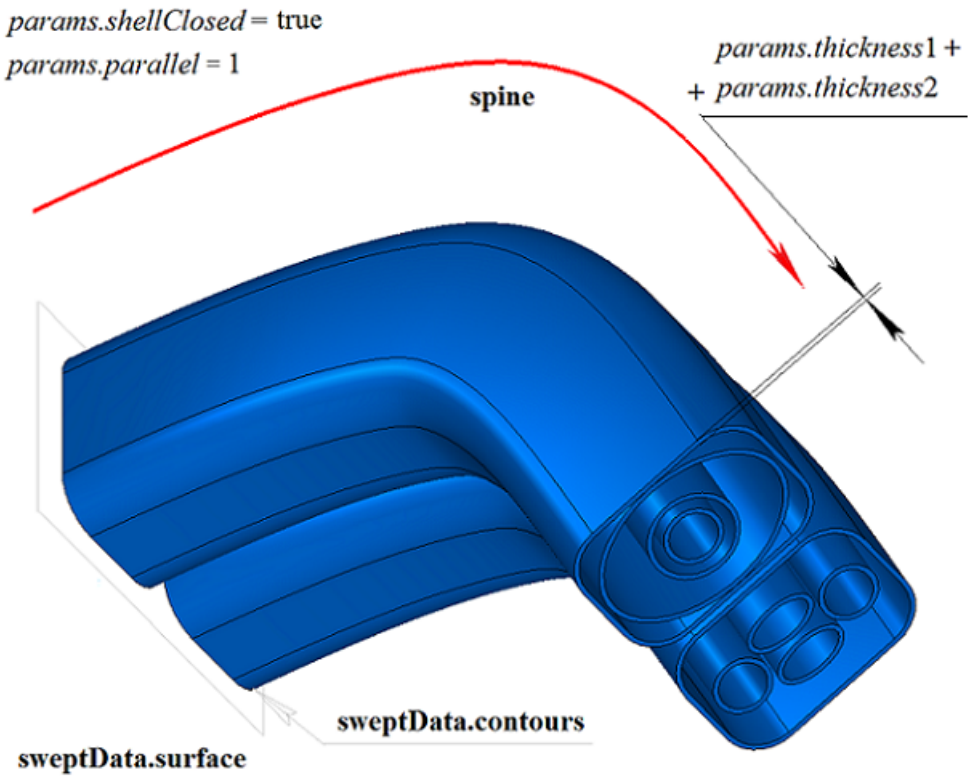


Рис. М.1.5.14.

На рис. М.1.5.15 приведено незамкнутое тело заметания, состоящее из нескольких частей, построенное движением множества плоских контуров вдоль направляющей, показанных на рис. М.1.5.12. При построении незамкнутого тела заметания контуры не должны быть вложены друг друга.

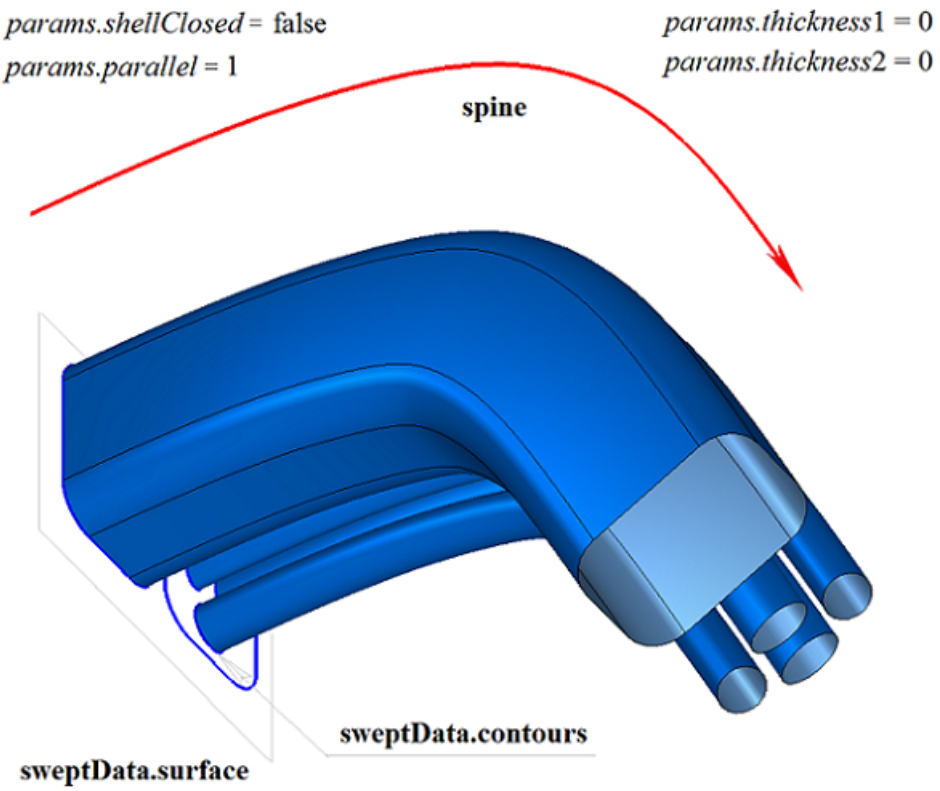


Рис. М.1.5.15.

На рис. М.1.5.16 приведены два трехмерных контура **contour3D**0, **contour3D**1 и направляющая кривая **spine**, которые будут использоваться для построения тел заметания.

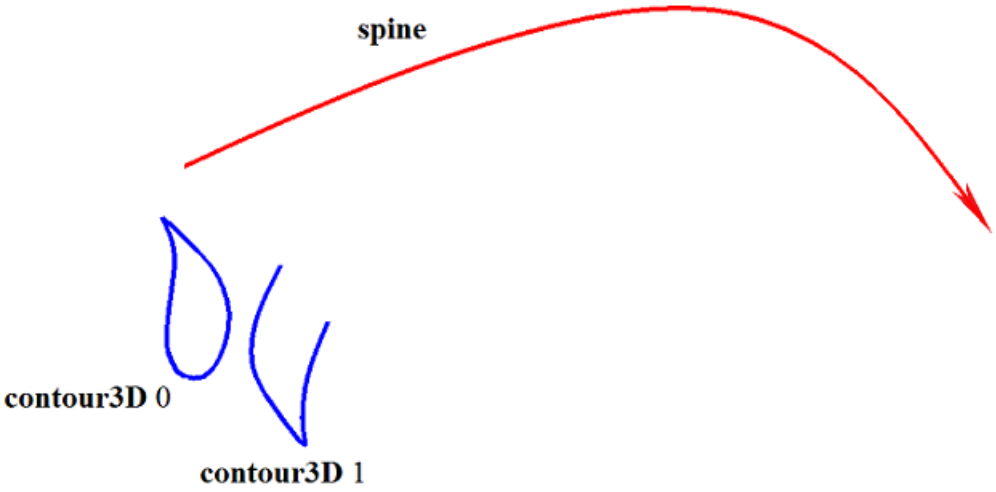


Рис. М.1.5.16.

На рис. М.1.5.17 приведено двусвязное тонкостенное замкнутое тело заметания, полученное движением трехмерных контуров вдоль направляющей, показанных на рис. М.1.5.16.

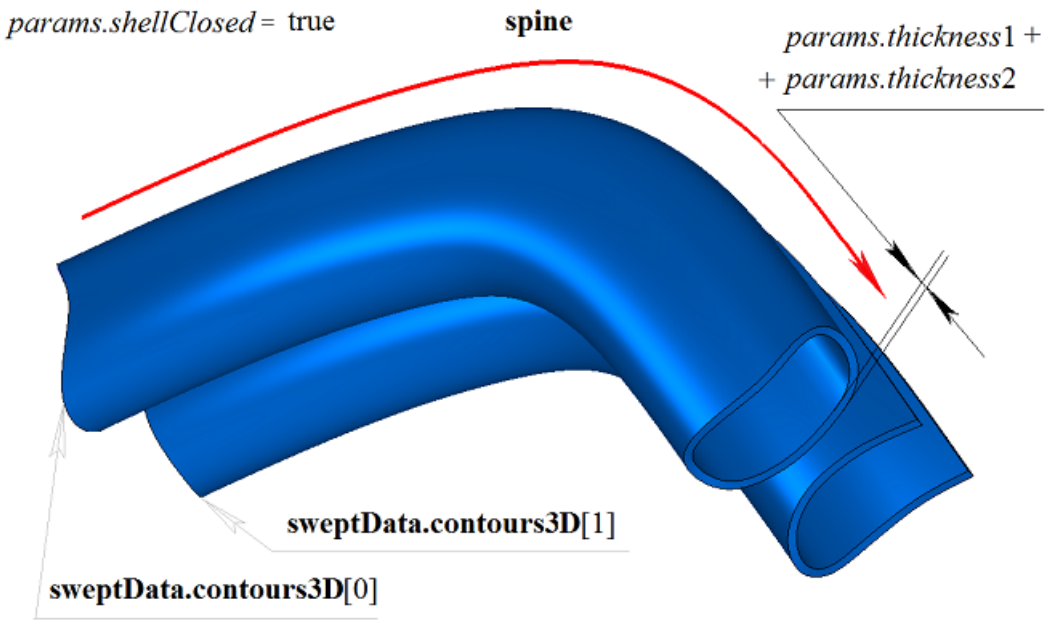


Рис. М.1.5.17.

На рис. М.1.5.18 приведены два незамкнутых тела, полученных движением трехмерных контуров вдоль направляющей, показанных на рис. М.1.5.16.

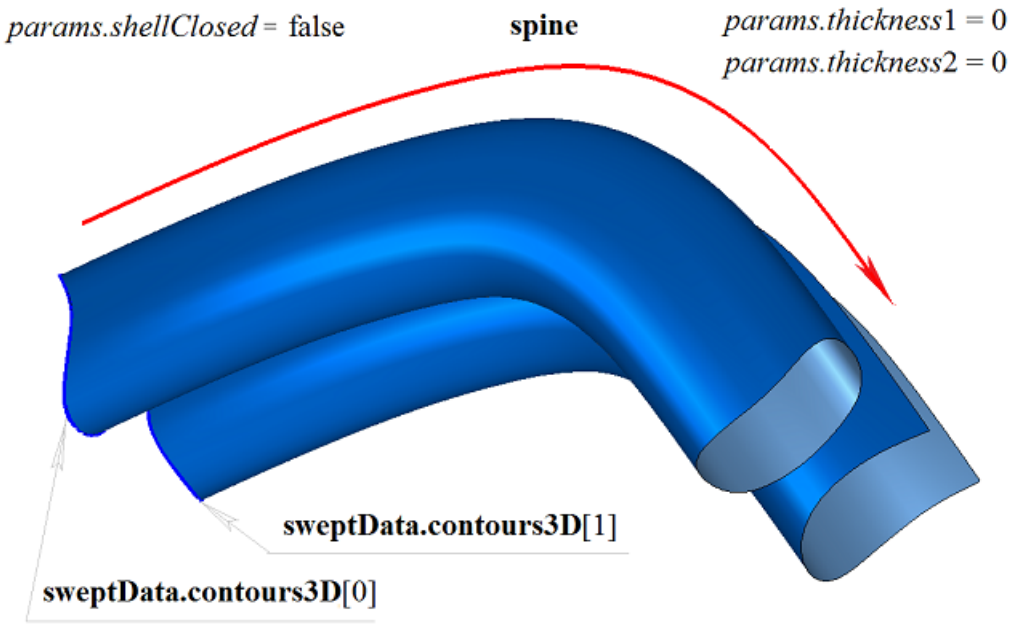


Рис. М.1.5.18.

Метод построения тела заметания **EvolutionSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbEvolutionSolid, который содержит все необходимые для построения тела данные. Строитель MbEvolutionSolid объявлен в файле cr_evolution_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет построение тела заметания командой меню «Создать->Тело->На базе кривых->Движением кривой».

М.1.6. Построение тела по плоским сечениям

Метод
MbResultType
LoftedSolid (SArray<MbPlacement3D> & **places**,
RPArray<MbContour> & **contours**,
const MbCurve3D * **spine**,
LoftedValues & params,
SArray<MbCartPoint3D> * **points**,
const MbSNameMaker & names,
PArray<MbSNameMaker> & snames,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение тела по плоским сечениям.

Входными параметрами метода являются:

- **places** – множество локальных систем координат образующих контуров,
- **contours** – множество образующих контуров,
- **spine** – направляющая кривая (может отсутствовать),
- params – параметры построения,
- **points** – множество контрольных точек (может отсутствовать),
- names – именователь граней,
- snames – именователи образующих контуров.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Поверхность построенного по плоским сечениям тела проходит по всем плоским кривым, определяющим тело. Множество **places** содержит локальные системы координат, в плоскости XY которых располагаются двумерные контуры **contours**. Множества **places** и **contours** согласованы по индексу: **contours**[*i*] располагается в плоскости XY локальной системы координат **places**[*i*]. Ориентация контуров **contours** может быть произвольной. Если все контуры **contours** замкнуты, то для предотвращения перекручивания поверхностей положения начал контуров меняются так, чтобы начала располагались как можно ближе друг к другу. Изменить требуемым образом соответствие точек стыковки кривых множества контуров позволяют контрольные точки **points**. Если множество **points** не пустое, то оно должно быть согласовано с множествами **places** и **contours**. Для управления формой тела между сечениями может использоваться направляющая кривая **spine**. Направляющей кривой тела может служить произвольная кривая.

Параметр *params* содержит информацию о способе движения, наличии и толщине стенок тела, замкнутости построенного тела. Параметры *params.thickness*1 и *params.thickness*2 определяют толщину стенки построенного тонкостенного тела. Параметр *params.thickness*1 задает отступ наружу от образующей кривой, а параметр *params.thickness*2 задает отступ внутрь от образующей кривой. Параметр *params.shellClosed* управляет замкнутостью построенного тела. Параметр *params.checkSelfInt* сообщает о необходимости проверки результата построения на самопересечение. По умолчанию *params.checkSelfInt*=false, проверка не выполняется. Параметр *params.closed* управляет наличием торцов у тела. При *params.closed*=true торцы тела отсутствуют и тело имеет топологию тора. Векторы *params.***vector**1 и *params.***vector**2 задают направление тела в районе начального и конечного торцов, например они позволяют задать направление тела в районе торцов ортогональным плоскостям торцов. По умолчанию векторы *params.***vector**1 и *params.***vector**2 равны нулю.

На рис. М.1.6.1 приведены данные, используемые при построении, и схема наследования параметров построения тела по плоским сечениям LoftedValues & *params*.

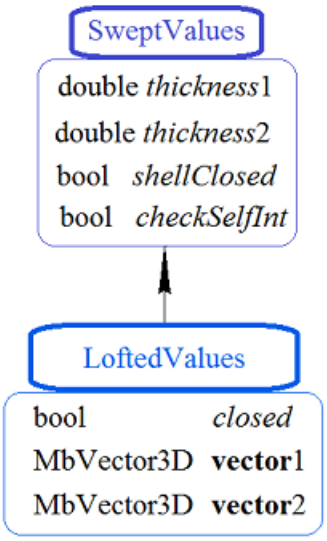


Рис. М.1.6.1.

Параметры names и snames обеспечивают именование граней построенного тела.
На рис. М.1.6.2 приведено множество двумерных контуров **contours** и их локальные системы координат **places**. Стрелками указаны направления нормалей локальных систем координат.

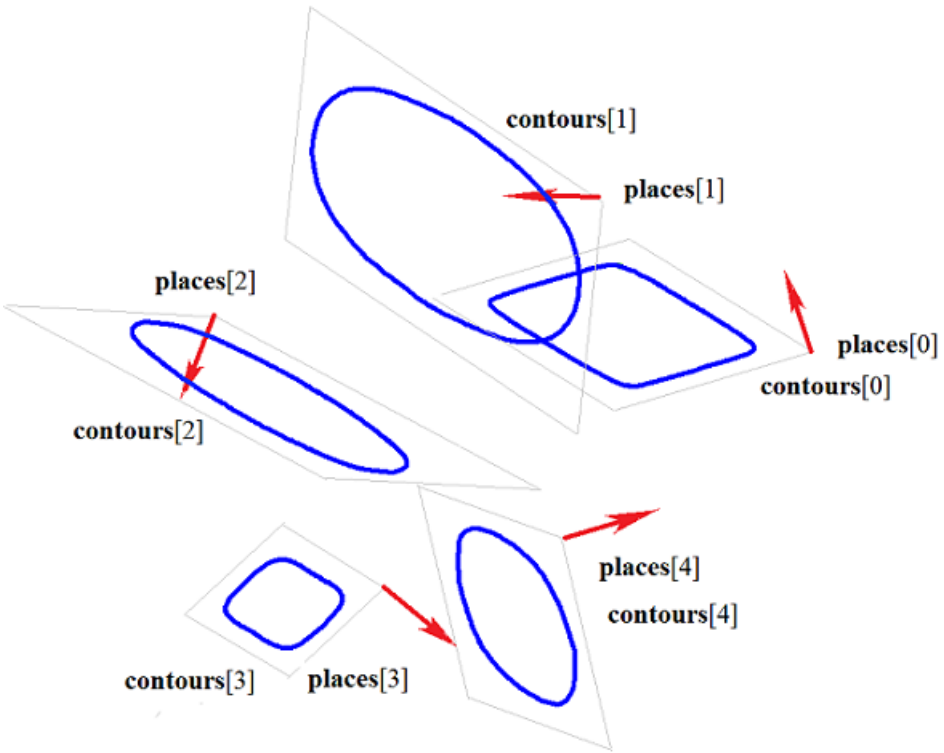


Рис. М.1.6.2.

На рис. М.1.6.3 приведено тело, построенное по плоским сечениям, приведенным на рис. М.1.6.2, с заданными направлениями нормалей на торцах для значения параметра *params.closed*=false.

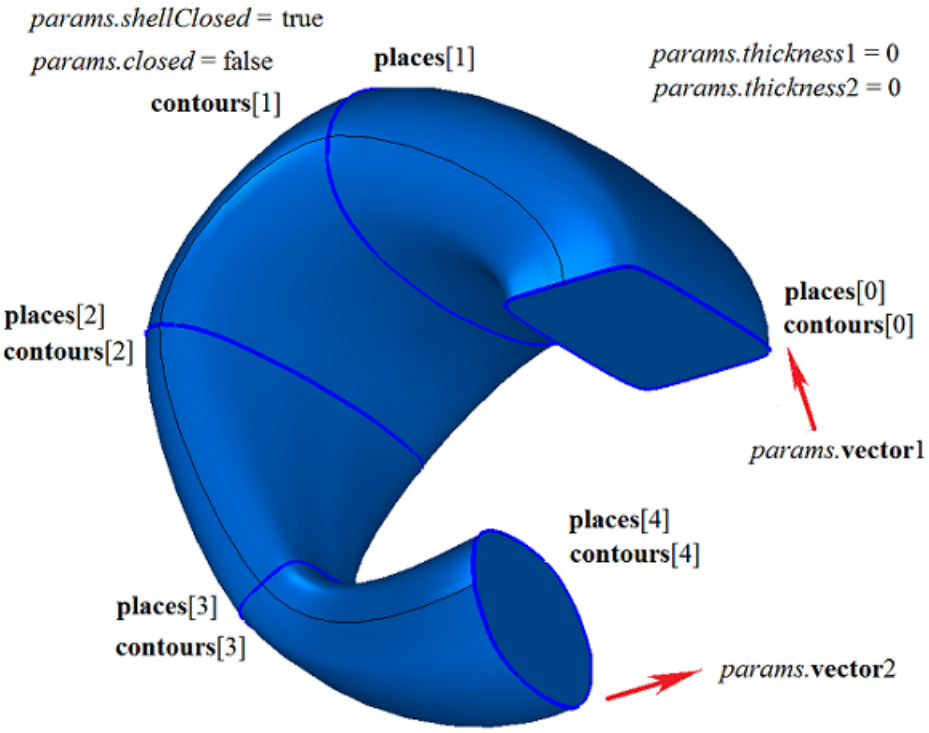


Рис. М.1.6.3.

На рис. М.1.6.4 приведено тело, построенное по плоским сечениям, приведенным на рис. М.1.6.2, для значения параметра *params.closed*=true. Построенное тело имеет топологию тора и у него отсутствуют торцы.

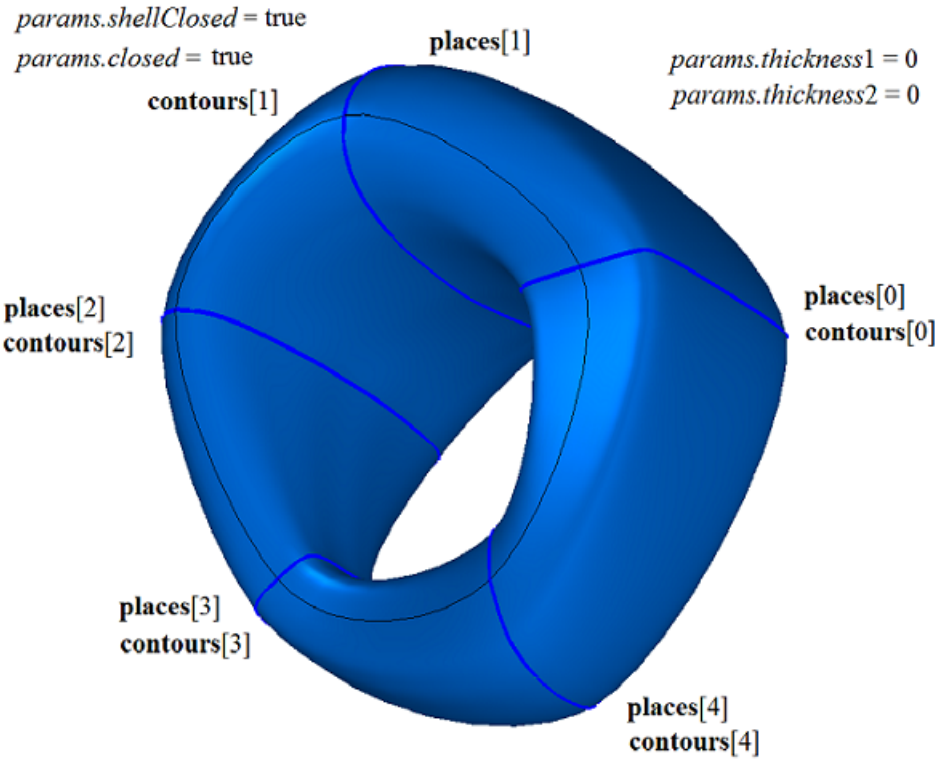


Рис. М.1.6.4.

На рис. М.1.6.5 приведено тонкостенное тело, построенное по плоским сечениям, приведенным на рис. М.1.6.2, без задания нормалей на торцах для значения параметра *params.closed*=false.

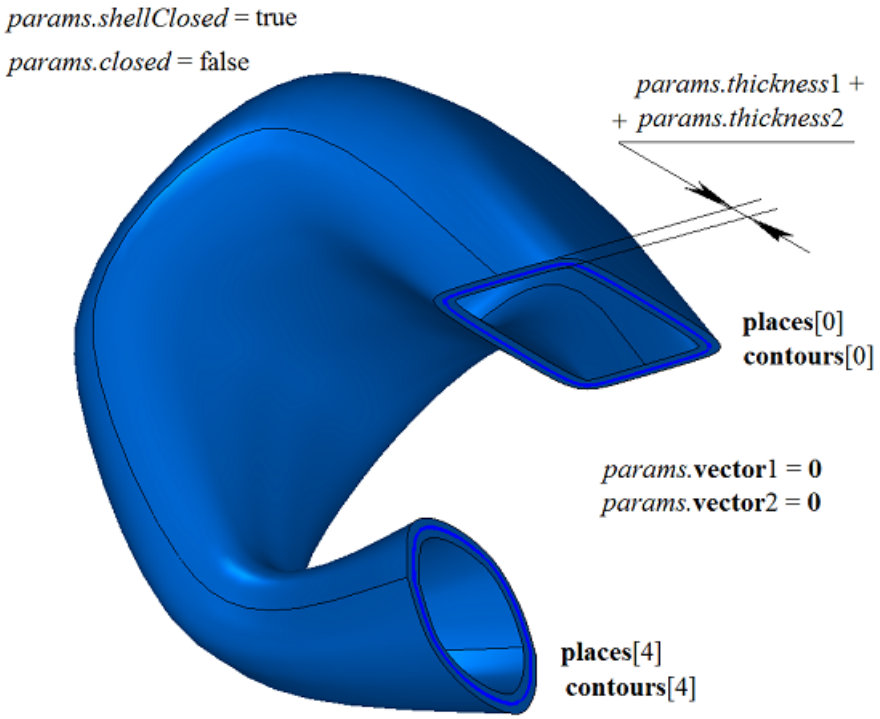


Рис. М.1.6.5.

На рис. М.1.6.6 приведено тонкостенное тело, построенное по плоским сечениям, приведенным на рис. М.1.6.2, с заданными нормалями на торцах для значения параметра *params.closed*=false.

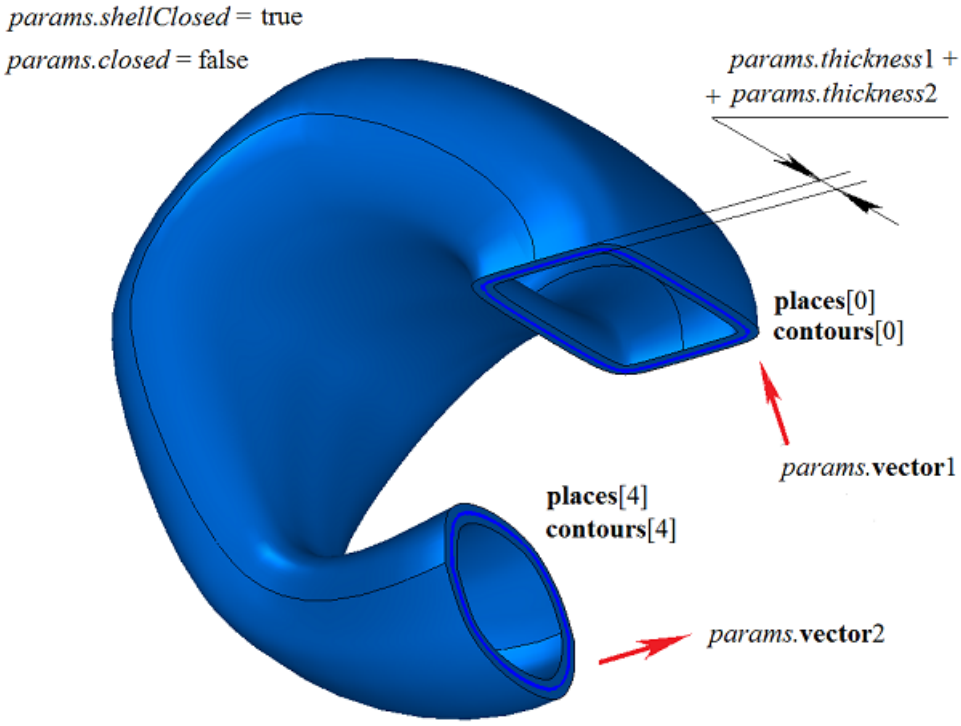


Рис. М.1.6.6.

На рис. М.1.6.7 приведено тонкостенное тело, построенное по плоским незамкнутым контурам с не заданными нормалями на торцах для значения параметра *params.closed*=false. Параметры *params.thickness*1 и *params.thickness*2 должны быть не нулевыми.

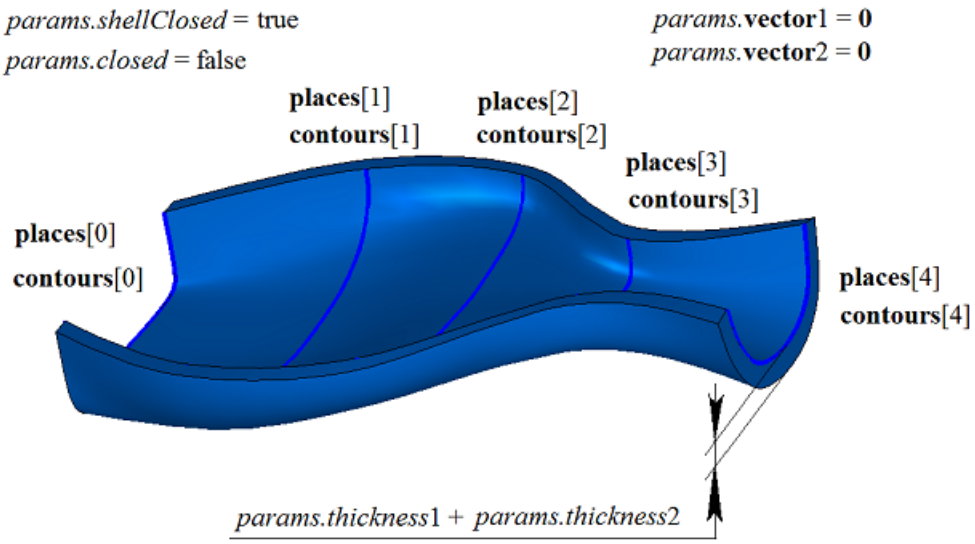


Рис. М.1.6.7.

На рис. М.1.6.8 приведено незамкнутое тело, построенное по плоским незамкнутым контурам с не заданными нормалями на торцах для значения параметра *params.closed*=false. Параметры *params.thickness*1 и *params.thickness*2 могут быть нулевыми.

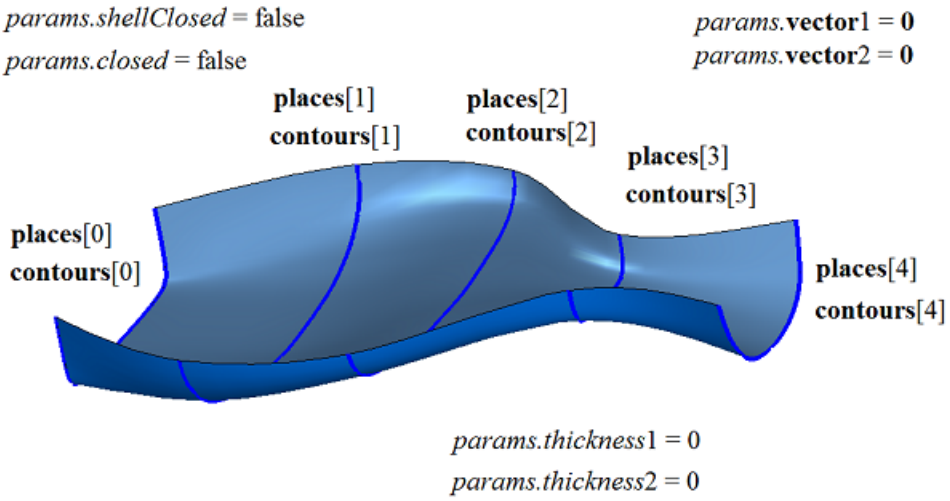


Рис. М.1.6.8.

При неодинаковом числе сегментов плоских контуров выполняется разбивка некоторых сегментов так, чтобы число сегментов в каждом контуре множества **contous** было бы равным. На рис. М.1.6.9 приведены три контура с разным числом сегментов.

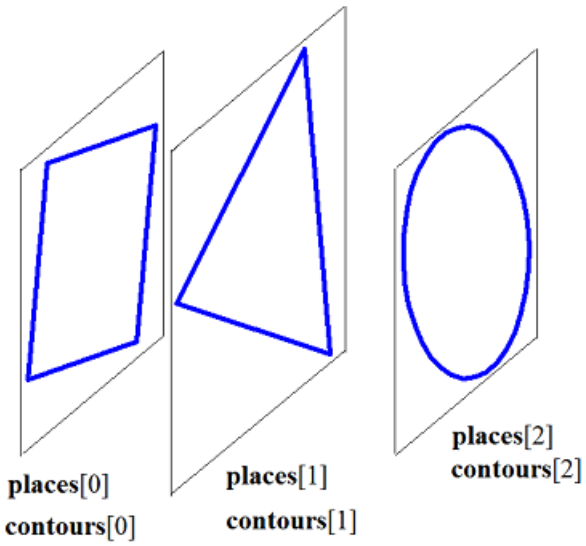


Рис. М.1.6.9.

На рис. М.1.6.10 приведено построенное по этим контурам тело, в котором один из сегментов треугольного контура разбит на два сегмента, а окружность разбита на четыре дуги.

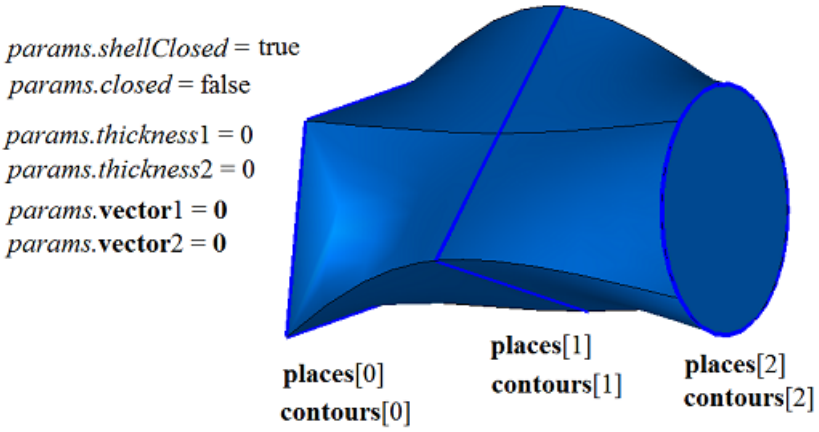


Рис. М.1.6.10.

Управлять положением ребер, соединяющих вершины разных контуров множества, можно с помощью контрольных точек **points**. Тоски **points**[*i*] указывают положения стыков сегментов разных контуров множества, которые должны соединяться ребрами. Для демонстрации применения контрольных точек **points** построим тело по плоским сечениям, приведенным на рис. М.1.6.11.

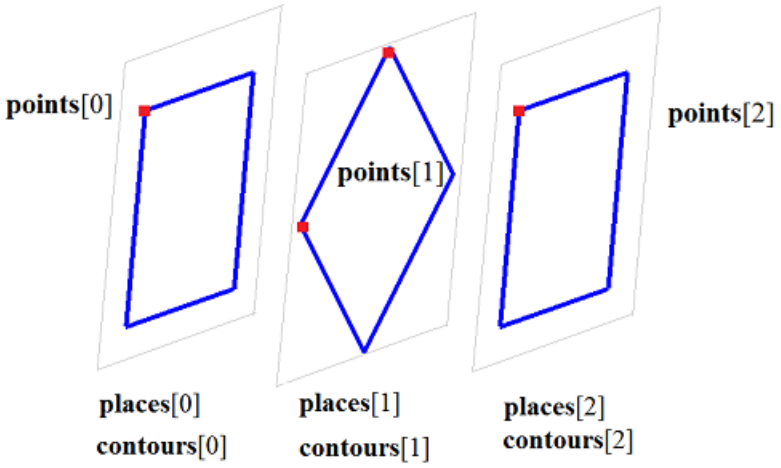


Рис. М.1.6.11.

На рис. М.1.6.12 и М.1.6.13 показаны тела, построенные по плоским сечениям, приведенным на рис. М.1.6.11, с различным положением контрольных точек **points**.

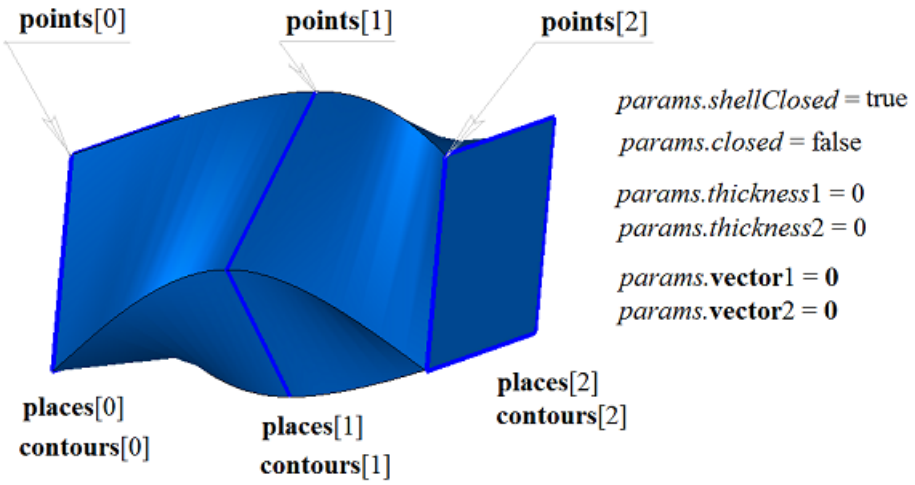


Рис. М.1.6.12.

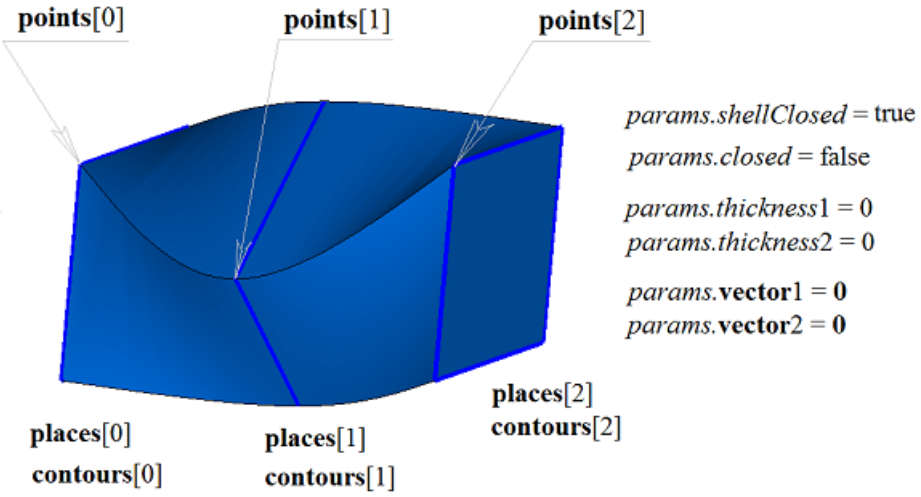


Рис. М.1.6.13.

На рис. М.1.6.14 приведены два двумерных контура и кривая **spine**, которая будет служить направляющей при построения тела по плоским сечения с направляющей кривой.

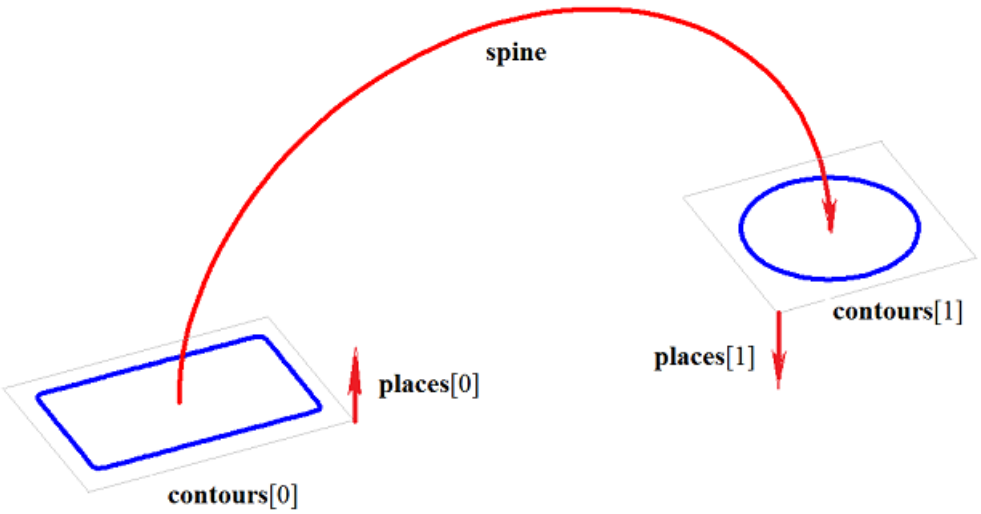


Рис. М.1.6.14.

На рис. М.1.6.15 приведено тело, построенное по плоским сечениям и направляющей, приведенным на рис. М.1.6.14.

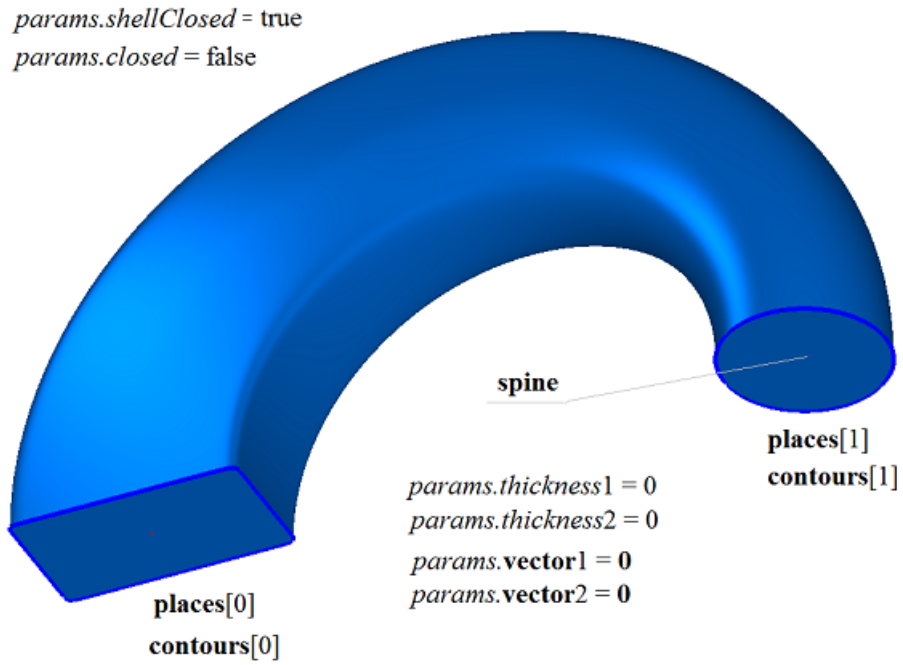


Рис. М.1.6.15.

На рис. М.1.6.16 приведено тонкостенное тело, построенное по плоским сечениям и направляющей, приведенным на рис. М.1.6.14.

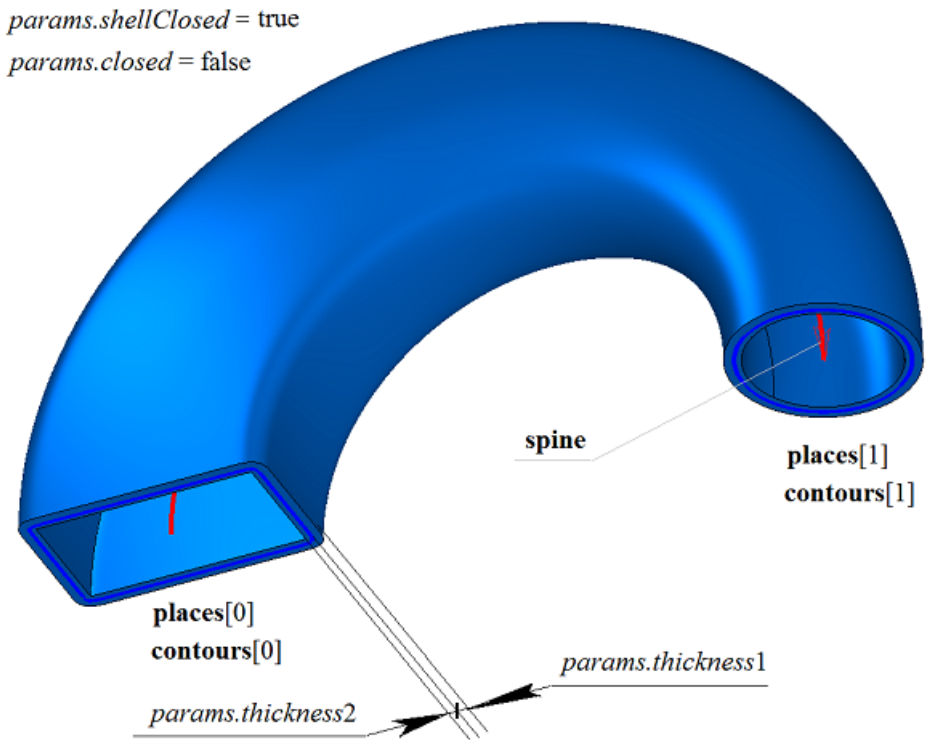


Рис. М.1.6.16.

На рис. М.1.6.17 приведено незамкнутое тело, построенное по плоским сечениям и направляющей, приведенным на рис. М.1.6.14.

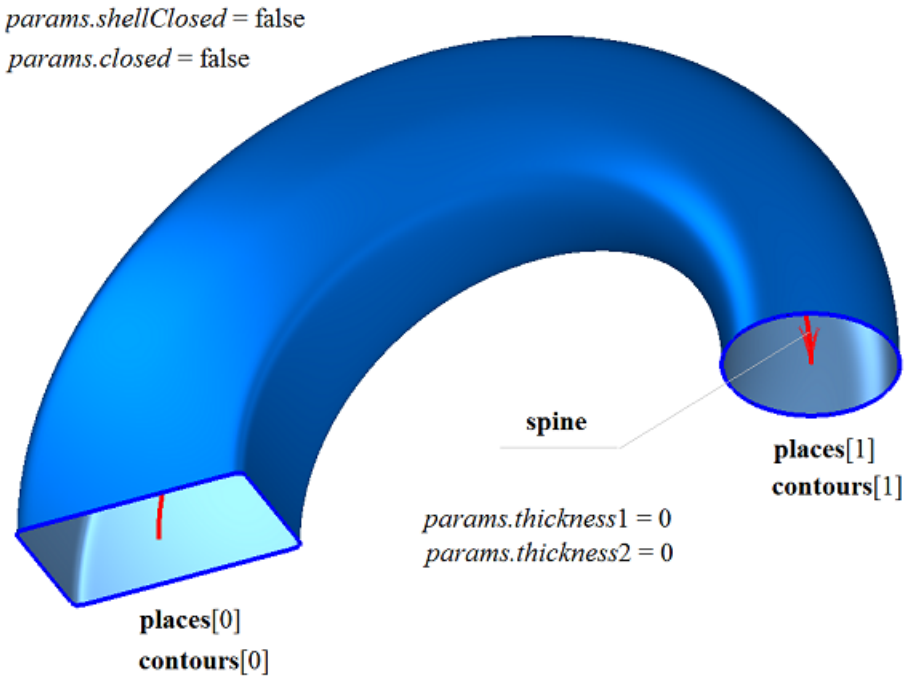


Рис. М.1.6.17.

Метод построения тела по плоским сечениям **LoftedSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbLoftedSolid, который содержит все необходимые для построения тела данные. Строитель MbLoftedSolid объявлен в файле cr_lofted_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет построение тела по плоским сечениям командами меню «Создать->Тело->На базе кривых->По сечениям», «Создать->Тело->На базе кривых->По сечениям с направляющей», «Создать->Оболочку->На базе кривых->По сечениям» и «Создать-> Оболочку ->На базе кривых->По сечениям с направляющей».

М.1.7. Создание тела по заданному множеству граней

Метод
MbSolid *
CreateSolid (MbFaceShell & **faceSet**,
const MbSNameMaker & names)
создаёт тело с заданным множеством граней без истории построения.

Входными параметрами метода являются:

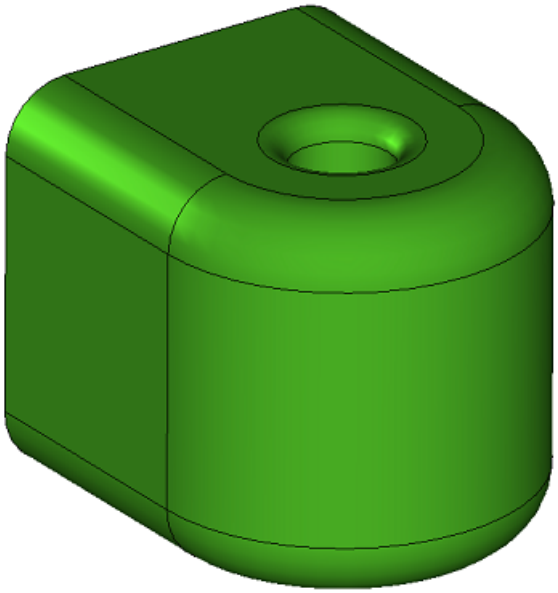
- **faceSet** – множество граней,
- names – именователь граней.

При удачной работе метод возвращает построенное тело, в противном случае метод возвращает ноль.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Параметр **faceSet** содержит исходное множество граней тела. Параметр names обеспечивает именование граней построенного тела.

На рис. М.1.7.1 приведено тело, построенное по множеству граней.



faceSet

Рис. М.1.7.1.

Метод выполняет именование неименованных граней, ребер, вершин и создаёт тело по заданному множеству граней. Рассматриваемый метод не выполняет никаких проверок и построений. Если множество граней содержит краевые ребра, то метод построит незамкнутое тело. В журнал созданного тела метод **CreateSolid** добавляет простой строитель MbSimpleCreator, который объявлен в файле cr_simple_creator.h.

М.1.8. Построение незамкнутого тела на базе поверхности

Метод

MbResultType

SurfaceShell (const MbSurface & **surface**,

const MbSNameMaker & names,

MbSolid *& **result**)

выполняет построение тела, состоящего из одной грани, на базе исходной поверхности.

Входными параметрами метода являются:

- **surface** – исходная поверхность,
- names – именователь грани.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_shell.h.

Параметр names обеспечивает именование грани, ребер и вершин построенного тела.

На рис. М.1.8.1 приведено тело, построенное по поверхности, циклически замкнутой по первому параметрическому направлению.

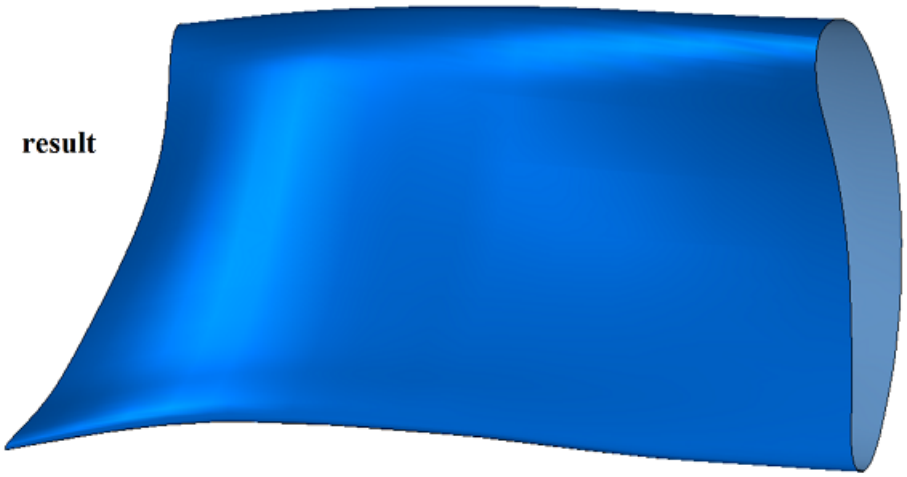


Рис. М.1.8.1.

Рассматриваемый метод не выполняет никаких проверок и вычислений. Построенное тело состоит из одной грани. Грань от исходной поверхности отличается наличием ребер на краях и швах и наличием вершин в точках стыковки рёбер. Если исходная поверхность циклически замкнута по одному или обоим параметрическим направлениям, то построенное тело будет состоять из циклически замкнутой по соответствующим ребрам грани. Если исходная поверхность имеет края, то метод построит незамкнутое тело. В журнал созданного тела метод добавляет простой строитель MbSimpleCreator, который объявлен в файле cr_simple_creator.h.

М.1.9. Построение линейчатого тела

Метод
MbResultType
RuledShell (RuledSurfaceValues & **params**,
const MbSNameMaker & names,
bool *isPhantom*,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение линейчатого незамкнутого тела по двум кривым, заданным в параметрах.

Входными параметрами метода являются:

- **params** – параметры построения,
- names – именователь граней,
- *isPhantom* – флаг цели построения (true – режим фантома).

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_shell.h.

Параметры построения **params** содержат геометрическую информацию, необходимую для построения тела, рис. М.1.9.1.

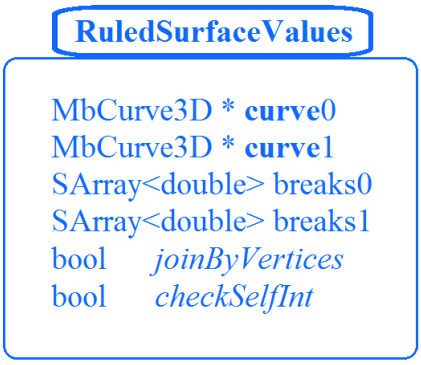


Рис. М.1.9.1.

Линейчатое тело строится по кривым **params.curve**0 и **params.curve**1. Если кривые являются составными, то на каждой паре сегментов составных кривых будет построена линейчатая поверхность, а на каждой поверхности будет построена грань тела. Смежные грани будут иметь общие ребра. Кривые **params.curve**0 и **params.curve**1 могут быть дополнительно разбиты на сегменты параметрами **params.**breaks0 и **params.**breaks1. Параметр **params.***joinByVertices* указывает, соединять ли контуры с одинаковым количеством сегментов через вершины. Параметр **params.***checkSelfInt* указывает, проверять ли кривые на самопересечение. По умолчанию **params.***joinByVertices*=false и **params.***checkSelfInt*=false.

На рис. М.1.9.2 приведено линейчатое тело, построенное по составным кривым, каждая из которых содержит три сегмента.

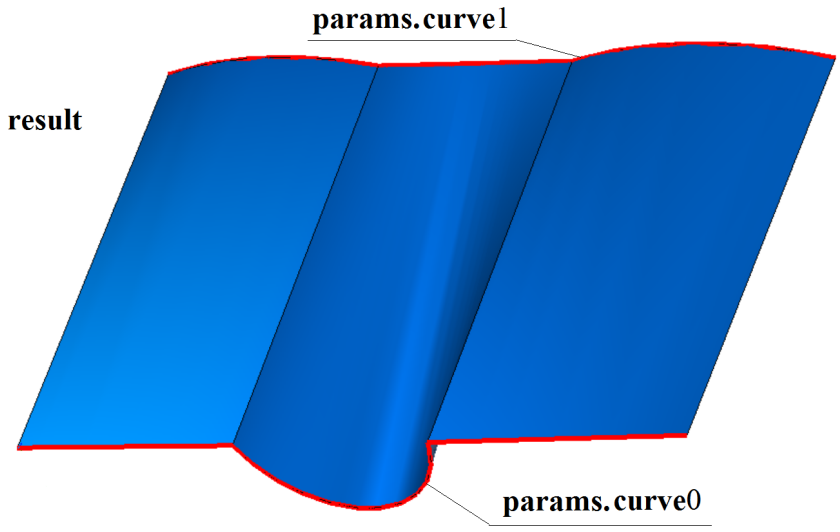


Рис. М.1.9.2.

Построенное тело состоит из одной или нескольких граней. Линейчатое тело всегда имеет края, проходящие по исходным кривым. Рассматриваемый метод может выполнять проверку на самопересечение граней. Кривые **params.curve**0 и **params.curve**1 могут быть циклически замкнуты. В журнал созданного тела метод добавляет строитель MbRuledShell, который объявлен в файле cr_ruled_shell.h.

М.1.10. Построение тела по сети кривых

Метод
MbResultType
MeshShell (MeshSurfaceValues & **params**,

const MbSNameMaker & names,
bool *isPhantom*,
MbSolid *& **result**)

выполняет построение тела по сети кривых, заданной в параметрах построения.

Входными параметрами метода являются:

- **params** – параметры построения,
- names – именователь граней.
- *isPhantom* – флаг цели построения (true – режим фантома).

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_shell.h.

Параметры построения **params** содержат геометрическую информацию, необходимую для построения тела, рис. М.1.10.1.

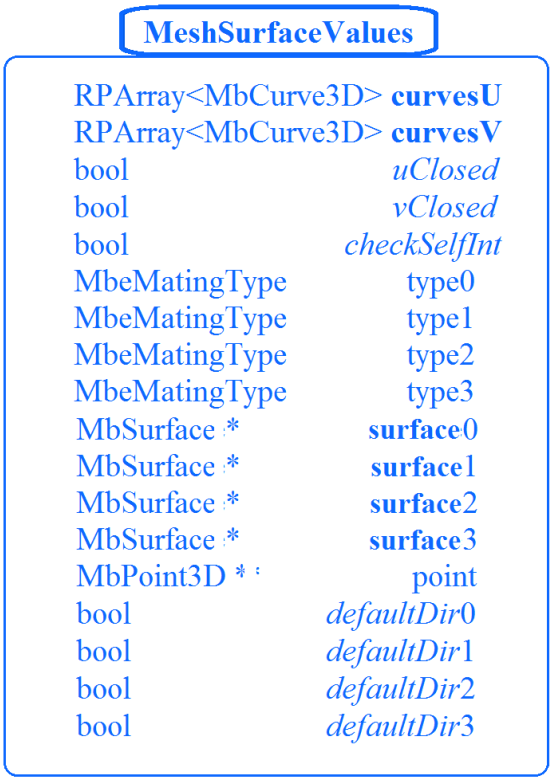


Рис. М.1.10.1.

Тело строится по двум множествам кривых **params.curveU** и **params.curveV**. Кривые **params.curveU** расположены вдоль первого параметрического направления граней тела. Кривые **params.curveV** расположены вдоль второго параметрического направления граней тела. Параметр **params.***uClosed* указывает на замкнутость поверхности тела вдоль первого параметрического направления, для этого все кривые множества **params.curveU** должны быть циклически замкнуты. Параметр **params.***vClosed* указывает на замкнутость поверхности тела вдоль второго параметрического направления, для этого все кривые множества **params.curveV** должны быть циклически замкнуты. С помощью параметров **params.***uClosed* и **params.***vClosed* возможно построение незамкнутых поверхностей на циклически замкнутых кривых. Параметр **params.***checkSelfInt* указывает, проверять ли поверхность построенного тела на самопересечение. По умолчанию **params.***checkSelfInt*=false.

Параметры **params.**type0, **params.**type1, **params.**type2, **params.**type3 совместно с поверхностями **params.surface**0, **params.surface**1, **params.surface**2, **params.surface**3 определяют поведение тела на на краях при значениях параметров грани *v=vMin*, *u=uMax*, *v=vMax*, *u=uMin*, соответственно. Параметры **params.**type0, **params.**type1, **params.**type2, **params.**type3 могут принимать значения trt_Position, trt_Tangent, trt_Normal из перечисления MbeMatingType. Значение trt_Position параметры

принимают по умолчанию, оно означает прохождение поверхности тела по кривым, поверхности **params.surface**0, **params.surface**1, **params.surface**2, **params.surface**3 при этом могут быть равны нулю. Значение trt_Tangent означает касание соответствующего края тела поверхности **params.surface**0, **params.surface**1, **params.surface**2, **params.surface**3, соответственно. Значения trt_Normal означает ортогональность соответствующего края тела поверхности **params.surface**0, **params.surface**1, **params.surface**2, **params.surface**3, соответственно.

На рис. М.1.10.2 приведена сеть кривых, состоящая из четырех циклически замкнутых кривых множества **params.curveU** и двух незамкнутых кривых множества **params.curveV**.

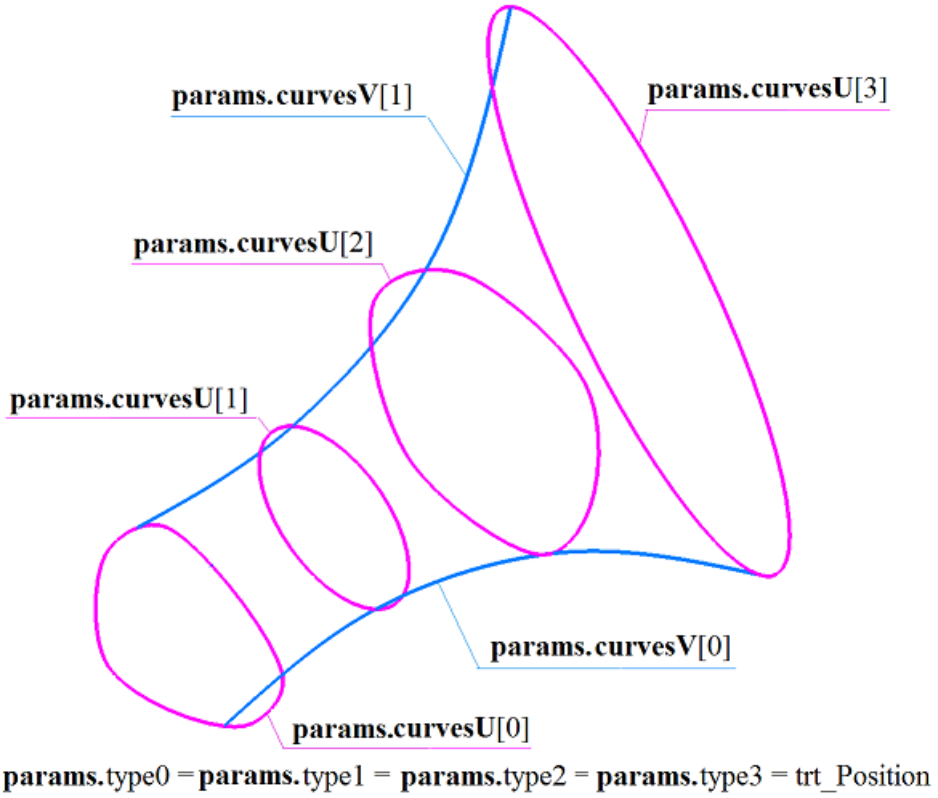


Рис. М.1.10.2.

На рис. М.1.10.3 приведено тело, построенное по сети кривых, приведенных на рис. М.1.10.2.

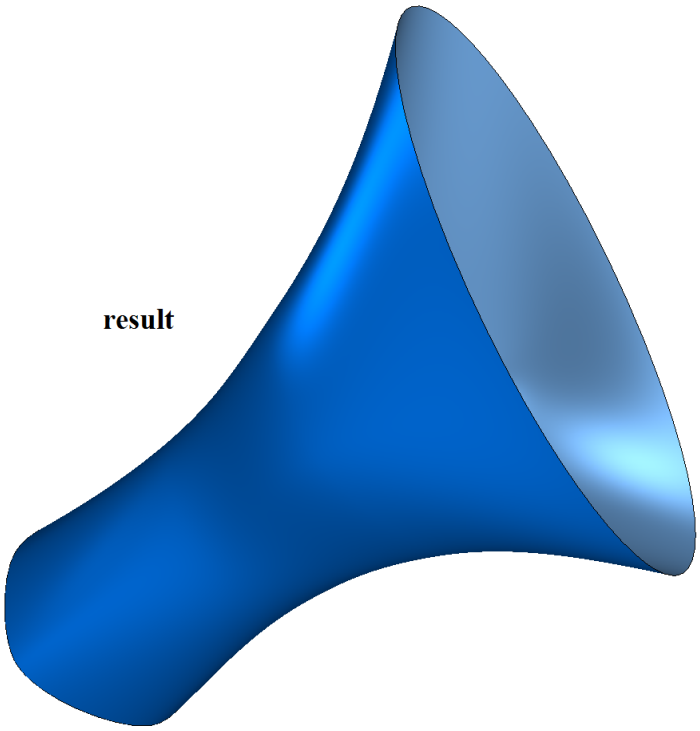


Рис. М.1.10.3.

На рис. М.1.10.4 приведена сеть кривых, состоящая из двух незамкнутых кривых множества **params.curveU** и трех незамкнутых кривых множества **params.curveV**, две крайние из которых вырождены в точки.

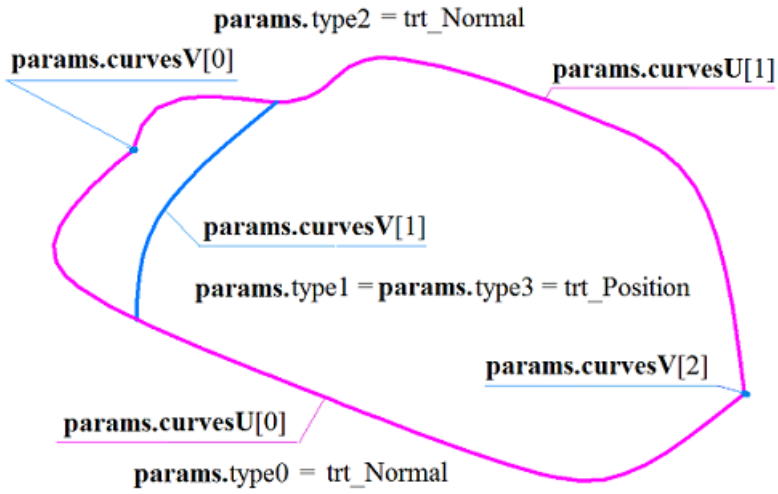


Рис. М.1.10.4.

На рис. М.1.10.5 приведено тело, построенное по сети кривых, приведенных на рис. М.1.10.4. Края построенного тела, соответствующие параметрам грани *v=vMin* и *v=vMax*, ортогональны плоским поверхностям **params.surface**0 и **params.surface**2, так как параметры **params.**type0 и **params.**type2 имеют значения trt_Normal.

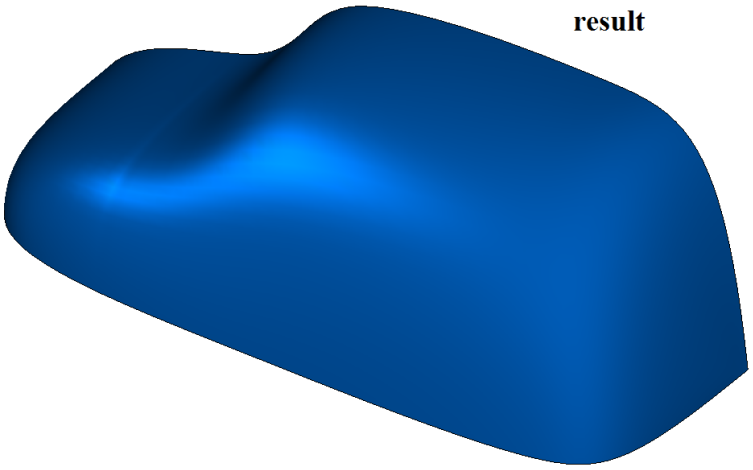


Рис. М.1.10.5.

В журнал созданного тела метод добавляет строитель MbMeshShell, который объявлен в файле cr_mesh_shell.h.

М.1.11. Построение тела сопряжения несвязанных граней

Метод
MbResultType
FacesFillet (const MbSolid & **solid**1,
const MbFace & **face**1,
const MbSolid & **solid**2,
const MbFace & **face**2,
const SmoothValues & *params*,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение незамкнутого тела, состоящего из грани скругления между двумя несвязанными гранями.

Входными параметрами метода являются:

- **solid**1 – первое тело,
- **face**1 – сопрягаемая грань первого тела,
- **solid**2 – второе тело,
- **face**2 – сопрягаемая грань второго тела,
- *params* – параметры построения,
- names – именователь грани.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_shell.h.

Метод выполняет построение тела, состоящего из грани сопряжения, обеспечивающей гладкое сопряжение граней **face**1 и **face**2. Параметры **solid**1 и **solid**2 содержат исходные тела, которым принадлежат грани **face**1 и **face**2.

Построенная грань в поперечном сечении может иметь форму дуги окружности, эллипса, гиперболы, параболы. Формой грани сопряжения управляет параметр *params*. Параметр построения *params* содержит геометрическую информацию, необходимую для построения тела, рис. М.1.11.1.

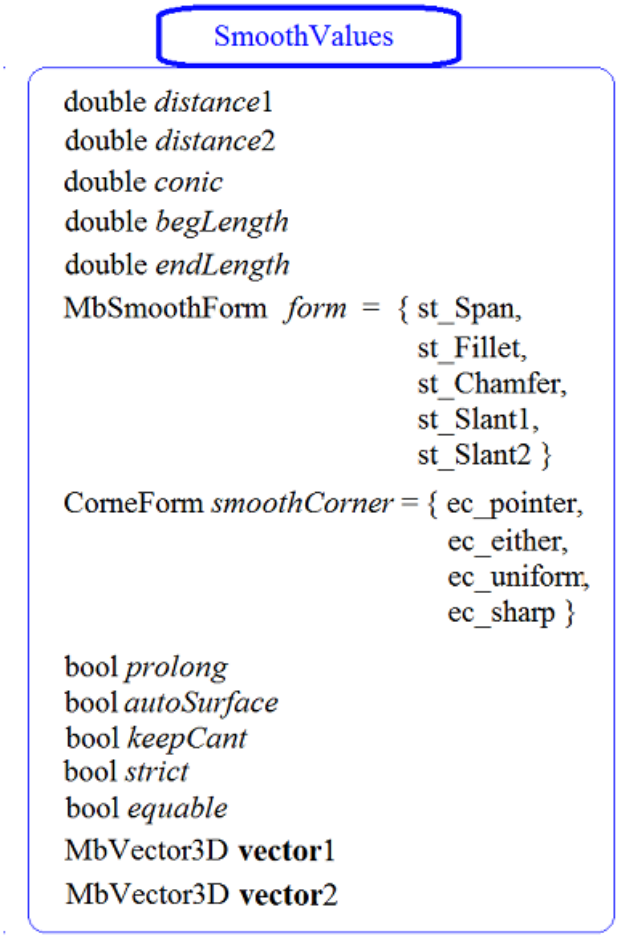


Рис. М.1.11.1.

Из приведенных на рис. М.1.11.1 данных в рассматриваемом методе используются только четыре: *params.distance*1, *params.distance*2, *params.conic* и *params.prolong*. Остальные параметры используются для построения поверхностей сопряжения на базе ребер тела. Величина *params.form* принимает значение st_Fillet.

Тело строится по граням **face**1 и **face**2. Параметры *params.distance*1, *params.distance*2 определяют радиус дуги (или полуоси эллипса) поперечного сечения поверхности сопряжения. Коэффициент *params.conic* управляет формой поверхности сопряжения. Коэффициент *params.conic* может принимать значения от 0.05 до 0.95. При *params.distance*1=*params.distance*2 и *params.conic*=0 выполняется построение поверхности сопряжения с поперечным сечением в форме дуги окружности. Поверхность сопряжения строится путем движения сферы, касающейся граней **face**1 и **face**2. Опорные края тела сопряжения проходят по точкам касания сферы и граней **face**1 и **face**2. При *params.conic*=0.5 поперечное сечение грани сопряжения представляет собой дугу параболы. При *params.conic*>0.5 поперечное сечение грани сопряжения представляет собой дугу гиперболы. При *params.conic*<0.5 поперечное сечение грани сопряжения представляет собой дугу эллипса.

На рис. М.1.11.2 приведены два тела, по двум граням которых далее будут построены тела сопряжения различной формы.

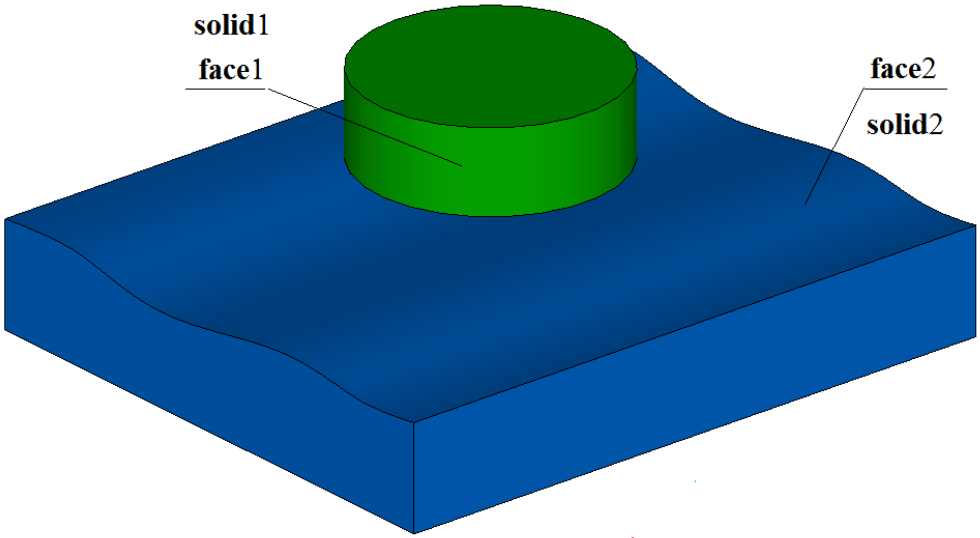


Рис. М.1.11.2.

На рис. М.1.11.3 приведено тело сопряжения с поперечным сечением поверхности в форме дуги окружности, что достигается равенствами: *params.distance*1=*params.distance*2, *params.conic*=0.

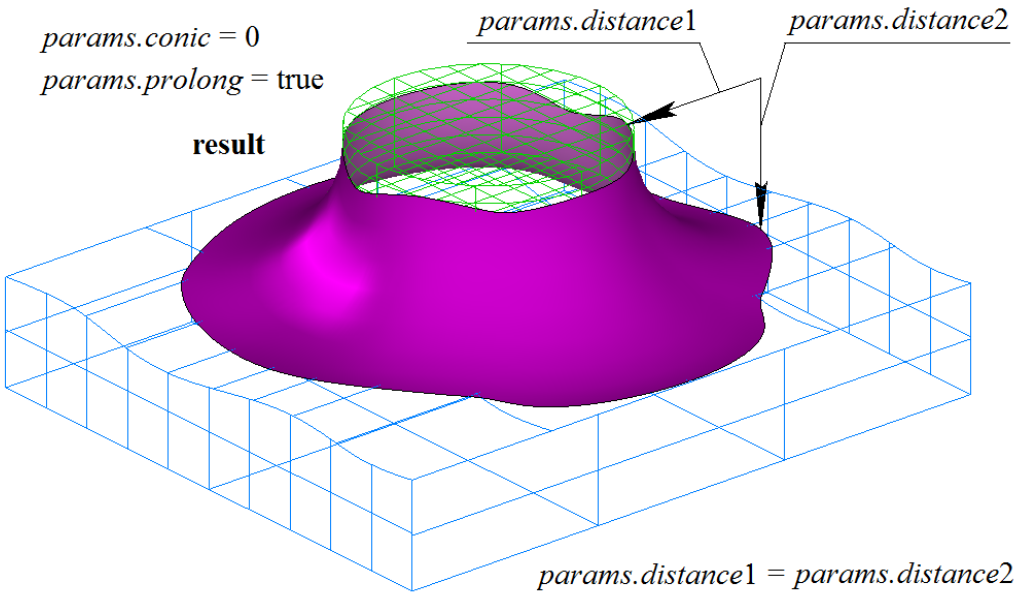


Рис. М.1.11.3.

На рис. М.1.11.4 приведено тело сопряжения с поперечным сечением поверхности в форме дуги гиперболы, что обеспечивает равенство *params.conic*=0.8. Значение параметра *params.prolong*=true позволяет опорной кривой грани сопряжения на некотором участке выходить за пределы грани **face**2.

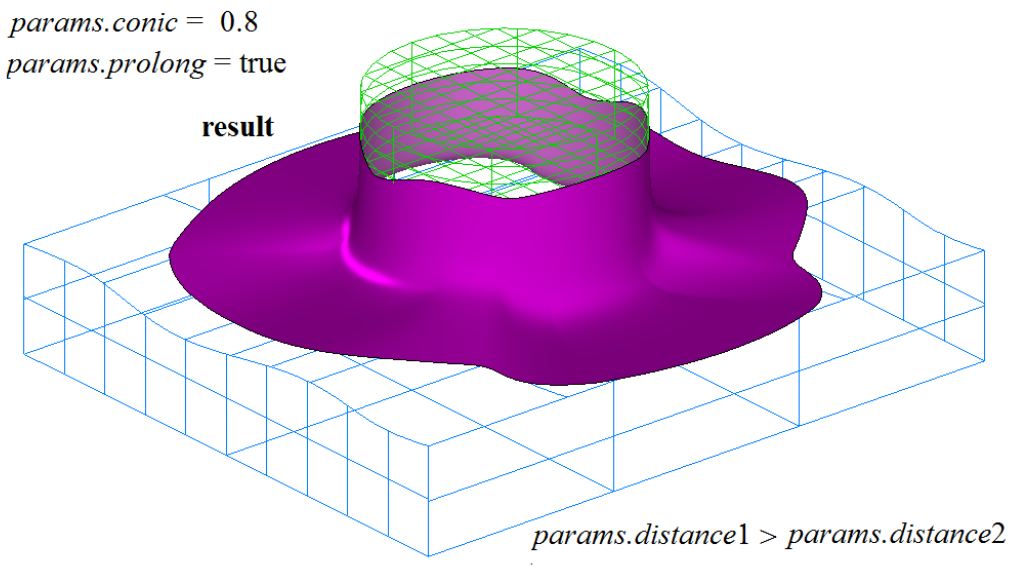


Рис. М.1.11.4.

На рис. М.1.11.5 приведено тело сопряжения с поперечным сечением поверхности в форме дуги эллипса, что обеспечивает равенство *params.conic*=0.2. Значение параметра *params.prolong*=false обрезает грань сопряжения на участке, где опорная кривая построенной грани выходит за пределы грани **face**2.

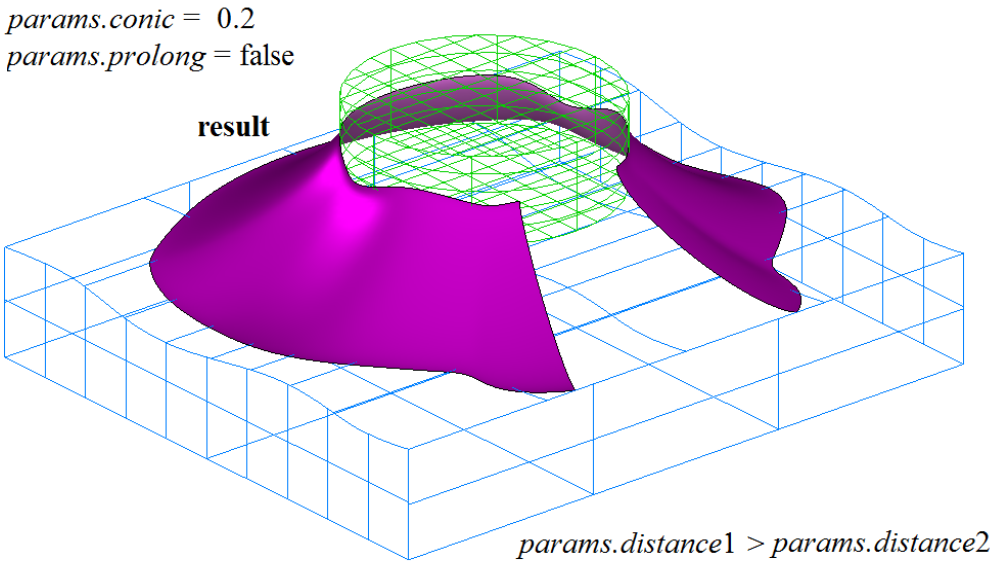


Рис. М.1.11.5.

Метод **FacesFillet** добавляет в журнал построенного тела строитель тела **solid**1, строитель тела **solid**2 и строитель MbFilletShell, который объявлен в файле cr_fillet_shell.h.

М.1.12. Построение заплатки

Метод
MbResultType
PatchShell (const RPArray<MbCurve3D> & **curves**,
const PatchValues & *params*,
const MbSNameMaker & names,

MbSolid *& **result**)

выполняет построение заплатки по множеству кривых.

Входными параметрами метода являются:

- **curves** – множество кривых,
- *params* – параметры построения,
- names – именователь граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_shell.h.

Параметры **curves** и *params* содержат необходимую для построения заплатки геометрическую информацию. Параметр names обеспечивает именование грани построенного тела.

Метод выполняет построение тела, состоящего из грани, края которой проходят по заданным кривым. Для построения корректного тела кривые множества **curves** должны стыковаться друг с другом и образовывать замкнутый контур.

Если кривые **curves** лежат в одной плоскости, то заплатка будет представлять собой часть плоскости, лежащую внутри контура, образованного кривыми. Если все кривые **curves** лежат на одной и той же криволинейной поверхности, то заплатка будет представлять собой часть общей поверхности, ограниченную заданными кривыми. Если множество **curves** состоит из одной кривой, то эта кривая будет разбита на две части, а поверхность заплатки будет линейчатой поверхностью, имеющей два полюса. Аналогично строится заплатка, если множество **curves** содержит две кривые – поверхность заплатки будет линейчатой поверхностью, имеющей два полюса. Если количество кривых **curves** равно трем, то поверхность заплатки будет поверхностью MbCornerSurface, построенной по трем кривым и имеющей полюс. Если количество кривых **curves** равно четырем, то поверхность заплатки будет поверхностью MbCoverSurface, построенной по четырем кривым. В других случаях возможен отказ от построения.

На рис. М.1.12.1 приведено восемь кривых, лежащих на краю внутреннего выреза грани. На рис. М.1.12.2 приведена заплатка, построенная по кривым, приведенным на рис. М.1.12.1.

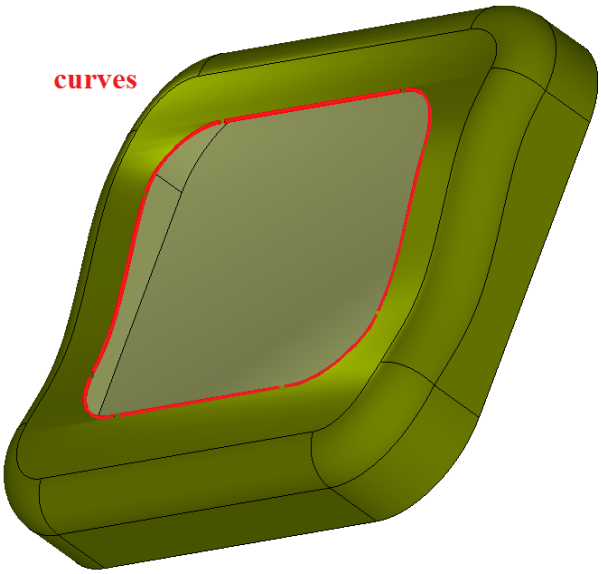


Рис. М.1.12.1.

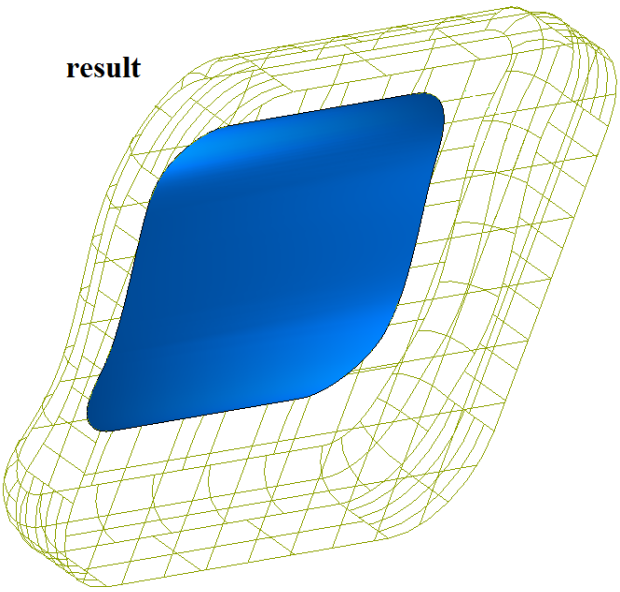


Рис. М.1.12.2.

На рис. М.1.12.3 приведено шесть кривых, лежащих на краях разных граней, полученных путем резки граней общей поверхностью.

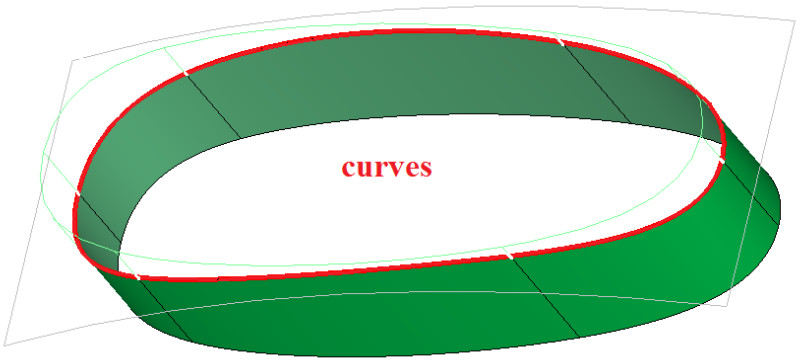


Рис. М.1.12.3.

Если после резки в краевых ребрах сохранилась информация о режущей поверхности, то при построении заплатки может быть использована режущая поверхность. На рис. М.1.12.4 приведен пример построения заплатки в виде некоторой части режущей поверхности, которая образовала краевые ребра, приведенные на рис. М.1.12.3.

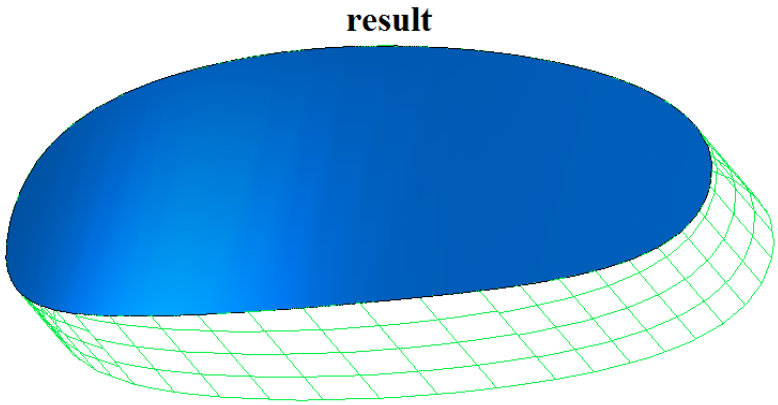


Рис. М.1.12.4.

Как правило, кривые для множества **curves** берутся от краевых ребер. После построения заплатку часто сшивают с другими телами, примыкающими к ее краям.

Метод **PatchShell** добавляет в журнал построенного тела строитель MbPatchCreator. Строитель MbPatchCreator объявлен в файле cr_patch_creator.h.

М.1.13. Сшивка граней тел

Метод
MbeStitchResType
StitchToOneSheetSolid (const RPArray<constMbSolid> & **solids**,
const MbSNameMaker & names,
bool *formSolidBody*,
double *stitchPrecision*,
MbSolid *& **result**)
выполняет сшивку граней нескольких тел в одно тело.

Входными параметрами метода являются:

- **solids** – сшиваемые тела,
- names – именователь операции,
- *formSolidBody* – флаг управления сшивкой и обработкой вложенности,
- *stitchPrecision* – точность сшивки.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_shell.h.

Метод выполняет поиск пар краевых ребер, соответствующих друг другу по длине и расположению, и строит кривую пересечения граней найденных ребер на заданном участке. После успешного построения кривой пересечения пара краевых ребер заменяется одним ребром, соединяющим смежные грани тел. При необходимости выполняется переориентация внешней стороны некоторых граней. Параметр *stitchPrecision* определяет максимальное расстояние, которое не должны превышать соответствующие точки сшиваемых ребер. Множество **solids** может содержать любое конечное число тел. Параметр names обеспечивает именование сшитых ребер тела. Если параметр *formSolidBody*=true, то построенное тело **result** проверяется на отсутствие краевых ребер, выполняется поиск вложенных друг в друга оболочек и переориентация внутренних оболочек при необходимости. Если параметр *formSolidBody*=false, то в построенном теле **result** допускается присутствие краевых ребер, а определение вложенности оболочек не выполняется.

На рис. М.1.13.1 приведены два сшиваемых тела **solids**[0] и **solids**[1]. На рис. М.1.13.2 приведено тело **result**, причем после сшивки сшитые ребра были скруглены.

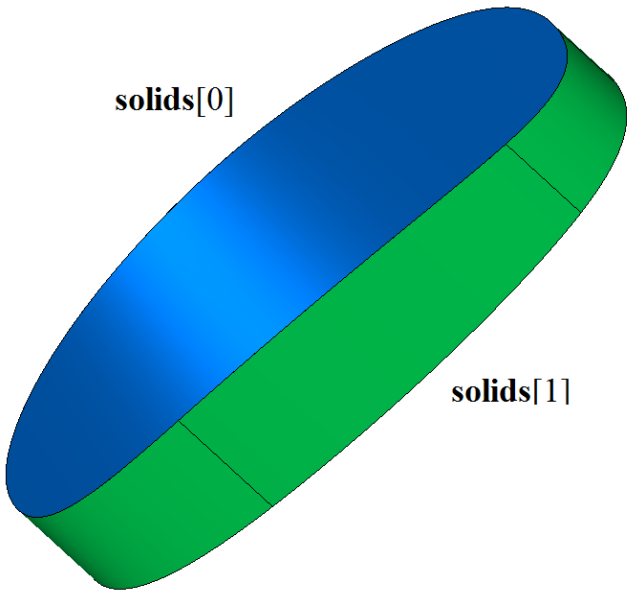


Рис. М.1.13.1.

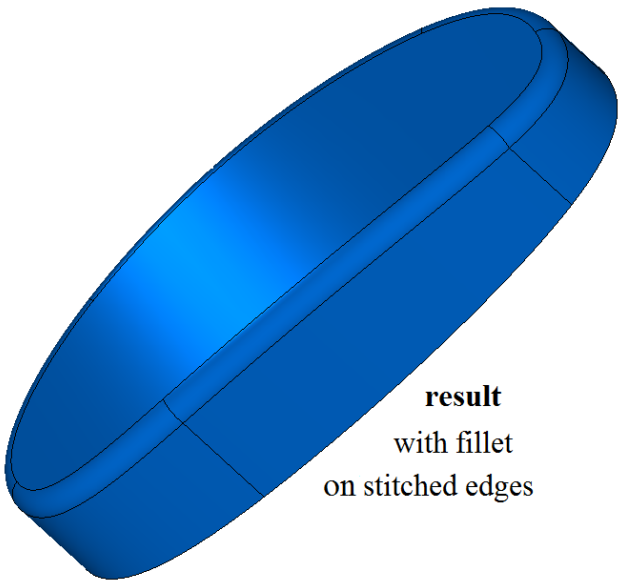


Рис. М.1.13.2.

Метод **StitchToOneSheetSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbStitchedSolid, который содержит все необходимые данные для построения тела. Строитель MbStitchedSolid объявлен в файле cr_stitch_solid.h.

М.1.14. Построение тела по кривым или точкам кривых

Метод
MbResultType
LoftedShell (const RPArray<MbCurve3D> & **curves**,
const MbSNameMaker & names,
SimpleName name,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение тела, состоящего из одной грани, поверхность которой проходит по семейству кривых.

Входными параметрами метода являются:

- **curves** – множество кривых,
- names – именователь граней,
- name – идентификатор.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_shell.h.

Поверхность построенного по тела проходит по всем кривым **curves**. На форму поверхности тела влияет не только форма и взаимное расположение кривых, но и их ориентация и положение начал. Для предотвращения самопересечения и перекручивания поверхности тела соседние кривые множества **curves** должны иметь одинаковое направление, а начальные точки замкнутых кривых должны иметь близкое расположение. Если все кривые **curves** замкнуты, то поверхность построенного тела будет замкнута по одному из параметрических направлений.

Параметры names и name обеспечивают именование грани построенного тела.

На рис. М.1.14.1 приведено множество кривых **curves**.

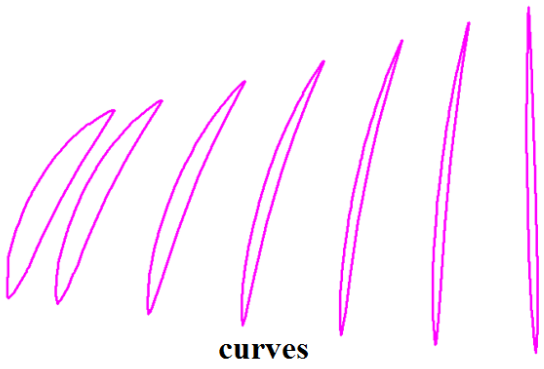


Рис. М.1.14.1.

На рис. М.1.14.2 приведено тело, построенное по кривым, приведенным на рис. М.1.14.1.

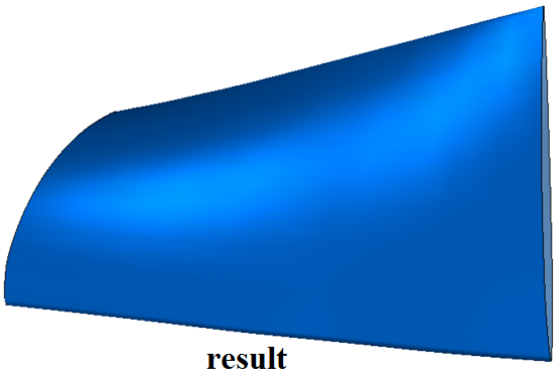


Рис. М.1.14.2.

Метод
MbResultType
LoftedShell (const RPArray< SArray<MbCartPoint3D> > & **points**,
const MbSNameMaker & names,
SimpleName name,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение незамкнутого тела из одной грани, поверхность которой проходит по контрольным точкам.

Входными параметрами метода являются:

- **points** – группы контрольных точек,
- names – именователь граней,
- name – идентификатор.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_shell.h.

Контрольные точки сгруппированы по контейнерам SArray. Перед построением тела выполняется построение сплайновых кривых по множеству точек, расположенных в каждом контейнере SArray. Далее выполняется построение тела по семейству кривых описанным выше методом **LoftedShell**. Поверхность построенного тела проходит по всем точкам **points**. На форму поверхности тела влияет не только взаимное расположение точек, но и их последовательность в группах. Для предотвращения самопересечения и перекручивания поверхности тела последовательности точек в соседних группах должны иметь одинаковое направление, а начальные точки в соседних группах должны иметь близкое расположение. Для построения замкнутой по одному из параметрических направлений поверхности первые и последние точки в каждом контейнере SArray должны совпадать.

Параметры names и name обеспечивают именование грани построенного тела.

На рис. М.1.14.3 приведено множество контрольных точек **points**, группы которых имеют разный цвет.

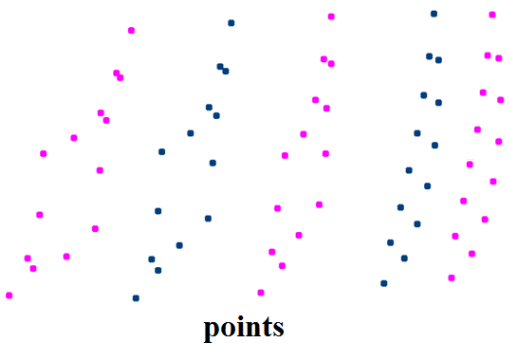
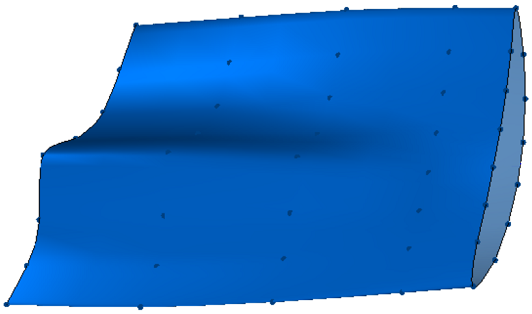


Рис. М.1.14.3.

На рис. М.1.14.4 приведено тело и контрольные точки, по которым построено тело.



result

Рис. М.1.14.4.

Метод **LoftedShell** добавляет в журнал построенного тела строитель MbThinShellCreator, который содержит все необходимые данные для построения тела. Строитель MbThinShellCreator объявлен в файле cr_thin_sheet.h.

М.1.15. Построение эквидистантного тела

Метод
MbResultType
OffsetShell (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
RPArray<MbFace> & **faces**,
bool *checkFacesConnection*,
SweptValues & *params*,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение эквидистантного незамкнутого тела для множества граней.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **faces** – грани исходного тела,
- *checkFacesConnection* – флаг проверки связности выбранных граней,
- *params* – параметры построения,
- names – именователь граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_shell.h.

Метод строит тело, грани которого эквидистантны граням **faces** исходного тела **solid**. Параметр *sameShell* управляет передачей граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** построенному телу **result**. Параметр *params* содержит информацию о расстоянии построенных граней от граней исходного тела. Расстояние может быть равным *params.thickness*1 в положительном направлении нормали граней или *params.thickness*2 в отрицательном направлении нормали граней исходного тела. Если *params.shellClosed*=false, то будет построено незамкнутое тело. Параметр names обеспечивает именование граней построенного тела.

Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell

На рис. М.1.15.1 приведено тело, на базе указанных граней которого будет построено эквидистантное тел.

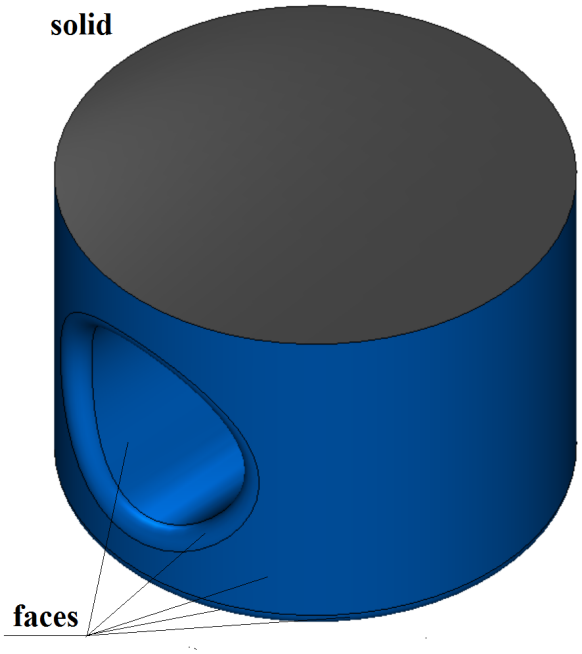
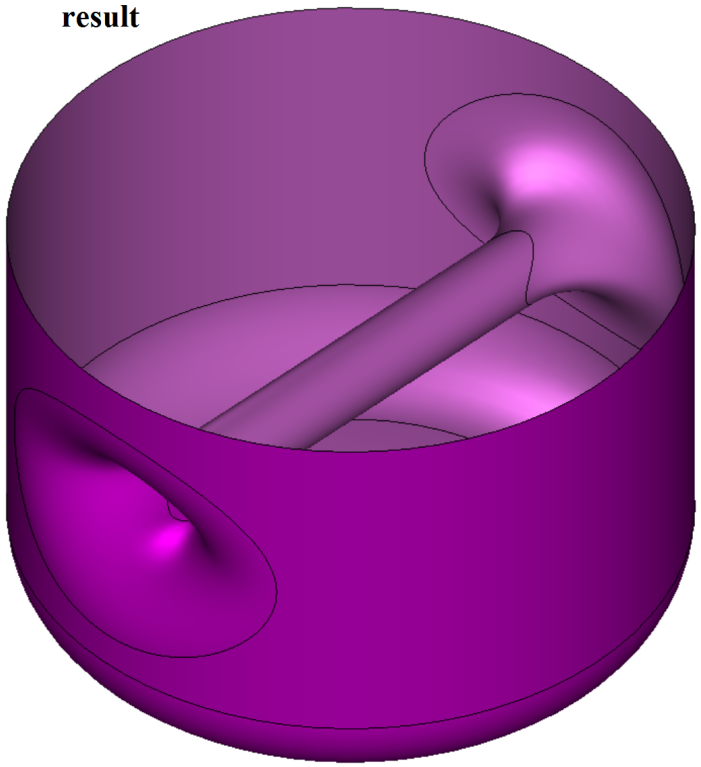


Рис. М.1.15.1.

На рис. М.1.15.2 приведено построенное эквидистантное тело.



*params.thickness*1 > 0 *params.thickness*2 = 0

Рис. М.1.15.2.

Если множество граней **faces** будет содержать все грани исходного тела **solid**, то построенное тело **result** будет эквидистантным исходному телу телом.

Метод **OffsetShell** добавляет в журнал построенного тела строитель MbShellSolid, который содержит все необходимые данные для построения тела. Строитель MbShellSolid объявлен в файле cr_thin_shell_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет построение эквидистантного незамкнутого тела командой меню «Создать->Оболочку->На базе оболочки->Эквидистантную к граням».

М.1.16. Продление грани тела

Метод

```
MbResultType
ExtensionShell ( MbSolid & solid,
                 MbeCopyMode sameShell,
                 MbFace & face,
                 const RPArray<MbCurveEdge> & edges,
                 const ExtensionValues & params,
                 const MbSNameMaker & names,
                 MbSolid * & result )
```

выполняет построение продолжения незамкнутого тела путём продления указанной грани краевых рёбер заданной грани тела.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **face** – грань исходного тела,
- **edges** – множество ребер грани, которые продляются выдавливанием,
- *params* – параметры построения,
- names – именователь граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_shell.h. Метод продлевает грань **face** со стороны краевых ребер **edges**. Грань **face** входит в состав тела **solid**. Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell.

Параметр *params* управляет способами продления грани и содержит данные, приведенные на рис. М.1.16.1.

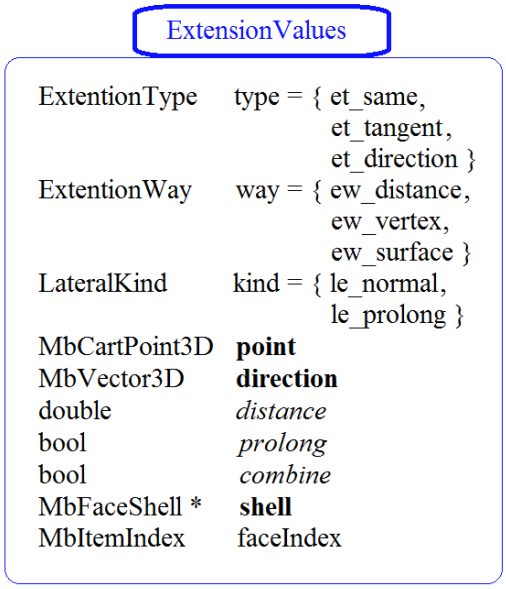


Рис. М.1.16.1.

Продление грани может быть трех типов.

Тип продления определяет параметр *params*.type. При *params*.type=et_same продлевается исходная грань **face** путем расширения области определения параметров ее поверхности и смещения краевых ребер **edges**. При *params*.type=et_tangent к грани **face** пристыковываются новые линейчатые грани, гладко стыкующиеся с гранью **face** через ребра **edges**. При *params*.type=et_direction к грани **face** через ребра **edges** пристыковываются новые грани, полученные выдавливанием кривых ребер **edges** в направлении *params*.**direction**.

Расстояние продления края грани **face** определяет параметр *params*.way. При *params*.way=ew_distance продление выполняется на расстояние *params.distance*. При *params*.way=ew_vertex продление выполняется на расстояние, определяемое точкой *params*.**point**. При *params*.way=ew_surface продление выполняется до оболочки *params*.**shell**. Параметр *params*.faceIndex определяет ближайшую к грани **face** грань оболочки *params*.**shell**. Если *params*.way!=ew_surface, то *params*.**shell** может быть равен нулю.

Параметр *params*.kind определяет способ обрезки краев граней продления в начале и в конце каждого ребра множества **edges**. Если *params*.kind=le_normal, то край продления грани **face** обрезается по нормали к соответствующему ребру множества **edges**. Если *params*.kind=le_prolong, то край продления грани **face** определяется соседними к ребрам множества **edges** ребрами.

Параметр names обеспечивает именование граней построенного тела.

На рис. М.1.16.2 приведена грань тела, два краевых ребра которого будут продлены.

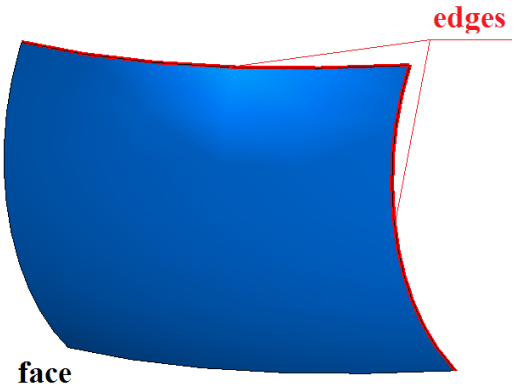


Рис. М.1.16.2.

На рис. М.1.16.3 и М.1.16.4 приведены результаты продления грани путем расширения области определения параметров поверхности с разными значениями параметра *params*.kind.

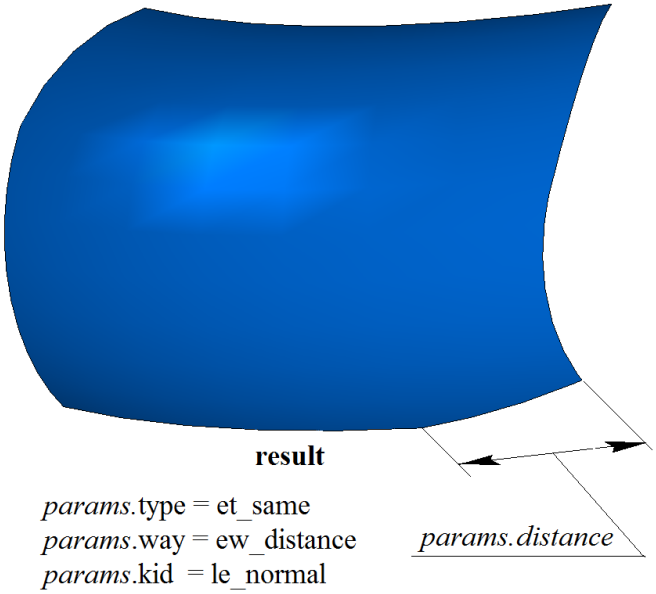


Рис. М.1.16.3.

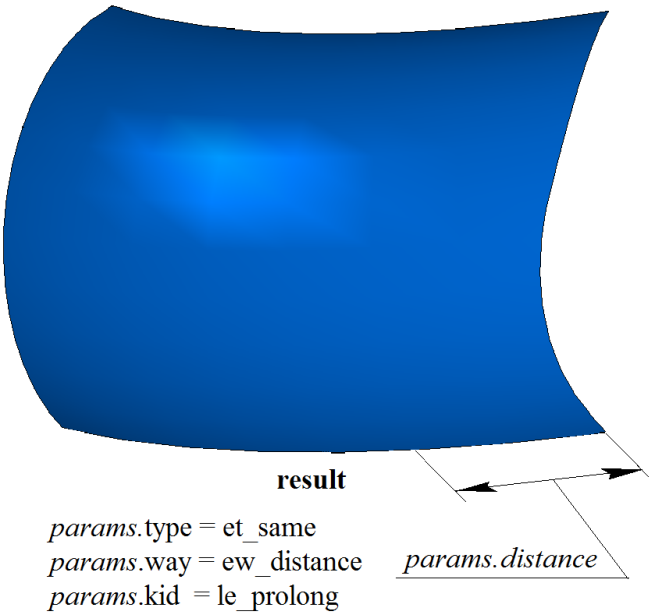


Рис. М.1.16.4.

На рис. М.1.16.5 приведен результат продления грани **face** добавлением новых граней, гладко стыкующихся с гранью **face**. На рис. М.1.16.6 приведен результат продления грани **face** в заданном направлении.

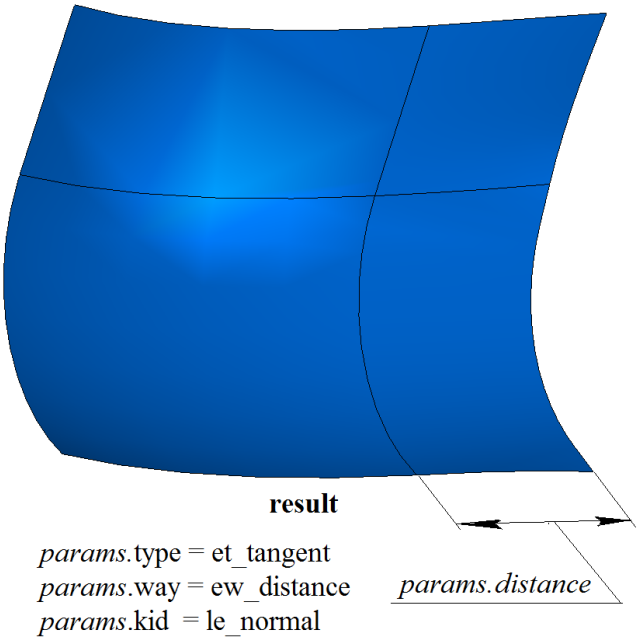


Рис. М.1.16.5.

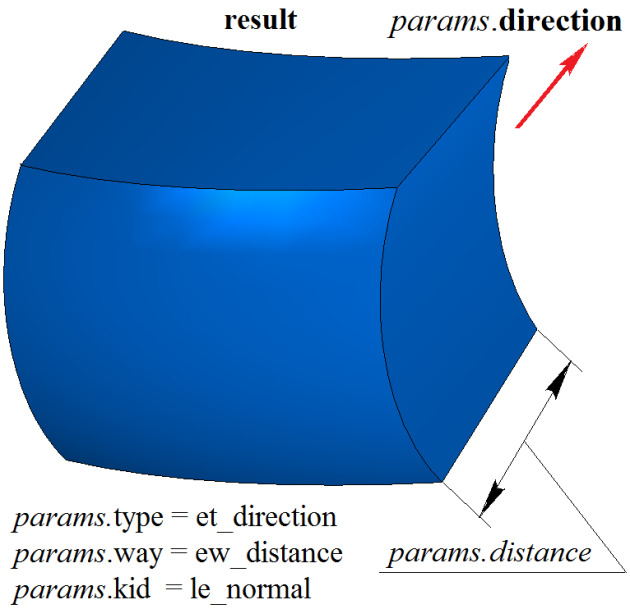


Рис. М.1.16.6.

Метод **ExtensionShell** добавляет в журнал построенного тела строитель MbExtensionShell, который содержит все необходимые данные для построения тела. Строитель MbExtensionShell объявлен в файле cr_extension_shell.h.

М.2. ВЫПОЛНЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ НАД ТЕЛАМИ

Один из подходов к построению тел в геометрическом моделировании похож на процесс изготовления моделируемого объекта. Сначала создаются тела простой формы, а далее выполняется набор действий, позволяющих из тел простой формы получить более сложные тела. Более сложные тела строятся путем выполнения операций над построенными телами. Операции фиксируются в журнале построения. Для замкнутых и незамкнутых тел одни и те же операции могут приводить к разным результатам

М.2.1. Булева операция над телами

Метод

```
MbResultType BooleanResult( const c3d::SolidSPtr &           solid1,
                                  MbeCopyMode                sameShell1,
                            const c3d::SolidSPtr &           solid2,
                                  MbeCopyMode                sameShell2,
                            const MbBooleanOperationParams & params,
                                  c3d::SolidSPtr &           result );
```

выполняет построение нового тела путем булевой операции над двумя заданными телами.

Входными параметрами метода являются:

- **solid1** - первое тело для булевой операции;
- **sameShell1** - вариант копирования первого тела;
- **solid2** - второе тело для булевой операции;
- **sameShell2** - вариант копирования второго тела;
- **params** - параметры выполнения булевой операции;

Выходным параметром является:

- **result** - тело, содержащее результат работы функции.

При удачном выполнении метод возвращает **rt_Success**, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления **MbResultType**.

Метод объявлен в файле *action_solid.h*.

Метод выполняет операции объединения, пересечения и вычитания точек двух тел **solid1** и **solid2**. Параметры **sameShell1** и **sameShell2** управляют передачей граней, ребер и вершин от исходных тел **solid1** и **solid2** построенному телу **result**.

Параметры **sameShell1** и **sameShell2** могут принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell.

Класс `MbBooleanOperationParams` содержит параметры выполнения булевой операции. При создании объекта класса `MbBooleanOperationParams`, используется один из следующих конструкторов:

```
MbBooleanOperationParams(      OperationType        oType,
                         const MbBooleanFlags     & flags,
                         const MbSNameMaker       & operNames,
                               IProgressIndicator * progress = nullptr )

MbBooleanOperationParams(      OperationType        oType,
                               bool                 closed,
                         const MbSNameMaker       & operNames,
                               IProgressIndicator * progress = nullptr )
```

где,

- **oType** - тип булевой операции;
- **flags** - управляющие флаги булевой операции;
- **operName** - именователь;
- **closed** - показатель замкнутости оболочек операндов;
- **progress** - индикатор прогресса выполнения.

Вариант объекта `MbBooleanOperationParams` с параметром *closed* работает только для незамкнутых тел и сообщает операции о необходимости выполнить проверку результата на замкнутость.

Параметр OperationType *oType* определяет тип булевой операции и принимает три значения: bo_Union, bo_Intersect, bo_Difference. При *oType*=bo_Union рассматриваемый метод выполняет объединение тел **solid1** и **solid2**, при *oType*=bo_Intersect рассматриваемый метод выполняет пересечение тел **solid1** и **solid2**, при *oType*=bo_Difference рассматриваемый метод выполняет вычитание из тела **solid1** тела **solid2**.

Параметр `MbSNameMaker operNames` используется для именования результирующих объектов булевой операции.

Параметр `MbBooleanFlags flags` содержит управляющие флаги булевой операции.

В объекте имеются следующие флаги, которые могут быть установлены в конструкторе, при создании объекта, а также с помощью отдельных функций установки:

```
bool mergeFaces;           -Сливать подобные грани;
bool mergeEdges;           -Сливать подобные ребра;
bool closed;               -Замкнутость оболочек операндов;
bool enclosureCheck;       -Проверять оболочки на вложенность;
bool allowNonIntersecting; -Выдавать конечную оболочку, если нет пересечений;
bool cutting;              -Флаг резки оболочки при построении разрезов и сечений;
bool repairShellEdges;     -Флаг починки ребер исходных оболочек.
```

На рис. М.2.1.1 приведены исходные тела-операнды **solid1** и **solid2**.

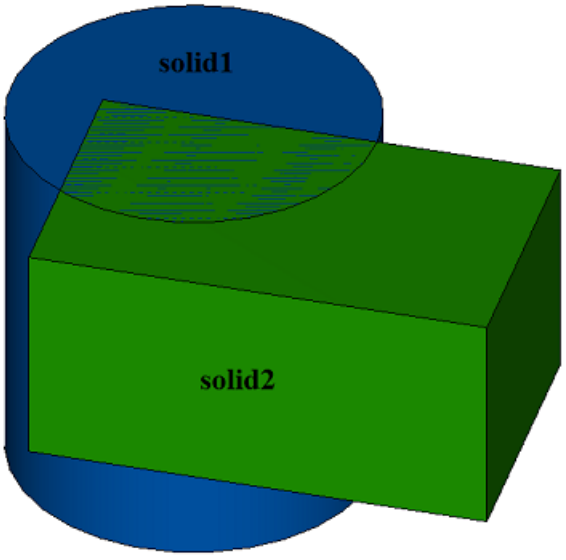
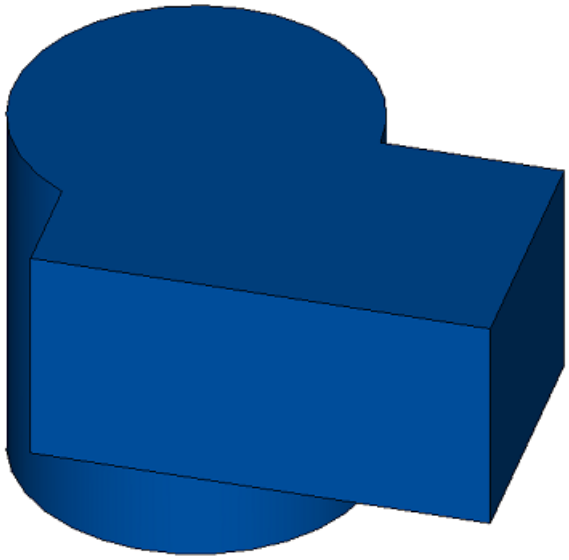


Рис. М.2.1.1.

На рис. М.2.1.2 приведен результат булевой операции объединения тел **solid1** и **solid2**, показанных на рис. М.2.1.1.

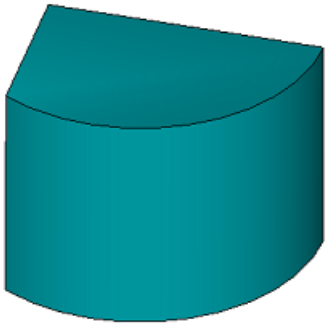


oType = bo_Union

solid1 + solid2

Рис. М.2.1.2.

На рис. М.2.1.3 приведен результат булевой операции пересечения тел **solid1** и **solid2**, показанных на рис. М.2.1.1.

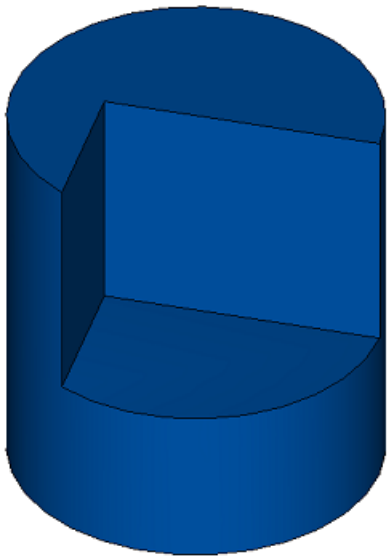


oType = bo_Intersect

solid1&solid2

Рис. М.2.1.3.

На рис. М.2.1.4 приведен результат булевой операции вычитания тела **solid2** из тела **solid1**, показанных на рис. М.2.1.1.

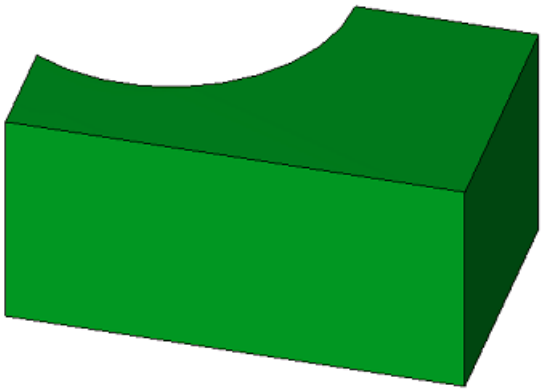


oType = bo_Difference

solid1 - solid2

Рис. М.2.1.4.

На рис. М.2.1.5 приведен результат булевой операции вычитания тела **solid1** из тела **solid2**, показанных на рис. М.2.1.1.



oType = bo_Difference

solid2 - solid1

Рис. М.2.1.5.

Для демонстрации работы функции с переданным объектом `MbBooleanFlags,` с различными значениями флага *mergeFaces* рассмотрим булевы операции над исходными телами **solid1** и **solid2**, приведенными на рис. М.2.1.6.

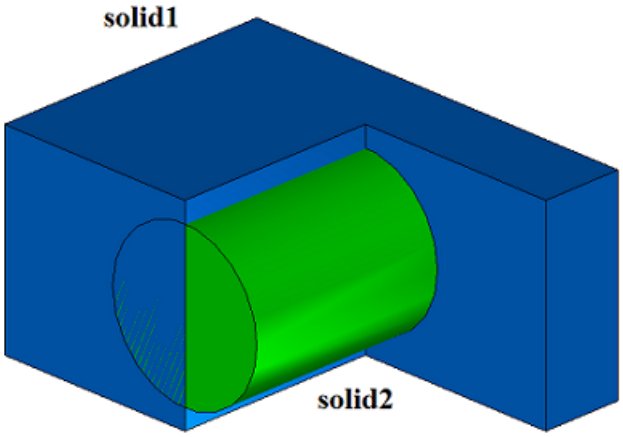
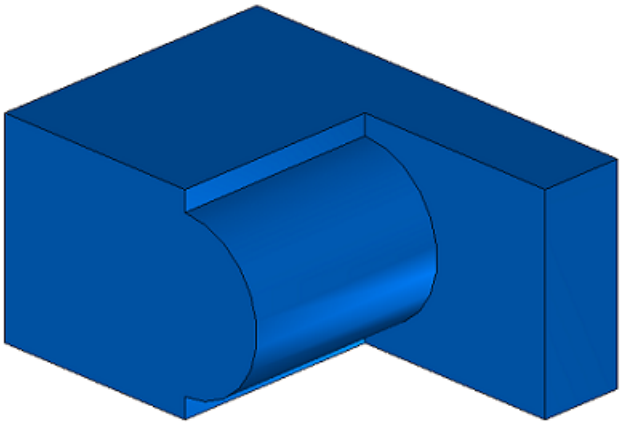


Рис. М.2.1.6.

На рис. М.2.1.7 приведен результат **result** объединения тел **solid1** и **solid2** при работе рассматриваемого метода с флагом *mergeFaces*==true. На рис. М.2.1.8 приведен результат **result** объединения тел **solid1** и **solid2** при работе рассматриваемого метода с флагом *mergeFaces*==false. Совпадающие грани на рис. М.2.1.8 не объединены.

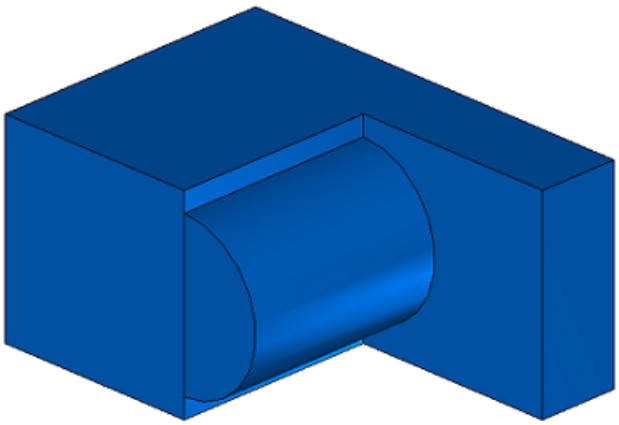
oType = bo_Union *mergeFaces* = true



solid1 + **solid2**

Рис. М.2.1.7.

oType = bo_Union *mergeFaces* = false



solid1 + **solid2**

Рис. М.2.1.8.

На рис. М.2.1.9 приведен результат **result** вычитания тела **solid2** из тела **solid1** при работе рассматриваемого метода с параметром *mergeFaces* = true. На рис. М.2.1.10 приведен результат **result**

вычитания тела **solid2** из тела **solid1** при работе рассматриваемого метода с параметром *mergeFaces* = false. Совпадающие грани на рис. М.2.1.10 не объединены.

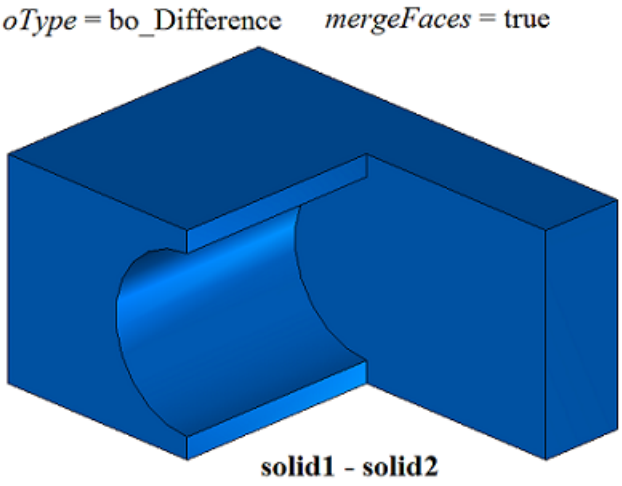


Рис. М.2.1.9.

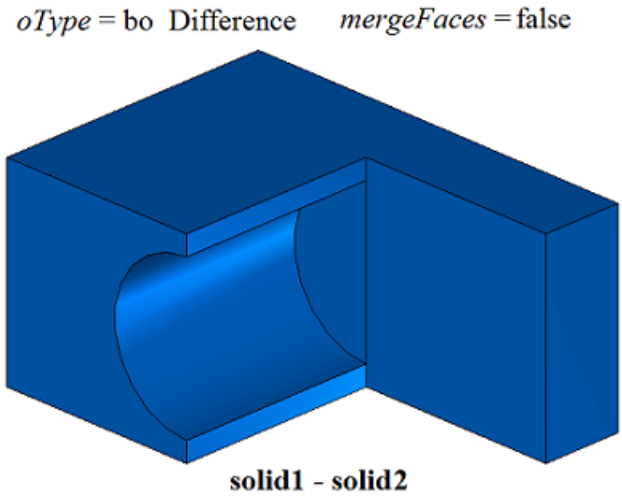


Рис. М.2.1.10.

Метод **BooleanResult** добавляет в журнал построенного тела строитель MbBooleanSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbBooleanSolid объявлен в файле cr_boolean_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет булевы операции над телами командами меню «Создать->Тело->Приклеиванием к телу->Тела», «Создать->Тело->Вырезанием из тела->Тела», «Создать->Тело->Пересечением с телом->Тела».

М.2.2. Булева операция над незамкнутыми телами

Функция BooleanShell объявлена устаревшей. Вместо нее необходимо использовать функцию BooleanResult с параметром MbBooleanResultParams.

М.2.3. Булева операция с телом выдавливания

Метод
MbResultType
ExtrusionResult (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const MbSweptData & **sweptData**,
const MbVector3D & **direction**,
ExtrusionValues & *params*,
OperationType *oType*,
const MbSNameMaker & names,
PArray<MbSNameMaker> & snames,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение тела выдавливания и булеву операцию заданного тела с построенным телом.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – заданное тело для булевой операции,
- *sameShell* – вариант копирования заданного тела,
- **sweptData** – данные об образующих кривых для построения тела выдавливания,
- **direction** – направление выдавливания,
- *params* – параметры построения,
- *oType* – тип булевой операции: bo_Union – объединение тел,
  bo_Intersect – пересечение тел,
  bo_Difference – вычитание тел,
- names – именователь операции,
- snames – именователи граней тела выдавливания.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Метод представляет собой последовательное объединение двух методов: метода **ExtrusionSolid**, выполняющего построение тела путем выдавливания кривых **sweptData** по заданным параметрам *params* в направлении **direction**, и метода **BooleanSolid**, выполняющего булеву операцию *oType* тела **solid** с построенным на предыдущем шаге телом. Метод **ExtrusionSolid** описан в параграфе М.1.3. Построение тела выдавливания, метод **BooleanSolid** описан в параграфе М.2.1. Булева операция над телами. Параметр *sameShell* управляет передачей граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** построенному телу **result**.

Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell.

Параметр OperationType *oType* определяет тип булевой операции и принимает три значения: bo_Union, bo_Intersect, bo_Difference. При *oType*=bo_Union рассматриваемый метод выполняет объединение тел **solid** и тела выдавливания, при *oType*=bo_Intersect рассматриваемый метод выполняет пересечение тел **solid** и тела выдавливания, при *oType*=bo_Difference рассматриваемый метод выполняет вычитание из тела **solid** тела выдавливания. Параметры names и snames обеспечивают именование граней построенного тела.

Метод **ExtrusionResult** при построении тела путем выдавливания кривых имеет те же возможности, что и метод **ExtrusionSolid**: выдавливаемые кривые могут располагаться на плоскости (рис. М.1.3.2), криволинейной поверхности (рис. М.1.3.12) или в пространстве (рис. М.1.3.20); выдавливание может выполняться в прямом, обратном и в обоих направлениях; с уклоном и без уклона граней; тело может полностью заполнять замкнутые кривые (рис. М.1.3.13) или иметь тонкую

стенку (рис. М.1.3.14). Мы не будем повторять описание всех возможностей рассматриваемого метода, а остановимся только на некоторых их них, связанных с булевыми операциями.

На рис. М.2.3.1 показаны тело **solid**, образующая кривая, входящая в данные **sweptData**, и направление выдавливания **direction**.

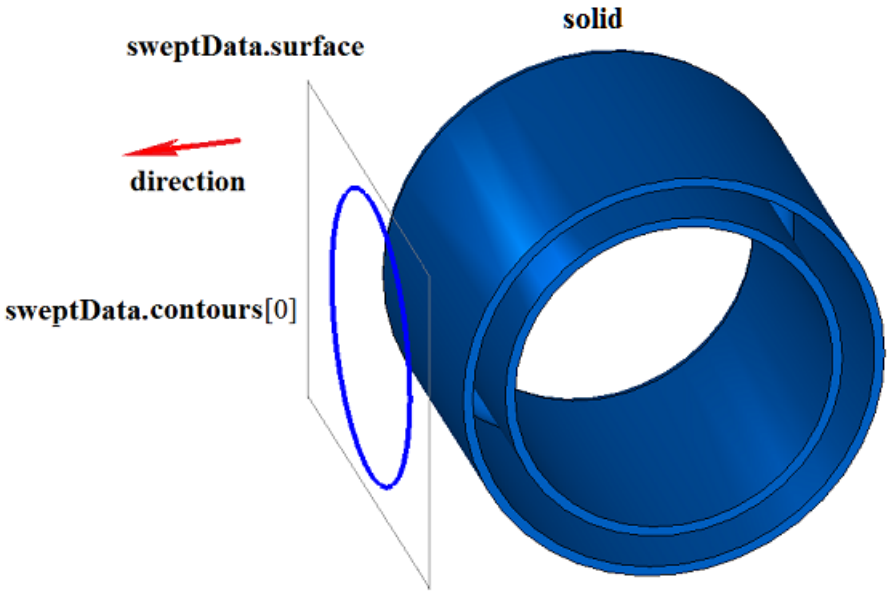


Рис. М.2.3.1.

На рис. М.2.3.2 приведен результат булевой операции объединения тела **solid** и тонкостенного тела, полученного выдавливанием образующей кривой **sweptData** по направлению **direction**, показанных на рис. М.2.3.1, на заданное расстояние.

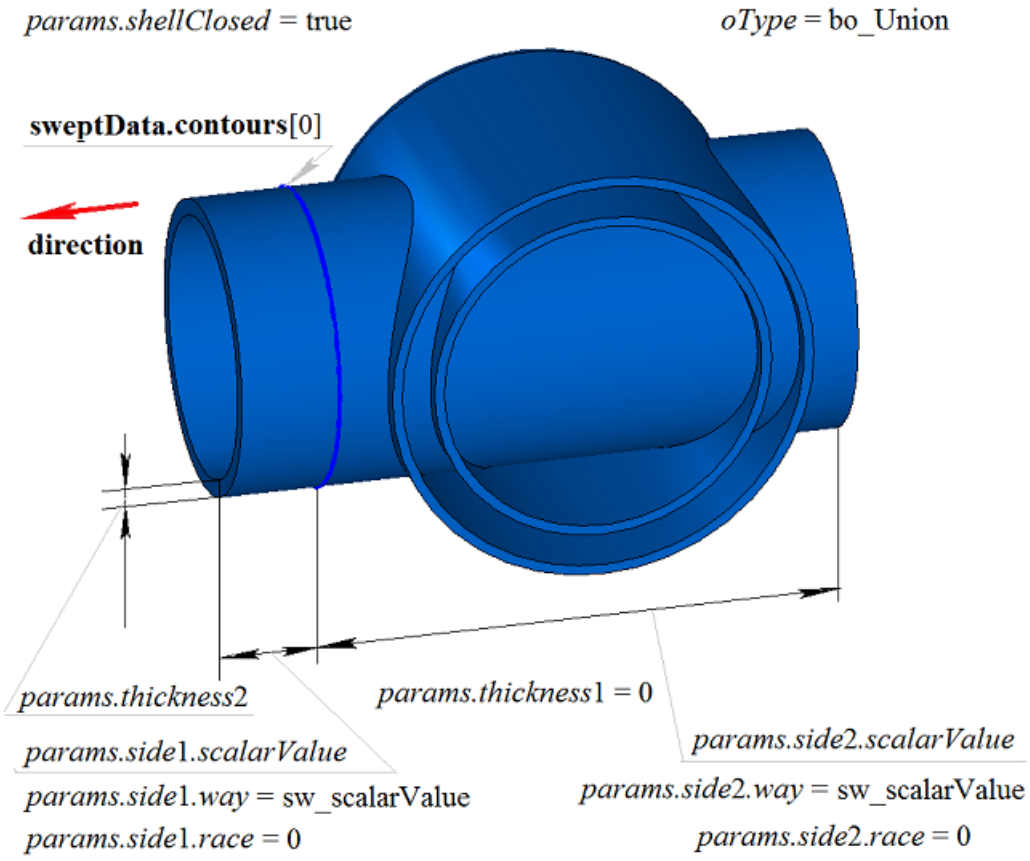


Рис. М.2.3.2.

На рис. М.2.3.3 приведен результат булевой операции объединения тела **solid** и тела, полученного выдавливанием образующей кривой **sweptData** по направлению **direction**, показанных на рис. М.2.3.1. Выдавливание образующей кривой выполнено в обратном направлении без уклона с опцией «До ближайших объектов» (*params.side*2.*way*=sw_shell).

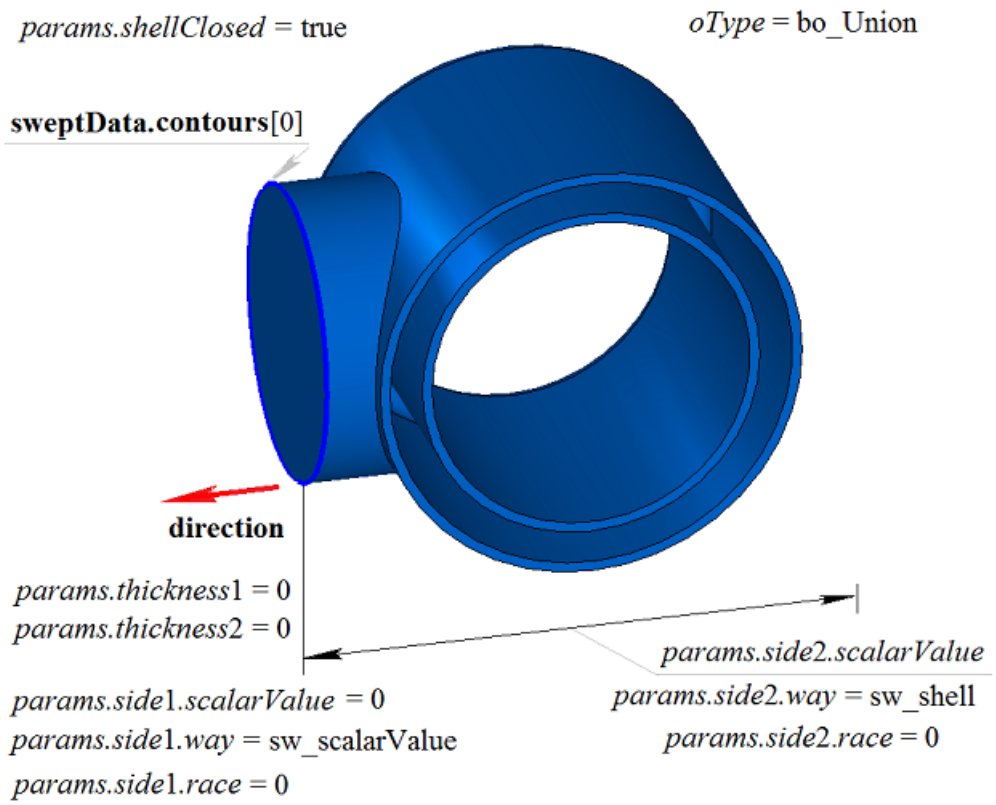


Рис. М.2.3.3.

На рис. М.2.3.4 приведен результат булевой операции вычитания из тела **solid** тела, полученного выдавливанием образующей кривой **sweptData** по направлению **direction**, показанных на рис. М.2.3.1.

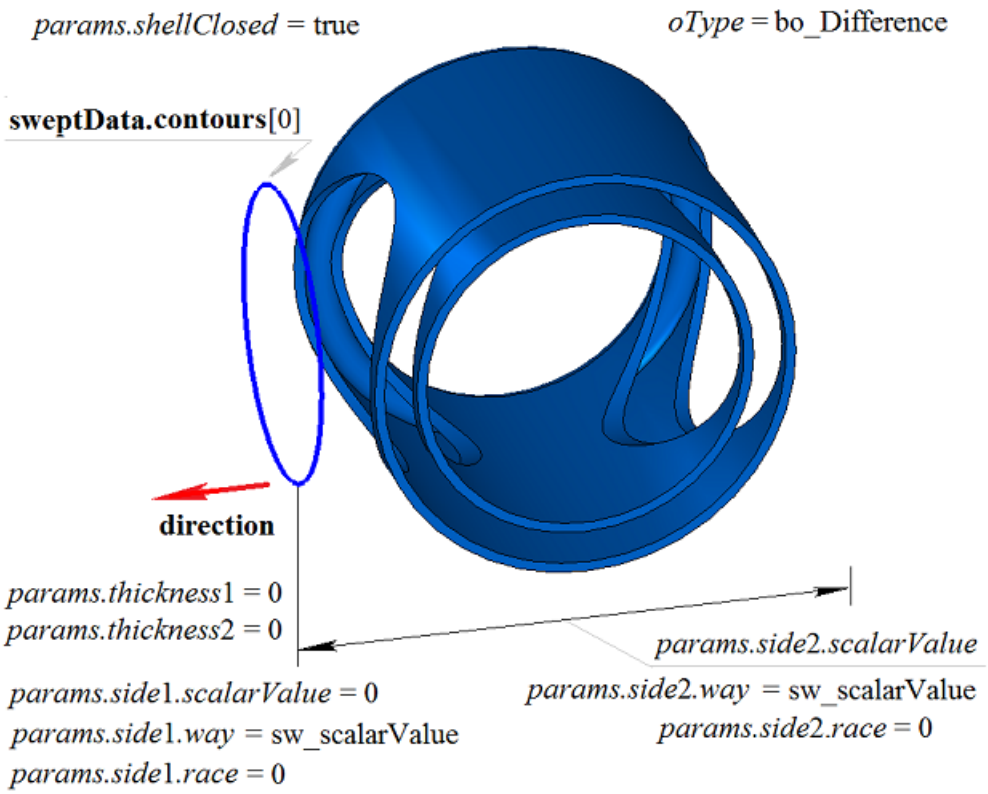


Рис. М.2.3.4.

На рис. М.2.3.5 приведен результат булевой операции вычитания из тела **solid** тела, полученного выдавливанием образующей кривой **sweptData** по направлению **direction**, показанных на рис. М.2.3.1. Выдавливание образующей кривой выполнено в обратном направлении без уклона с опцией «До ближайших объектов» (*params.side2.way*=sw_shell).

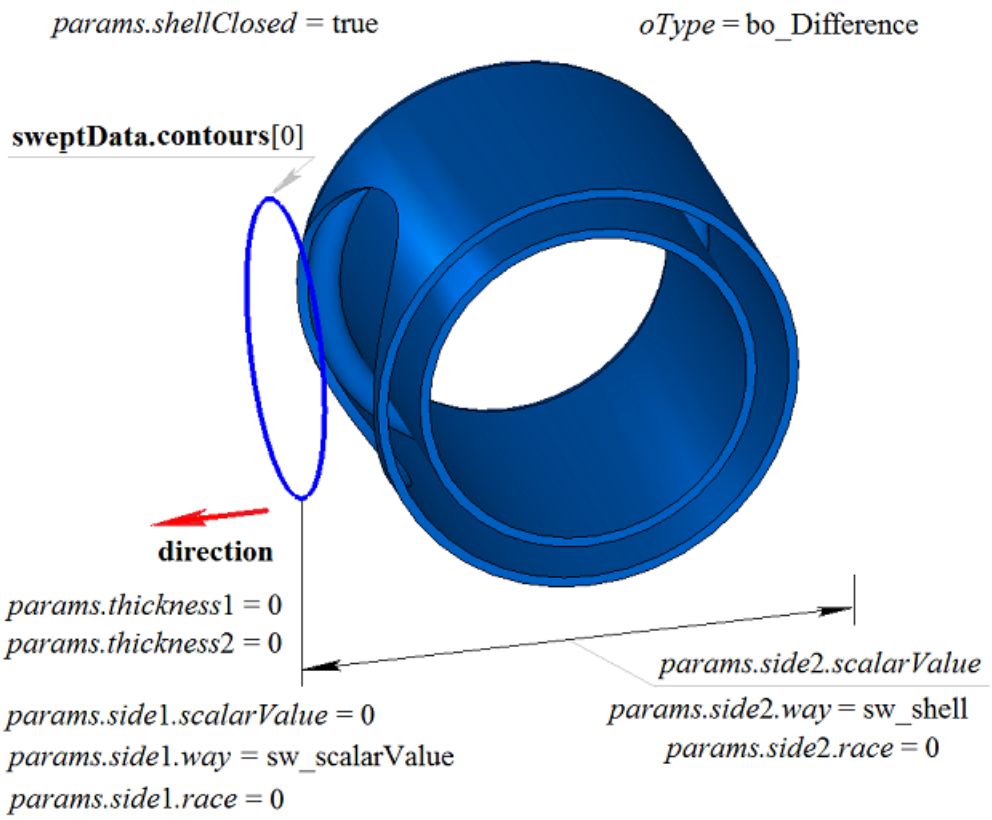


Рис. М.2.3.5.

На рис. М.2.3.6 приведен результат булевой операции пересечения тела **solid** и тела, полученного выдавливанием образующей кривой **sweptData** по направлению **direction**, показанных на рис. М.2.3.1.

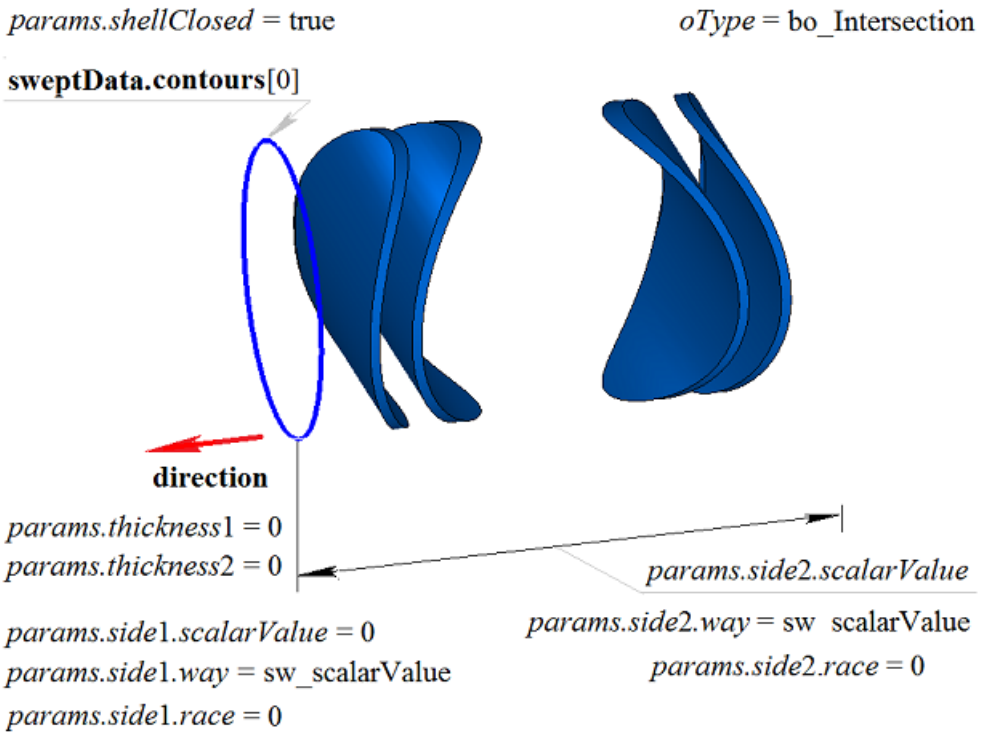


Рис. М.2.3.6.

На рис. М.2.3.7 приведен результат булевой операции пересечения тела **solid** и тела, полученного выдавливанием образующей кривой **sweptData** по направлению **direction**, показанных на рис. М.2.3.1. Выдавливание образующей кривой выполнено в обратном направлении без уклона с опцией «До ближайших объектов».

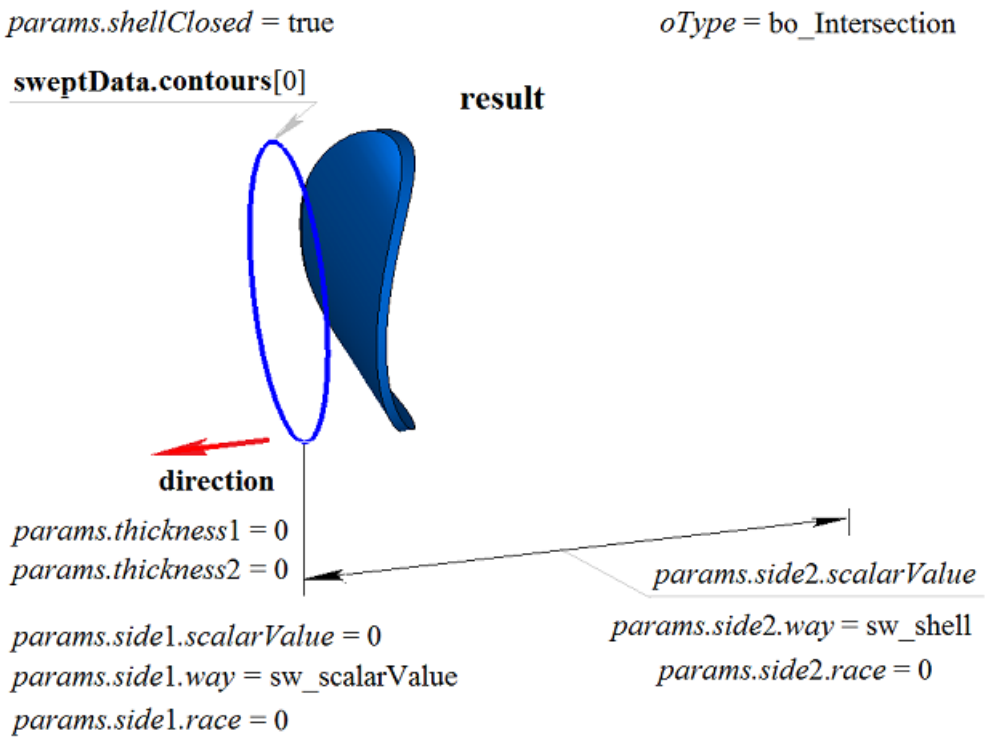


Рис. М.2.3.7.

Метод **ExtrusionResult** добавляет в журнал построенного тела строитель MbExtrusionSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbExtrusionSolid объявлен в файле cr_extrusion_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет булеву операцию с построенным телом выдавливания командами меню «Создать->Тело->Приклеиванием к телу->Выдавливания кривой», «Создать->Тело->Вырезанием из тела->Выдавливания кривой» и «Создать->Тело->Пересечением с телом-> Выдавливания кривой».

М.2.4. Булева операция с телом вращения

Метод
MbResultType
RevolutionResult (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const MbSweptData & **sweptData**,
const MbAxis3D & **axis**,
RevolutionValues & *params*,
OperationType *oType*,
const MbSNameMaker & names,
PArray<MbSNameMaker> & snames,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение тела вращения и булеву операцию заданного тела с построенным телом.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – заданное тело для булевой операции,
- *sameShell* – вариант копирования заданного тела,
- **sweptData** – данные об образующих кривых для построения тела выдавливания,

- **axis** – ось вращения,
- *params* – параметры построения,
- *oType* – тип булевой операции: bo_Union – объединение тел,
  bo_Intersect – пересечение тел,
  bo_Difference – вычитание тел,
- names – именователь операции,
- snames – именователи граней тела вращения.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Метод представляет собой последовательное объединение двух методов: метода **RevolutionSolid**, выполняющего построение тела путем выдавливания кривых **sweptData** по заданным параметрам *params* в направлении **direction**, и метода **BooleanSolid**, выполняющего булеву операцию *oType* тела **solid** с построенным на предыдущем шаге телом. Метод **RevolutionSolid** описан в параграфе М.1.4. Построение тела вращения, метод **BooleanSolid** описан в параграфе М.2.1. Булева операция над телами. Параметр *sameShell* управляет передачей граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** построенному телу **result**.

Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell.

Параметр OperationType *oType* определяет тип булевой операции и принимает три значения: bo_Union, bo_Intersect, bo_Difference. При *oType*=bo_Union рассматриваемый метод выполняет объединение тел **solid** и тела вращения, при *oType*=bo_Intersect рассматриваемый метод выполняет пересечение тел **solid** и тела вращения, при *oType*=bo_Difference рассматриваемый метод выполняет вычитание из тела **solid** тела вращения. Параметры names и snames обеспечивают именование граней построенного тела.

Метод **RevolutionResult** при построении тела путем вращения кривых имеет те же возможности, что и метод **RevolutionSolid**: вращаемые кривые могут располагаться на плоскости (рис. М.1.4.2), криволинейной поверхности (рис. М.1.4.9) или в пространстве (рис. М.1.4.16); вращение может выполняться в прямом, обратном и в обоих направлениях; тело может полностью заполнять замкнутые кривые (рис. М.1.4.10) или иметь тонкую стенку (рис. М.1.4.11). Мы не будем повторять описание всех возможностей рассматриваемого метода, а остановимся только на некоторых их них, связанных с булевыми операциями.

На рис. М.2.4.1 показаны тело **solid**, образующая кривая, входящая в данные **sweptData**, и ось вращения **axis**.

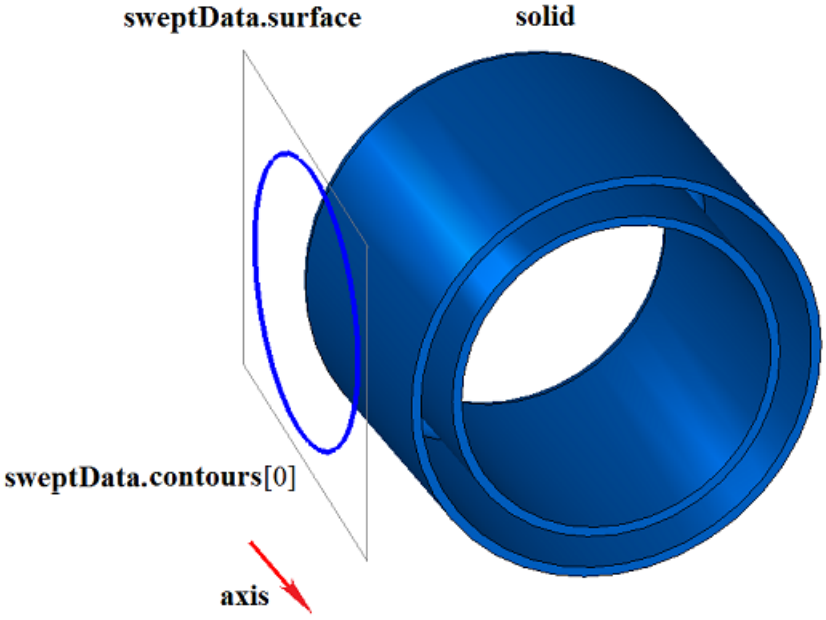


Рис. М.2.4.1.

На рис. М.2.4.2 приведен результат булевой операции объединения тела **solid** и тонкостенного тела, полученного вращением образующей кривой **sweptData** вокруг оси **axis**, показанных на рис. М.2.4.1.

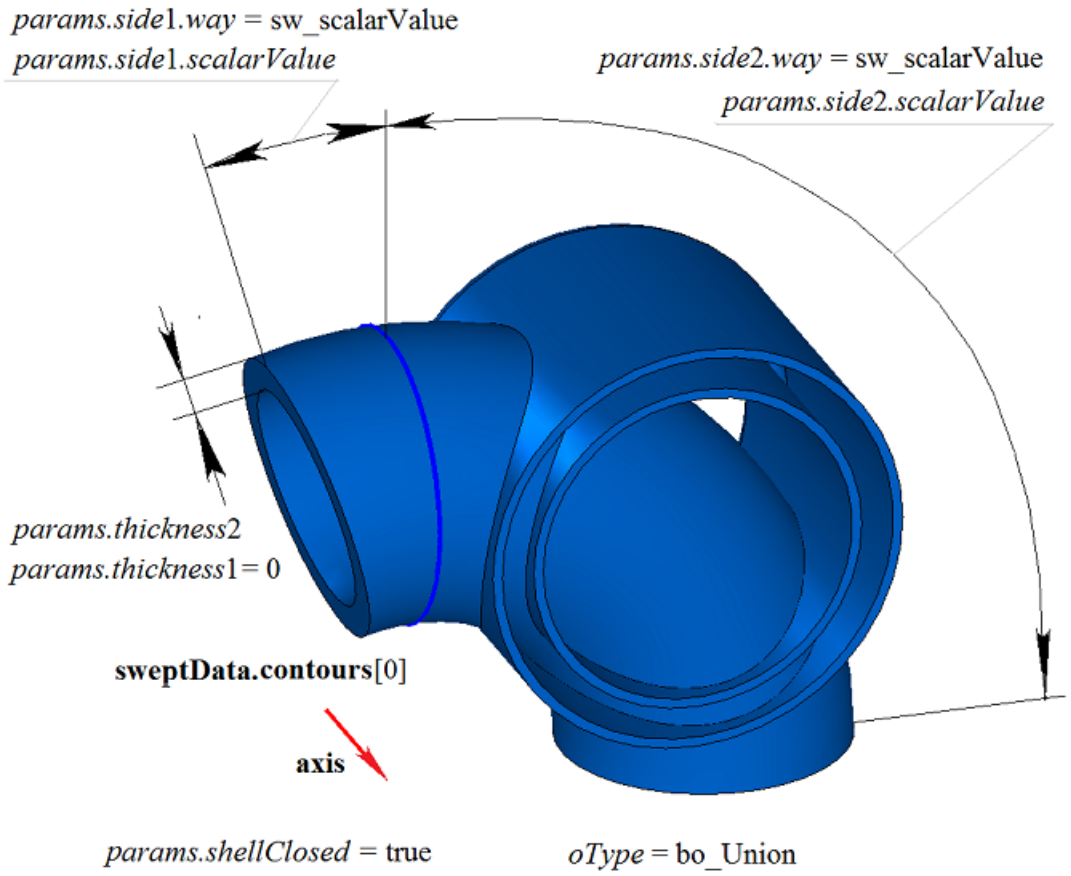


Рис. М.2.4.2.

На рис. М.2.4.3 приведен результат булевой операции объединения тела **solid** и тонкостенного тела, полученного вращением образующей кривой **sweptData** вокруг оси **axis**, показанных на рис. М.2.4.1. Вращение образующей кривой выполнено в обратном направлении с опцией «До поверхности» (*params.side*2.*way*=sw_surface).

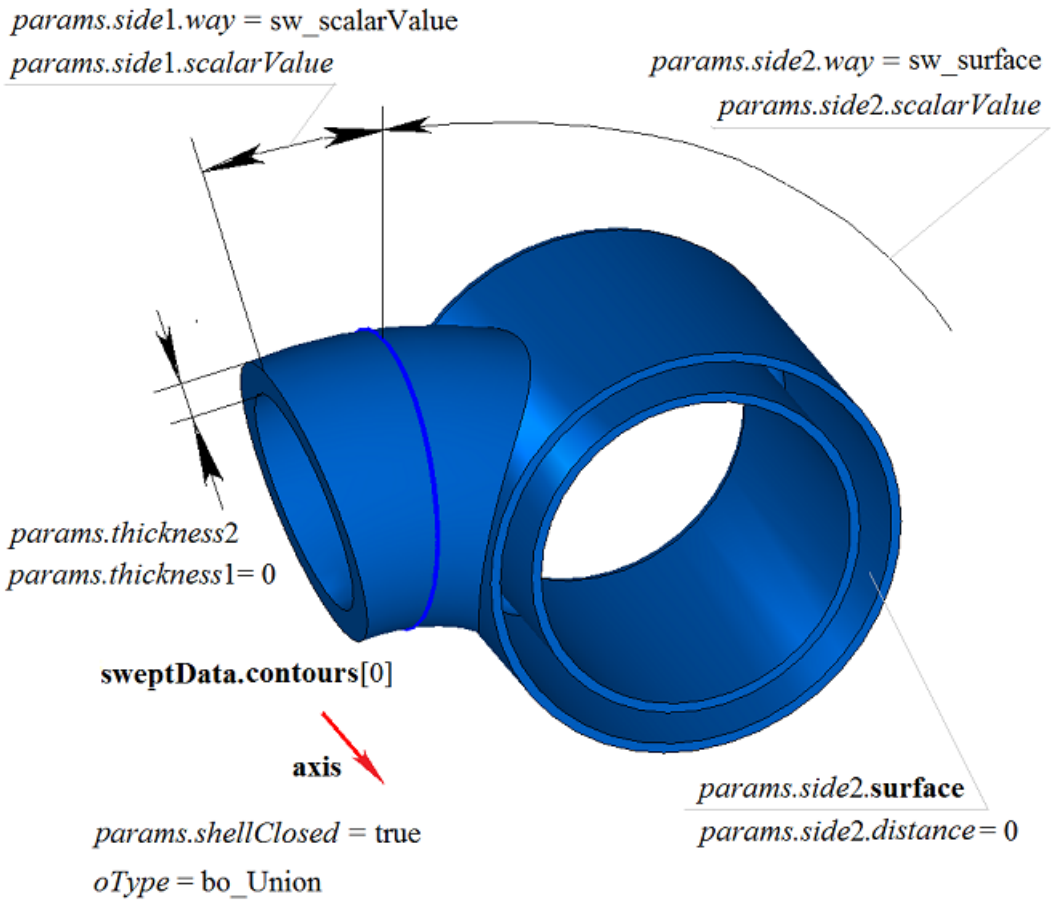


Рис. М.2.4.3.

На рис. М.2.4.4 приведен результат булевой операции вычитания из тела **solid** тела, полученного вращением образующей кривой **sweptData** вокруг оси **axis**, показанных на рис. М.2.4.1.

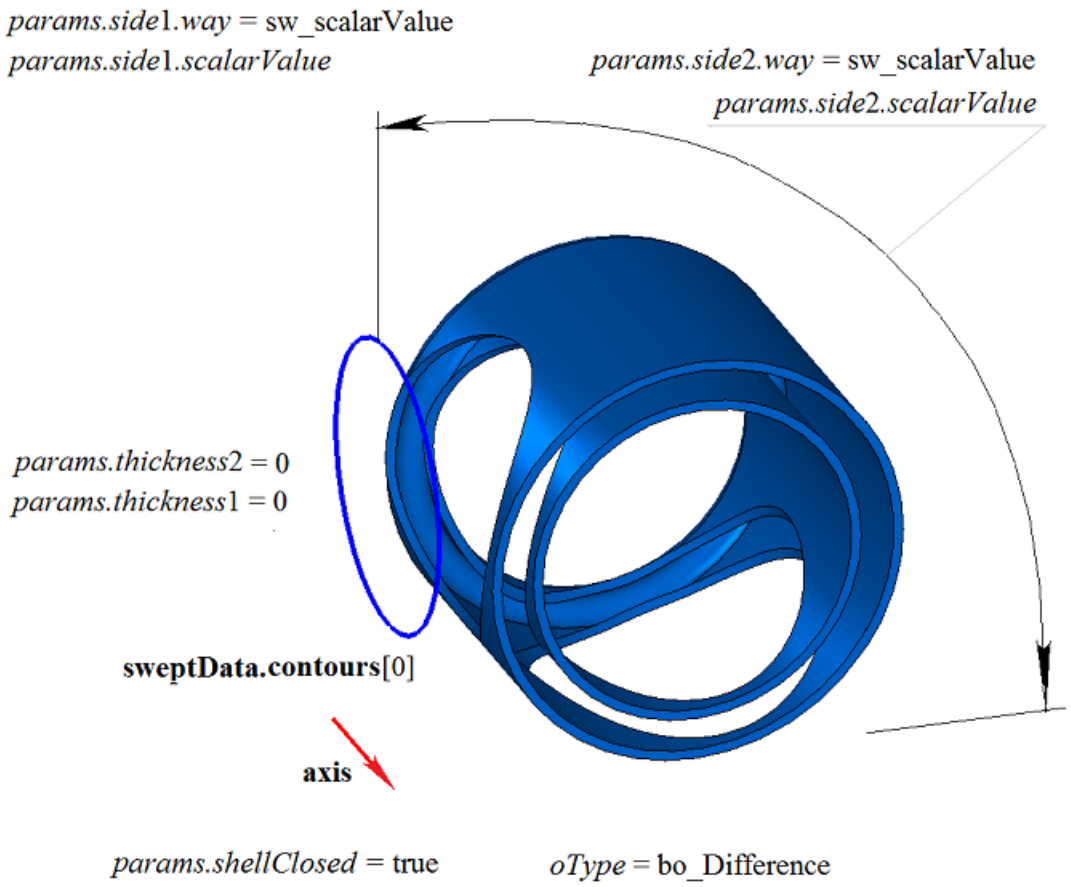


Рис. М.2.4.4.

На рис. М.2.4.5 приведен результат булевой операции вычитания из тела **solid** тела, полученного вращением образующей кривой **sweptData** вокруг оси **axis**, показанных на рис. М.2.4.1. Вращение образующей кривой выполнено в обратном направлении с опцией «До поверхности» (*params.side*2.*way*=sw_surface).

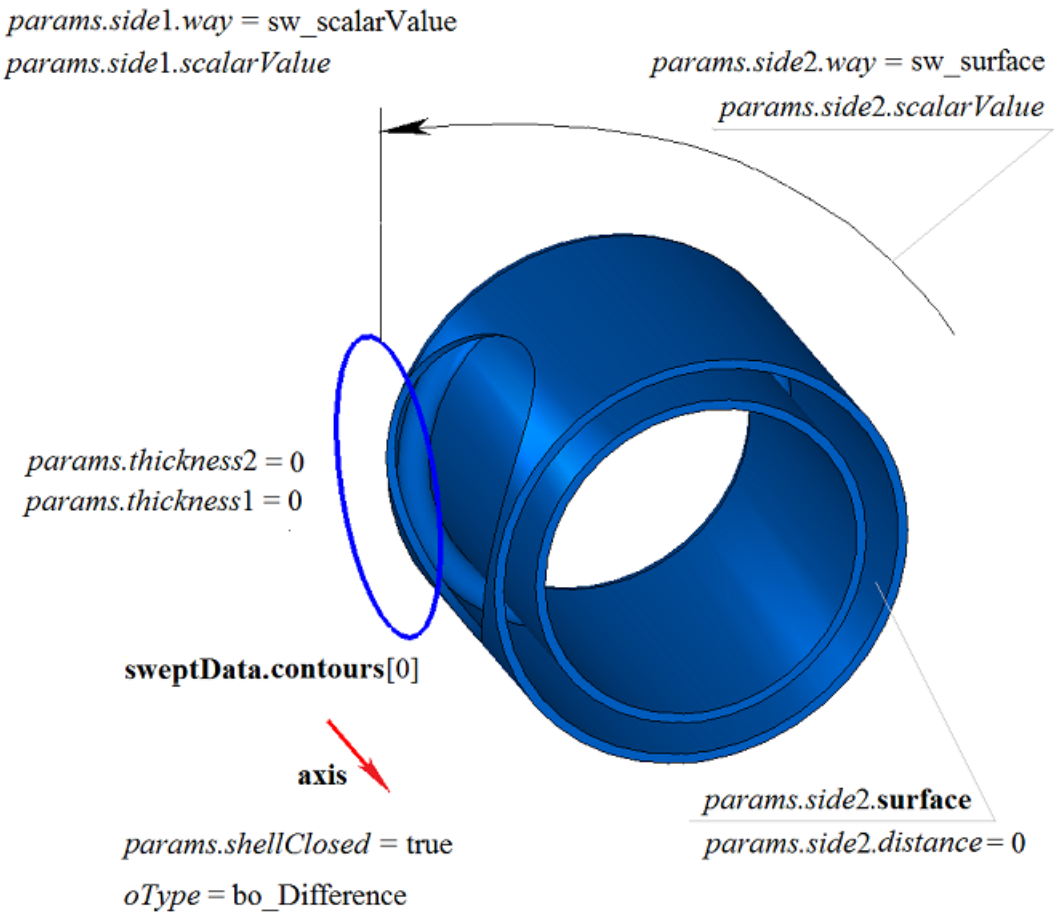


Рис. М.2.4.5.

На рис. М.2.4.6 приведен результат булевой операции пересечения тела **solid** и тела, полученного вращением образующей кривой **sweptData** вокруг оси **axis**, показанных на рис. М.2.4.1.

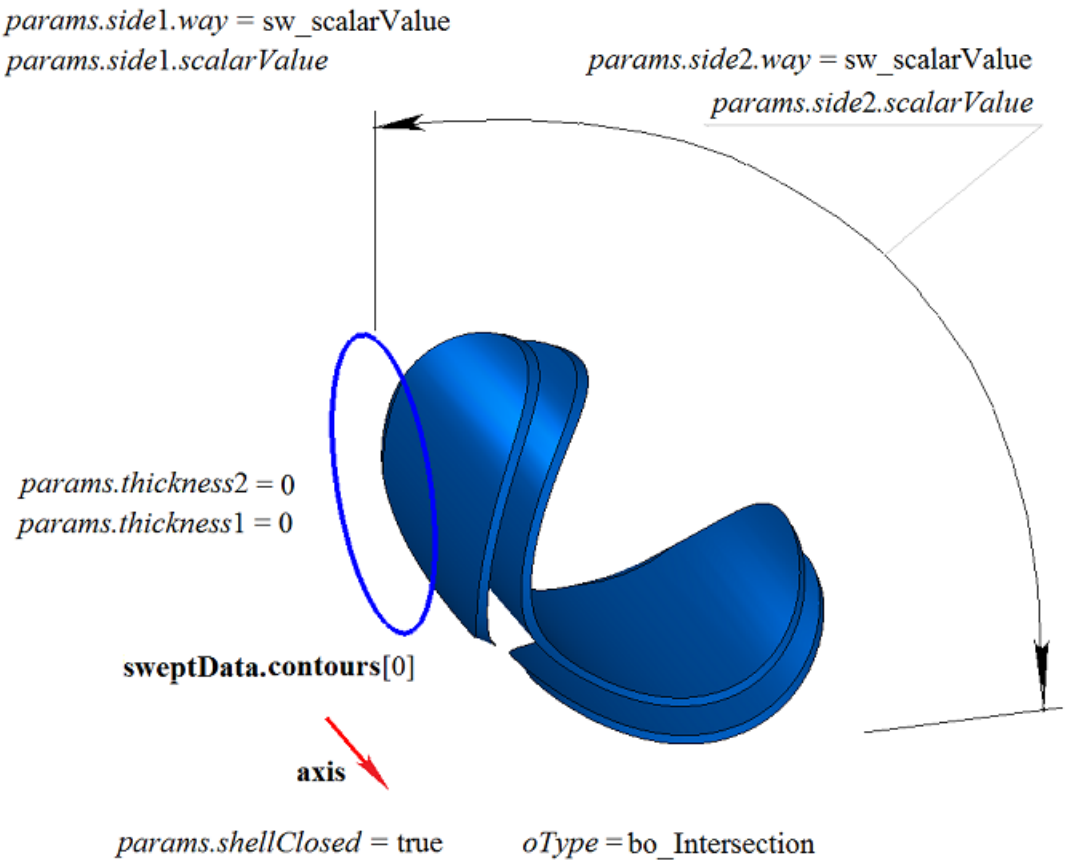


Рис. М.2.4.6.

На рис. М.2.4.7 приведен результат булевой операции пересечения тела **solid** и тела, полученного вращением образующей кривой **sweptData** вокруг оси **axis**, показанных на рис. М.2.4.1. Вращение образующей кривой выполнено в обратном направлении с опцией «До поверхности» (*params.side*2.*way*=sw_surface).

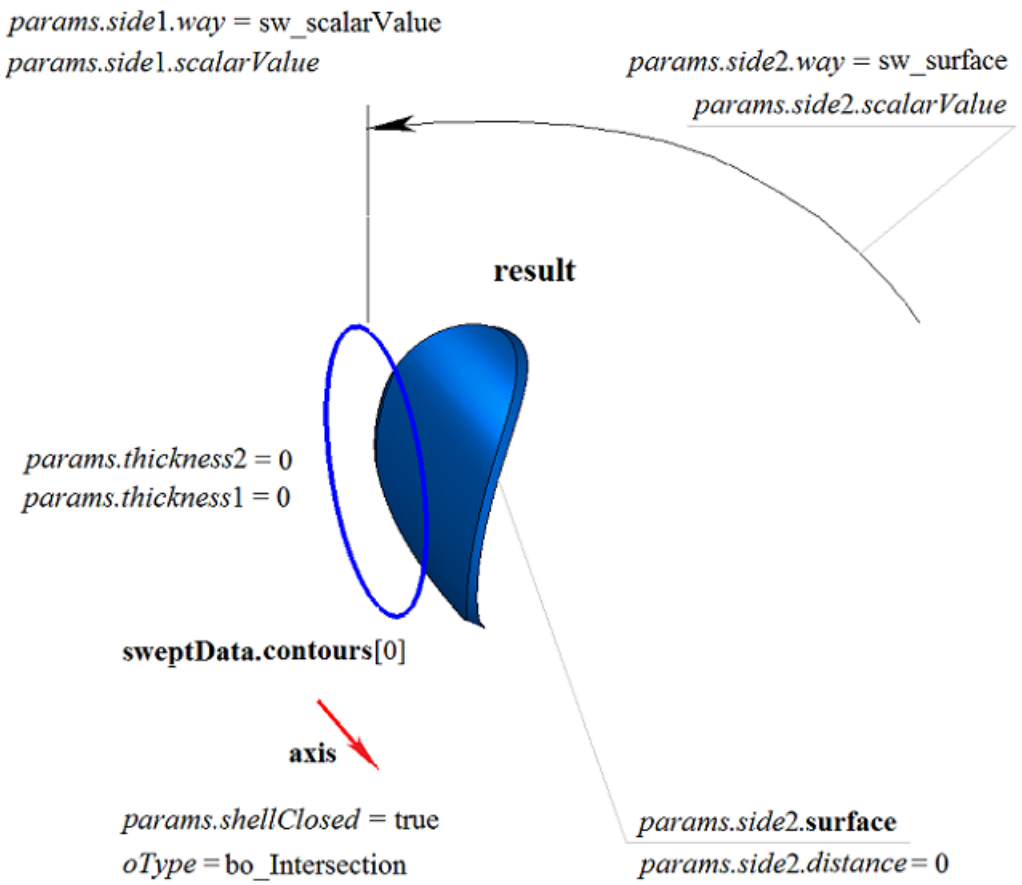


Рис. M.2.4.7.

Метод **RevolutionResult** добавляет в журнал построенного тела строитель MbRevolutionSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbRevolutionSolid объявлен в файле cr_revolution_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет булеву операцию с построенным телом выдавливания командами меню «Создать->Тело->Приклеиванием к телу->Вращения кривой», «Создать->Тело->Вырезанием из тела->Вращения кривой» и «Создать->Тело->Пересечением с телом->Вращения кривой».

M.2.5. Булева операция с телом заметания

Метод
MbResultType
EvolutionResult (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const MbSweptData & **sweptData**,
const MbCurve3D & **spine**,
EvolutionValues & *params*,
OperationType *oType*,
const MbSNameMaker & names,
PArray<MbSNameMaker> & cnames,
const MbSNameMaker & snames,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение тела заметания и булеву операцию заданного тела с построенным телом.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – заданное тело для булевой операции,
- *sameShell* – вариант копирования заданного тела,
- **sweptData** – данные об образующих кривых для построения тела выдавливания,

- **spine** – направляющая кривая,
- *params* – параметры построения,
- *oType* – тип булевой операции: bo_Union – объединение тел,
  bo_Intersect – пересечение тел,
  bo_Difference – вычитание тел,
- names – именователь граней,
- cnames – именователи граней тела заметания,
- snames – именователь направляющей.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Метод представляет собой последовательное объединение двух методов: метода **EvolutionSolid**, выполняющего построение тела путем движения кривых **sweptData** вдоль направляющей кривой **spine** по заданным параметрам *params*, и метода **BooleanSolid**, выполняющего булеву операцию *oType* тела **solid** с построенным на предыдущем шаге телом. Метод **EvolutionSolid** описан в параграфе М.1.5. Построение тела заметания, метод **BooleanSolid** описан в параграфе М.2.1. Булева операция над телами. Параметр *sameShell* управляет передачей граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** построенному телу **result**.

Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell.

Параметр OperationType *oType* определяет тип былевой операции и принимает три значения: bo_Union, bo_Intersect, bo_Difference. При *oType*=bo_Union рассматриваемый метод выполняет объединение тел **solid** и тела заметания, при *oType*=bo_Intersect рассматриваемый метод выполняет пересечение тел **solid** и тела заметания, при *oType*=bo_Difference рассматриваемый метод выполняет вычитание из тела **solid** тела заметания. Параметры names, cnames и snames обеспечивают именование граней построенного тела.

Метод **EvolutionResult** при построении тела путем движения кривых имеет те же возможности, что и метод **EvolutionSolid**: направляющие кривые могут располагаться на плоскости (рис. М.1.5.2), криволинейной поверхности (рис. М.1.5.8) или в пространстве (рис. М.1.5.16); тело может полностью заполнять замкнутые кривые (рис. М.1.5.9) или иметь тонкую стенку (рис. М.1.5.10). Мы не будем повторять описание всех возможностей рассматриваемого метода, а остановимся только на некоторых их них, связанных с булевыми операциями.

На рис. М.2.5.1 показаны тело **solid**, образующая кривая, входящая в данные **sweptData**, и направляющая кривая **spine**.

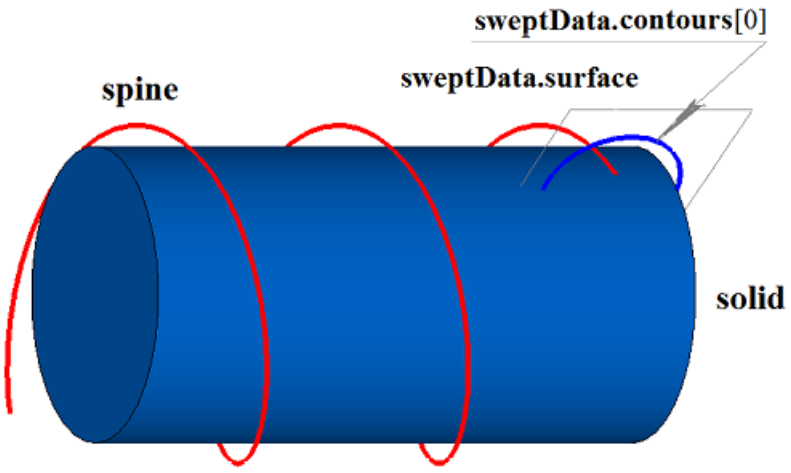


Рис. М.2.5.1.

На рис. М.2.5.2 приведен результат булевой операции объединения тела **solid** и тела, полученного движением образующей кривой **sweptData** вдоль направляющей кривой **spine**, показанных на рис. М.2.5.1.

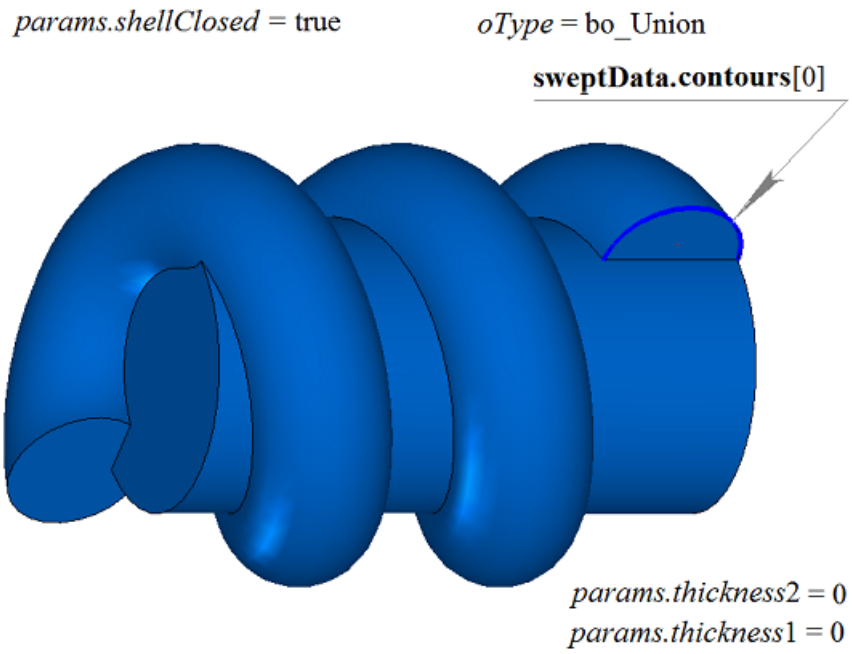


Рис. М.2.5.2.

На рис. М.2.5.3 приведен результат булевой операции вычитания из тела **solid** тела, полученного движением образующей кривой **sweptData** вдоль направляющей кривой **spine**, показанных на рис. М.2.5.1.

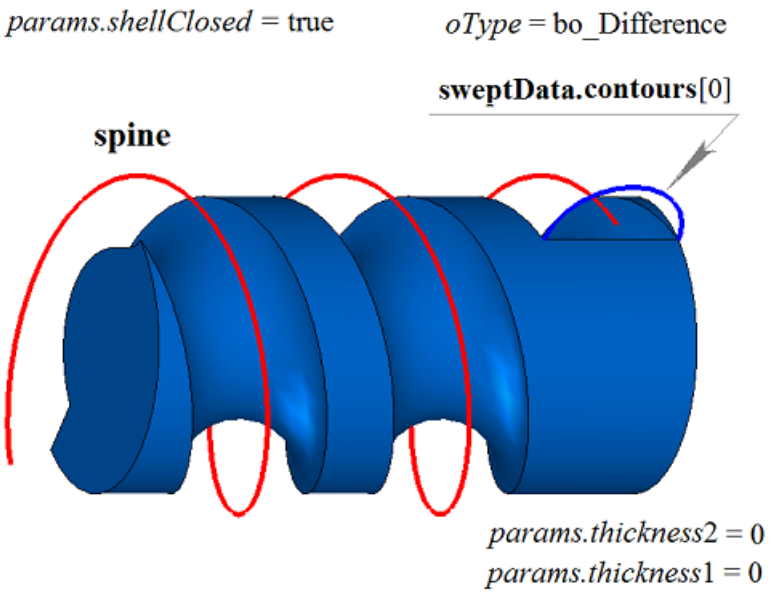


Рис. М.2.5.3.

На рис. М.2.5.4 приведен результат булевой операции объединения тела **solid** и тела, полученного движением образующей кривой **sweptData** вдоль направляющей кривой **spine**, показанных на рис. М.2.5.1.

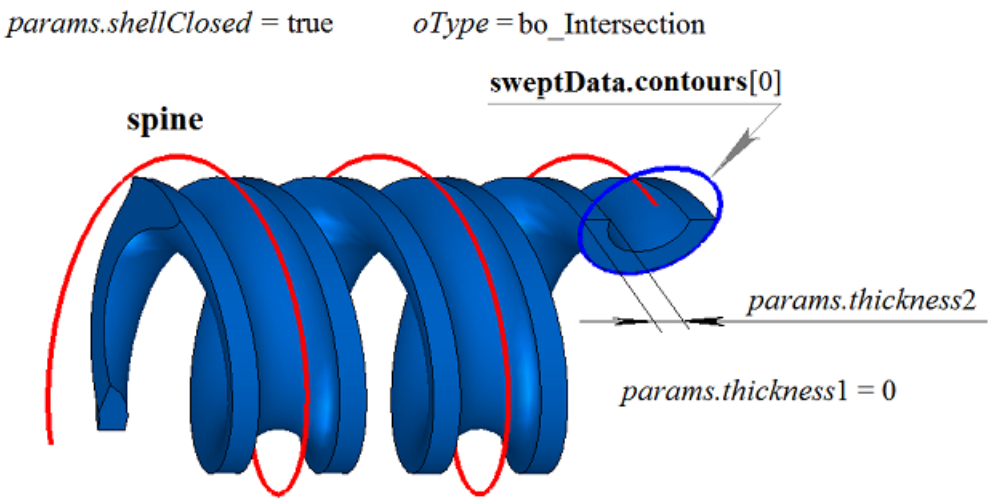


Рис. М.2.5.4.

Метод **EvolutionResult** добавляет в журнал построенного тела строитель MbEvolutionSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbEvolutionSolid объявлен в файле cr_evolution_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет булеву операцию с построенным телом заметания командами меню «Создать->Тело->Приклеиванием к телу->Движением кривой», «Создать->Тело->Вырезанием из тела->Движением кривой» и «Создать->Тело->Пересечением с телом->Движением кривой».

М.2.6. Булева операция с телом, построенным по плоским сечениям

Метод
MbResultType
LoftedResult (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
SArray<MbPlacement3D> & **places**,
RPArray<MbContour> & **contours**,
const MbCurve3D * **spine**,
LoftedValues & *params*,
OperationType *oType*,
Sarray<MbCartPoint3D> * **points**,
const MbSNameMaker & names,
PArray<MbSNameMaker> & snames,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение тела по плоским сечениям и булеву операцию заданного тела с построенным телом.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – заданное тело для булевой операции,
- *sameShell* – вариант копирования заданного тела,
- **places** – множество локальных систем координат образующих контуров,
- **contours** – множество образующих контуров,
- **spine** – направляющая кривая (может отсутствовать),
- *params* – параметры построения,
- *oType* – тип булевой операции: bo_Union – объединение тел,
  bo_Intersect – пересечение тел,
  bo_Difference – вычитание тел,

- **points** – множество контрольных точек (может отсутствовать),
- names – именователь граней,
- snames – именователи образующих контуров.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Метод представляет собой последовательное объединение двух методов: метода **LoftedSolid**, выполняющего построение тела по плоским сечениям **contours** на плоскостях **places** по заданным параметрам *params*, и метода **BooleanSolid**, выполняющего булеву операцию *oType* тела **solid** с построенным на предыдущем шаге телом. Метод **LoftedSolid** описан в параграфе М.1.6. Построение тела по плоским сечениям, метод **BooleanSolid** описан в параграфе М.2.1. Булева операция над телами. Параметр *sameShell* управляет передачей граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** построенному телу **result**.

Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell.

Параметр OperationType *oType* определяет тип булевой операции и принимает три значения: bo_Union, bo_Intersect, bo_Difference. При *oType*=bo_Union рассматриваемый метод выполняет объединение тел **solid** и тела заметания, при *oType*=bo_Intersect рассматриваемый метод выполняет пересечение тел **solid** и тела заметания, при *oType*=bo_Difference рассматриваемый метод выполняет вычитание из тела **solid** тела заметания. Параметры names, cnames и snames обеспечивают именование граней построенного тела.

Метод **LoftedResult** при построении тела по плоским сечениям имеет те же возможности, что и метод **LoftedSolid**: тело может строиться разомкнутым (рис. М.1.6.3) и замкнутым (рис. М.1.6.4); тело в районе торцов может иметь разную форму (рис. М.1.6.5 и рис. М.1.6.6); тело может полностью заполнять замкнутые кривые (рис. М.1.6.3) или иметь тонкую стенку (рис. М.1.6.6); форма тела по сечениям может управляться направляющей (рис. М.1.6.15 и рис. М.1.6.16). Мы не будем повторять описание всех возможностей рассматриваемого метода, а остановимся только на некоторых их них, связанных с булевыми операциями.

На рис. М.2.6.1 показаны тело **solid** и плоские замкнутые кривые.

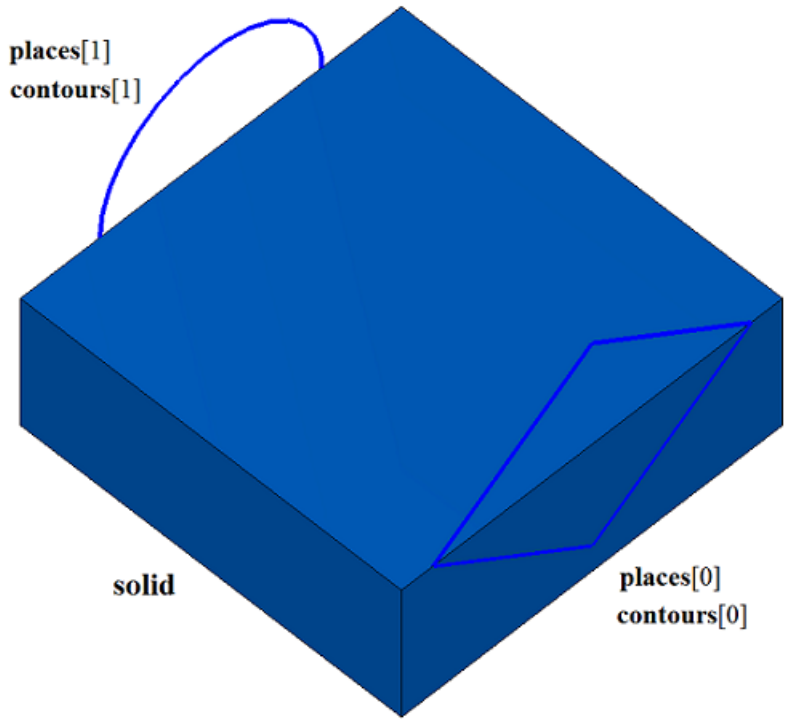


Рис. М.2.6.1.

На рис. М.2.6.2 приведен результат булевой операции объединения тела **solid** и тела, построенного по плоским сечениям **contours**, показанных на рис. М.2.6.1.

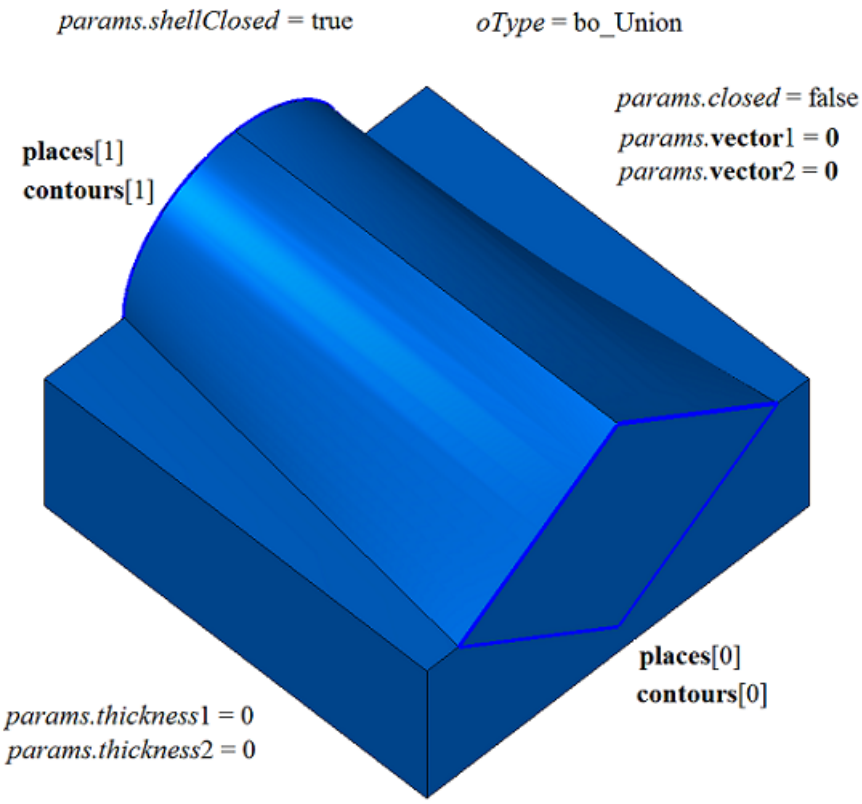


Рис. М.2.6.2.

На рис. М.2.6.3 приведен результат булевой операции вычитания из тела **solid** тела, построенного по плоским сечениям **contours**, показанных на рис. М.2.6.1.

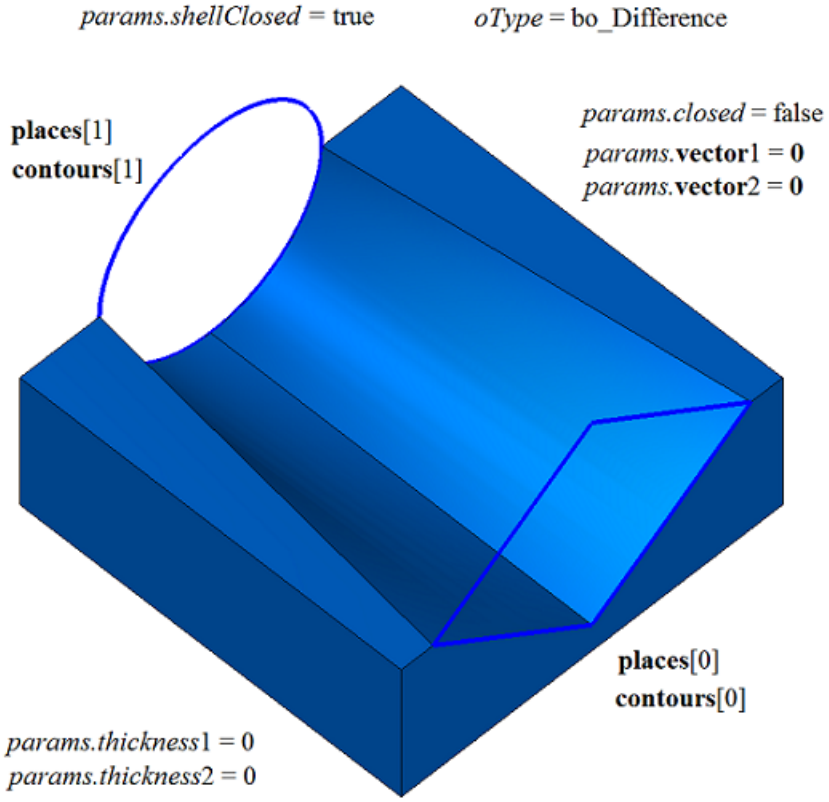


Рис. М.2.6.3.

На рис. М.2.6.4 приведен результат булевой операции объединения тела **solid** и тела, построенного по плоским сечениям **contours**, показанных на рис. М.2.6.1.

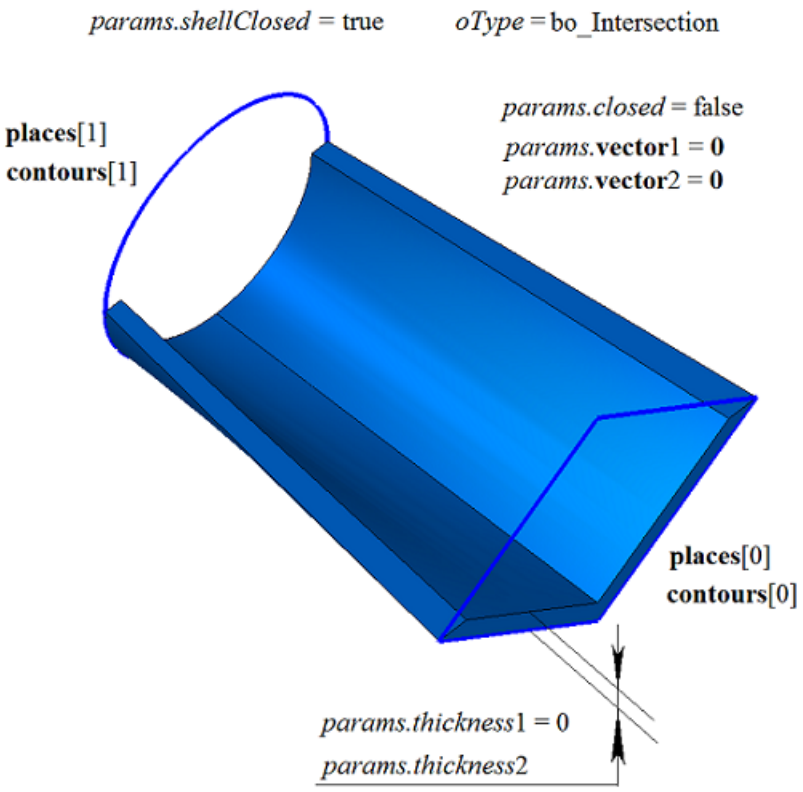


Рис. М.2.6.4.

Метод **LoftedResult** добавляет в журнал построенного тела строитель MbLoftedSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbLoftedSolid объявлен в файле cr_lofted_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет булеву операцию с построенным телом, построенным по плоским сечениям, командами меню «Создать->Тело->Приклеиванием к телу->По сечениям», «Создать->Тело->Приклеиванием к телу->По сечениям и направляющей кривой», «Создать->Тело->Вырезанием из тела->По сечениям», «Создать->Тело->Вырезанием из тела->По сечениям и направляющей кривой», «Создать->Тело->Пересечением с телом->По сечениям» и «Создать->Тело->Пересечением с телом->По сечениям и направляющей кривой».

М.2.7. Резка тела поверхностью

Метод
MbResultType
SolidCutting (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const MbSurface & **surface**,
int *part*,
const MbSNameMaker & names,
bool *closed*,
MbSolid *& **result**)
отрезает часть тела пересекающей его поверхностью.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **surface** – секущая поверхность,
- *part* – сохраняемая часть тела:
  part = +1 – сохраняется часть тела, расположенная сверху поверхности,
  part = 0 – сохраняются все разрезанные части тела,
  part = –1 – сохраняется часть тела, расположенная снизу поверхности,

- names – именователь грани среза,
- *closed* – флаг замкнутости тела в операции:
  true – тело считается замкнутым,
  false – тело считается не замкнутым.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Метод строит незамкнутую оболочку с одной гранью на базе режущей поверхности **surface** и выполняет булеву операцию пересечения исходного тела **solid** с незамкнутой оболочкой. Для выполнения операции режущая поверхность должна полностью пересекать исходное тело. Параметр *sameShell* управляет передачей граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** построенному телу **result**.

Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell.

Параметр *part* определяет оставляемую часть исходного тела **solid**: при *part*=+1 сохраняется часть тела, расположенная над поверхностью (с той стороны, в которую направлена нормаль поверхности), при *par*=–1 сохраняется часть тела, расположенная под поверхностью, при *part*=0 сохраняются обе части тела.

Параметр names обеспечивает именование граней построенного тела. Параметр *closed* говорит о том, каким считать исходное тело **solid**: замкнутым или незамкнутым.

При *closed*=true операция выполняется над множеством точек, расположенным внутри и на поверхности тела. При *closed*=false операция выполняется над множеством точек, расположенным на поверхности тела.

На рис. М.2.7.1 показаны исходное тело **solid** и режущая поверхность **surface**.

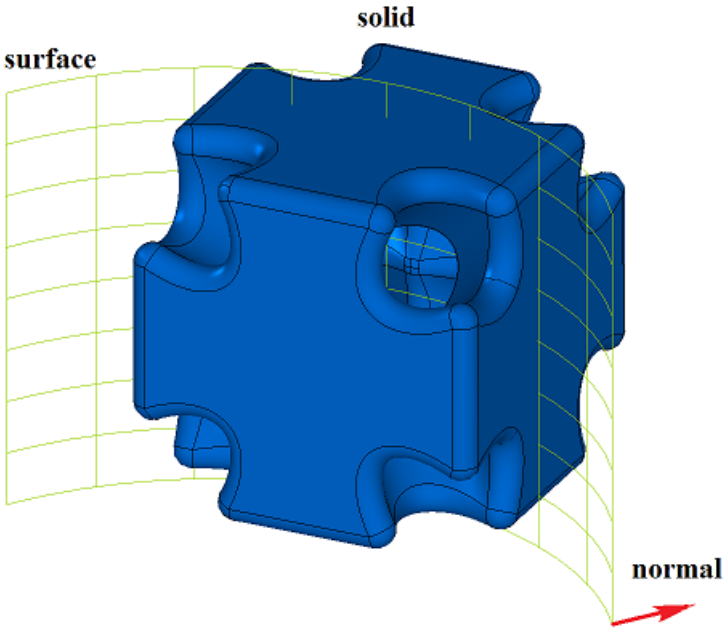


Рис. М.2.7.1.

На рис. М.2.7.2 приведено построенное тело **result** при *part*=+1 и *closed*=true. На рис. М.2.7.3 приведено построенное тело **result** при *part*=–1 и *closed*=true.

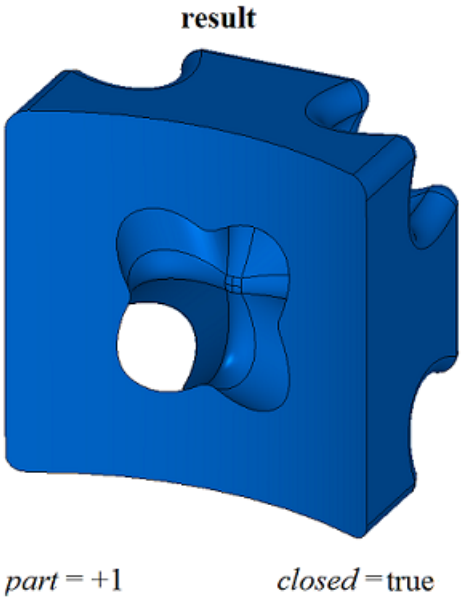


Рис. М.2.7.2.

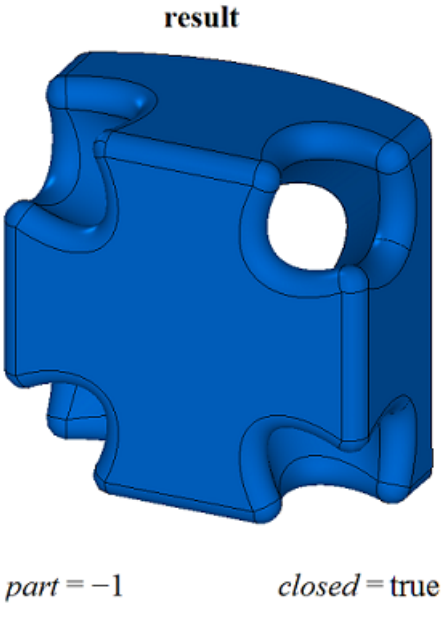


Рис. М.2.7.3.

На рис. М.2.7.4 приведено построенное тело **result** при *part*=+1 и *closed*=false.

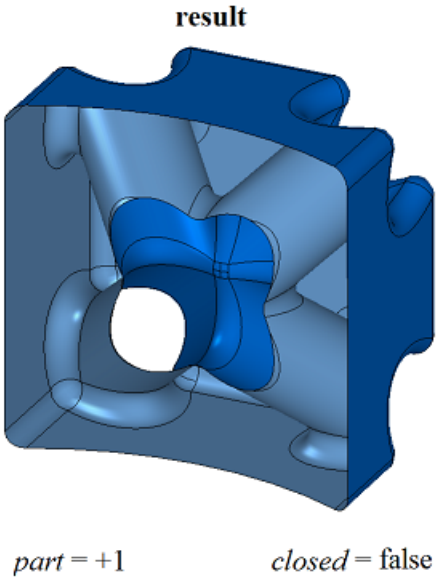


Рис. М.2.7.4.

При *part*=0 рассматриваемый метод построит тело **result**, в которое войдут все части исходного тела solid, полученные после резки. Для разделения тела result на части следует воспользоваться методом **DetachParts** или **CreateParts**, описанным в параграфе М.2.19. Разделить тело на несвязанные части. Вместо вызова рассматриваемого метода при *part*=0 можно использовать метод, приведенный ниже.

Метод

MbResultType
SolidCutting (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const MbSurface & **surface**,
const MbSNameMaker & names,
bool *closed*,

RPArray<MbSolid> & **result**)
режет тело пересекающей его поверхностью и из всех частей строит отдельные тела. Параметры метода, кроме *part*, совпадают с описанными выше. На рис. М.2.7.5 приведено построенное данным методом тело **result** при *closed*=true

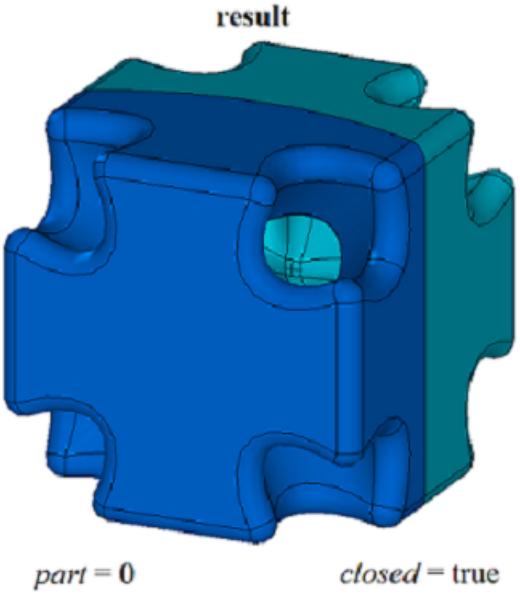


Рис. М.2.7.5.

Методы **SolidCutting** добавляют в журнал построенного тела строитель MbCuttingSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbCuttingSolid объявлен в файле cr_cutting_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет резку тела поверхностью командами меню «Создать->Тело->На базе тела->Разрезанное поверхностью» и «Создать->Оболочку->На базе оболочки->Разрезанную поверхностью».

М.2.8. Резка тела плоским контуром

Метод
MbResultType
SolidCutting (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const MbPlacement3D & **place**,
const MbContour & **contour**,
const MbVector3D & **direction**,
int *part*,
const MbSNameMaker & names,
bool *closed*,
MbSolid *& **result**)
отрезает часть тела пересекающей его поверхностью тела, полученного выдавливанием плоского контура.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **place** – локальная система координат образующего контура,
- **contour** – образующий контур,
- **direction** – направление выдавливания образующего контура,
- *part* – сохраняемая часть тела:

part = +1 – сохраняется часть тела, расположенная сверху поверхности,
part = 0 – сохраняются все разрезанные части тела,
part = –1 – сохраняется часть тела, расположенная снизу поверхности,

- names – именователь грани среза,
- *closed* – флаг замкнутости тела в операции:
  true – тело считается замкнутым,
  false – тело считается не замкнутым.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Метод строит незамкнутую оболочку путем выдавливания в направлении **direction** двумерного контура **contour**, расположенного в плоскости XY локальной системы координат **place**, и выполняет булеву операцию пересечения исходного тела **solid** с незамкнутой оболочкой. При равенстве нулю вектора **direction** выдавливание контура выполняется вдоль вектора **place.axisZ**. Для выполнения операции секущий контур должен полностью пересекать проекцию исходного тела на плоскость XY локальной системы координат **place** в направлении вектора выдавливания. Длина выдавливания контура рассчитывается так, чтобы незамкнутая оболочка полностью пересекала бы исходное тело. Параметр *sameShell* управляет передачей граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** построенному телу **result**.

Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell.

Параметр *part* определяет оставляемую часть исходного тела **solid**: при *part*=+1 сохраняется часть тела, расположенная права от контура, при *par*=–1 сохраняется часть тела, расположенная слева от контура, если смотреть вдоль контура навстречу оси **place.axisZ**. Параметр names обеспечивает именование граней построенного тела. Параметр *closed* говорит о том, каким считать исходное тело **solid**: замкнутым или незамкнутым.

При *closed*=true операция выполняется над множеством точек, расположенным внутри и на поверхности тела. При *closed*=false операция выполняется над множеством точек, расположенным на поверхности тела.

На рис. М.2.8.1 показаны исходное тело **solid**, режущий контур **contour** и плоскость XY локальной системы координат **place**.

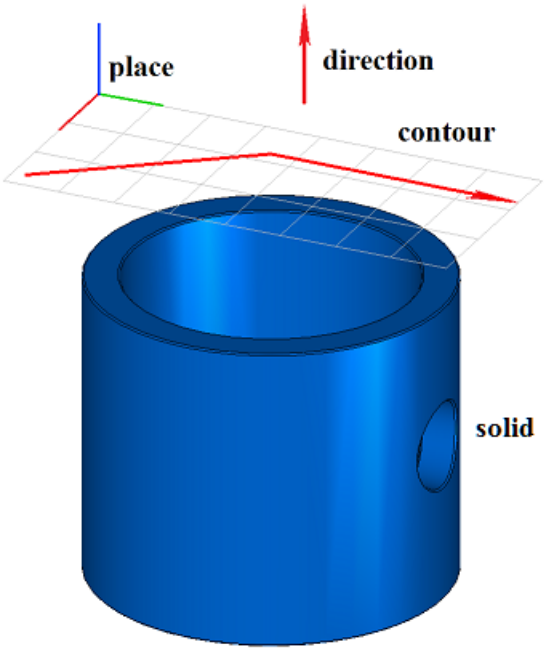


Рис. М.2.8.1.

На рис. М.2.8.2 приведено построенное тело **result** при *part*=+1 и *closed*=true. На рис. М.2.8.3 приведено построенное тело **result** при *part*=–1 и *closed*=true.

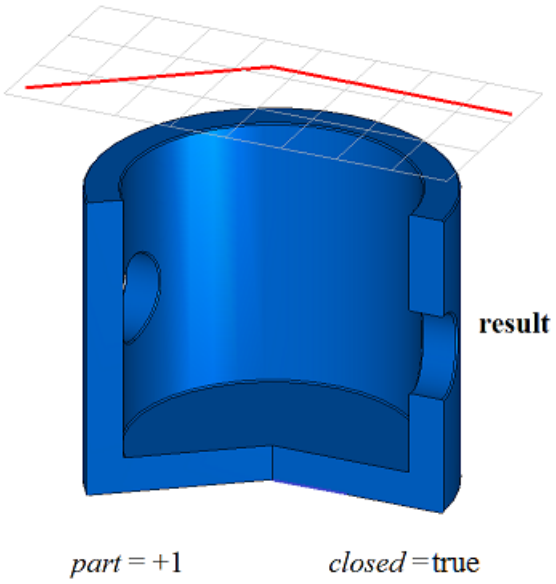


Рис. М.2.8.2.

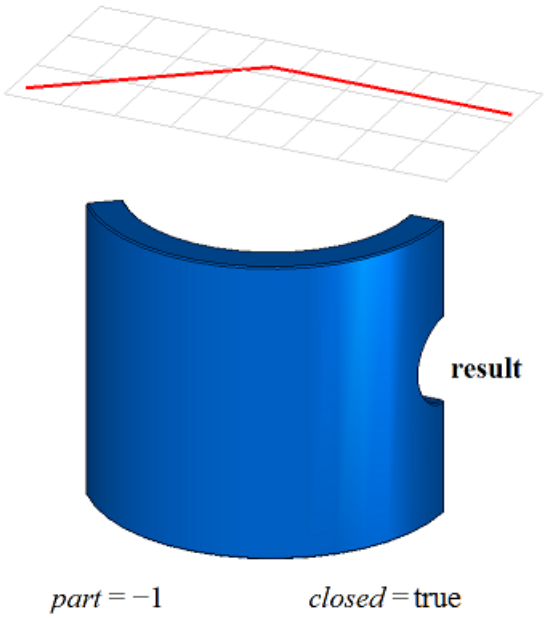


Рис. М.2.8.3.

На рис. М.2.8.4 приведено построенное тело **result** при *part*=+1 и *closed*=false.

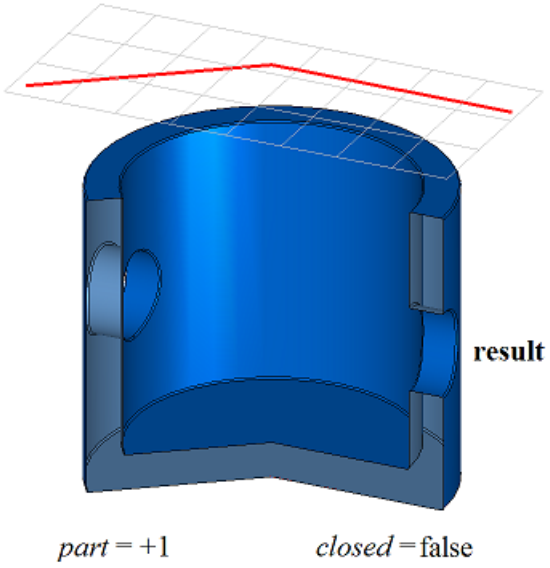


Рис. М.2.8.4.

При *part*=0 рассматриваемый метод построит тело **result**, в которое войдут все части исходного тела solid, полученные после резки. Для разделения тела result на части следует воспользоваться методом **DetachParts** или **CreateParts**, описанным в параграфе М.2.19. Разделить тело на несвязанные части. Вместо вызова рассматриваемого метода при *part*=0 можно использовать метод, приведенный ниже.

Метод
MbResultType
SolidCutting (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const MbPlacement3D & **place**,

const MbContour & **contour**,
const MbVector3D & **direction**,
const MbSNameMaker & names,
bool *closed*,
RPArray<MbSolid> & **result**)
режет тело поверхностью, полученной выдавливанием плоского контура, и из всех частей строит отдельные тела. Параметры метода, кроме *part*, совпадают с описанными выше. На рис. М.2.8.5 приведено построенное данным методом тело **result** при *closed*=true

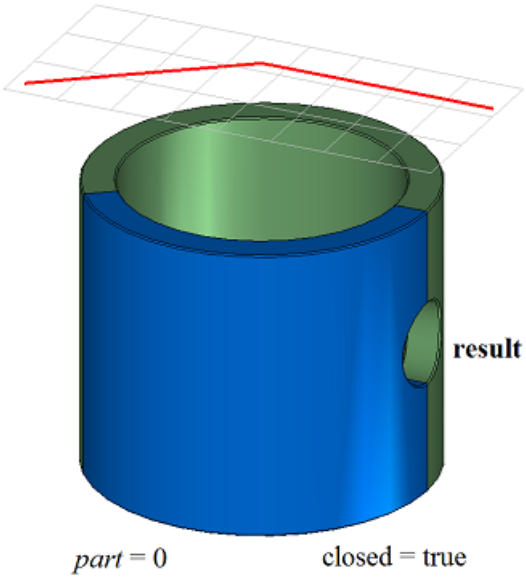


Рис. М.2.8.5.

Методы **SolidCutting** добавляют в журнал построенного тела строитель MbCuttingSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbCuttingSolid объявлен в файле cr_cutting_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет резку тела поверхностью командами меню «Создать->Тело->На базе тела->Разрезанное кривой» и «Создать->Оболочку->На базе оболочки->Разрезанную кривой».

М.2.9. Построение симметричного тела

Метод
MbResultType
SymmetrySolid (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const MbPlacement3D & **place**,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение симметричного тела с заданной плоскостью симметрии.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **place** – локальная система координат, плоскость XY которой является плоскостью симметрии,
- names – именователь грани среза,

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Метод создаёт симметричное тело с заданной плоскостью симметрии следующим образом. Исходное тело **solid** режется плоскостью XY локальной системы координат **place**, берётся часть исходного тела, расположенная снизу режущей плоскости, строится зеркальная копия выбранной части исходного тела и объединяется с выбранной частью исходного тела. Параметр *sameShell* управляет передачей граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** построенному телу **result**.

Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell.

На рис. М.2.9.1 показаны исходное тело **solid** и плоскость симметрии **place**.

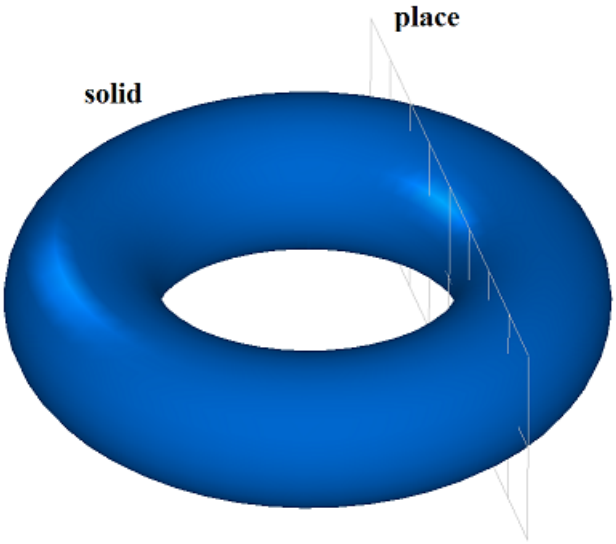


Рис. М.2.9.1.

На рис. М.2.9.2 приведено построенное тело **result**.

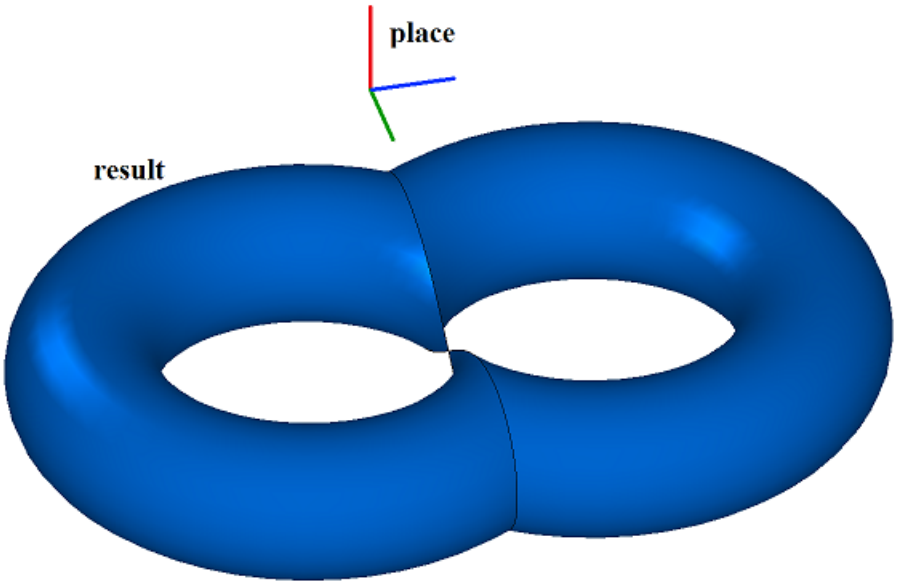


Рис. М.2.9.2.

На рис. М.2.9.3 приведено построенное тело **result**, для плоскости симметрии с противоположной нормалью.

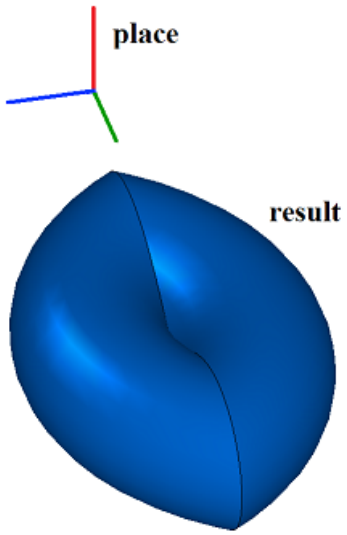


Рис. М.2.9.3.

Если исходное тело **solid** не соприкасается с плоскостью XY локальной системы координат **place**, то построение не выполняется. Построить симметричное тело в последнем случае можно методом **MirrorSolid**.

Метод **SymmetrySolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbSymmetrySolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbSymmetrySolid объявлен в файле cr_symmetry_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет построение симметричного тела командой меню «Создать->Тело->На базе тела->Симметричное».

М.2.10. Скругление рёбер тела

Метод
MbResultType
FilletSolid (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
RPArray<MbCurveEdge> & **edges**,
RPArray<MbFace> & **bounds**,
const SmoothValues & *params*,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет скругление указанных рёбер копии исходного тела.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **edges** – множество скругляемых рёбер.
- **bounds** – множество граней для обрезки краев граней скругления (может быть пустым),
- *params* – параметры построения,
- names – именователь построенных граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Метод выполняет замену указанных рёбер исходного тела гранями скругления, обеспечивающими гладкое сопряжение смежных граней указанных рёбер. При скруглении ребер сопрягающие грани в поперечном сечении могут иметь форму дуги окружности, эллипса, гиперболы, параболы.

Параметр **solid** содержит исходное тело, ребра которого подлежат обработке. Параметр *sameShell* управляет передачей граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** к построенному телу **result**.

Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell.

Параметр **edges** содержит обрабатываемые ребра тела **solid**. Параметр **bounds** содержит грани тела **solid**, которые следует использовать для обрезки скругления в неоднозначной ситуации. Параметр names обеспечивает именование граней сопряжения.

Параметры построения скруглений *params* содержит информацию о форме и способе сопряжения смежных граней обрабатываемых ребер, рис. М.2.10.1. Класс SmoothValues описан в файле shell_parameter.h.

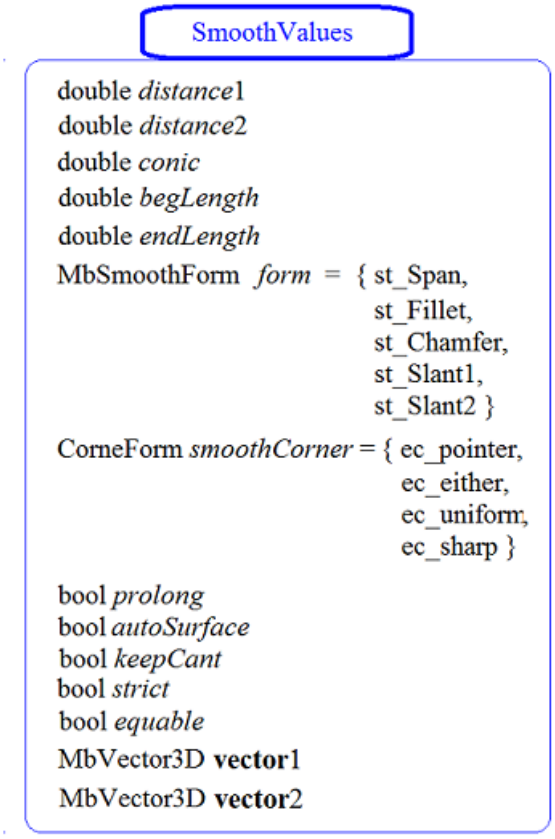


Рис. М.2.10.1.

Входной параметр *params* содержит следующие данные:

- *distance*1 – первый радиус скругления,
- *distance*2 – второй радиус скругления,
- *conic* – коэффициент формы поверхности сопряжения,
- *begLength* – расстояние от начальной вершины до точки остановки сопряжения (отрицательное значение означает отсутствие остановки),
- *endLength* – расстояние от конечной вершины до точки остановки сопряжения (отрицательное значение означает отсутствие остановки),
- *form* – тип сопряжения из перечисления MbeSmoothForm,
- *smoothCorner* – способ скругления чемоданных углов,
- *prolong* – флаг продолжения скругления по касательным рёбрам,
- *autoSurface* – флаг автоопределения сохранения кромки,
- *keepCant* – флаг сохранения кромки,
- *strict* – флаг строгости построения: при false скруглить хотя бы то, что возможно,

- *equable* – флаг вставки тороидальной поверхности в углах сочленения поверхности сопряжения,
- **vector**1 – вектор нормали плоскости остановки сопряжения в начале,
- **vector**2 – вектор нормали плоскости остановки сопряжения в конце.

Типом скругления управляет параметр *form*. Для скругления ребер используются значения параметра *form* равные st_Fillet и st_Span, другие значения *form* рассматриваемый метод не использует. При значении *form*=st_Fillet рассматриваемый метод строит поверхность скругления с заданными радиусами, которые определяют параметры *distance*1 и *distance*2. На рис. М.2.10.2 приведено скругление с заданными радиусами ребра, соединяющего две цилиндрические поверхности.

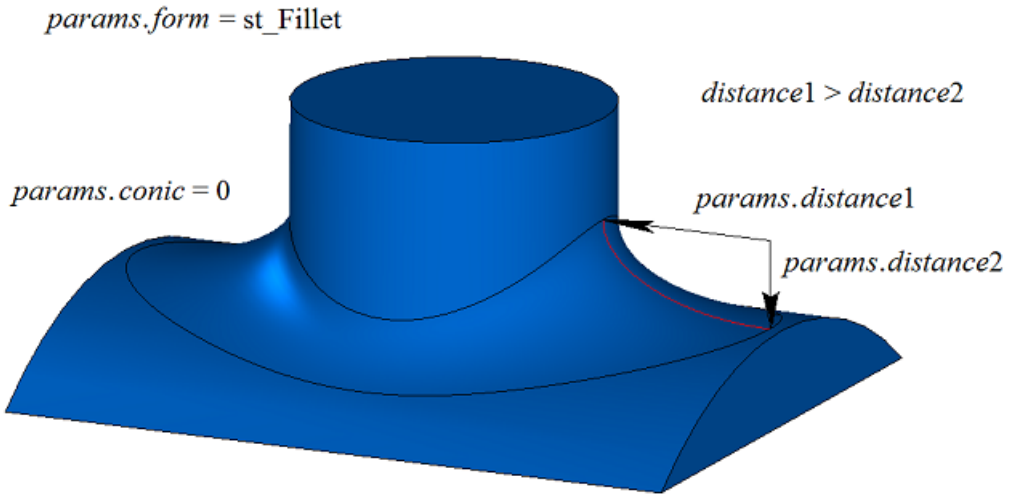


Рис. М.2.10.2.

При *distance*1=*distance*2 и *conic*=0 поверхность скругления строится путем движения сферы, касающейся двух смежных для скругляемого ребра граней. Опорные края грани сопряжения проходят по точкам касания сферы и соответствующей смежной грани. Поперечное сечение грани сопряжения представляет собой дугу окружности. На рис. М.2.10.3 приведено скругление с заданными одинаковыми радиусами ребра, соединяющего две цилиндрические поверхности.

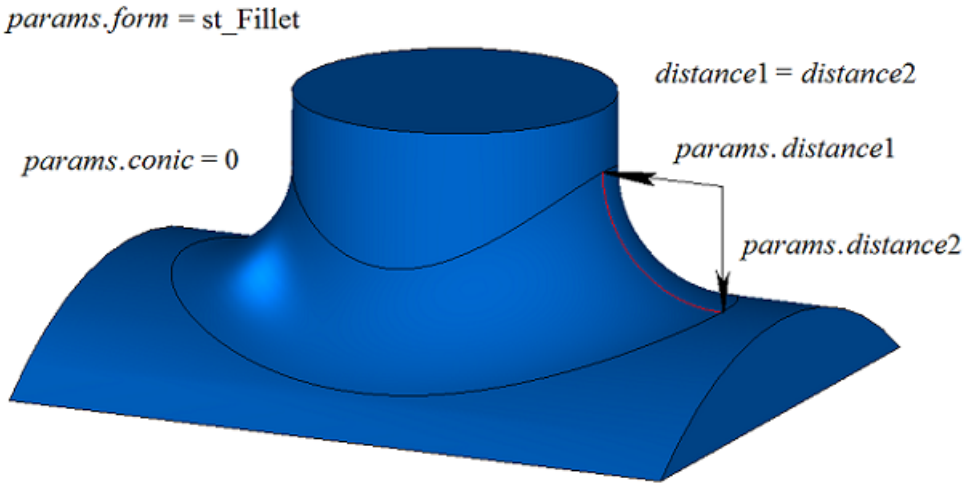


Рис. М.2.10.3.

Коэффициент *conic* управляет формой поверхности скругления. При *conic*=0 (макрос _ARC_) сечение поверхности сопряжения имеет форму дуги окружности или эллипса с заданными радиусами. Кроме нулевого значения коэффициент формы может принимать значения от 0.05 до 0.95.

При *conic*=0.5 поперечное сечение грани скругления представляет собой дугу параболы. При *conic*>0.5 поперечное сечение грани скругления представляет собой дугу гиперболы. При *conic*<0.5 поперечное сечение грани скругления представляет собой дугу эллипса. На рис. М.2.10.4, М.2.10.5 приведены скругления одинаковыми радиусами ребра, соединяющего две цилиндрические поверхности, с разными коэффициентами формы.

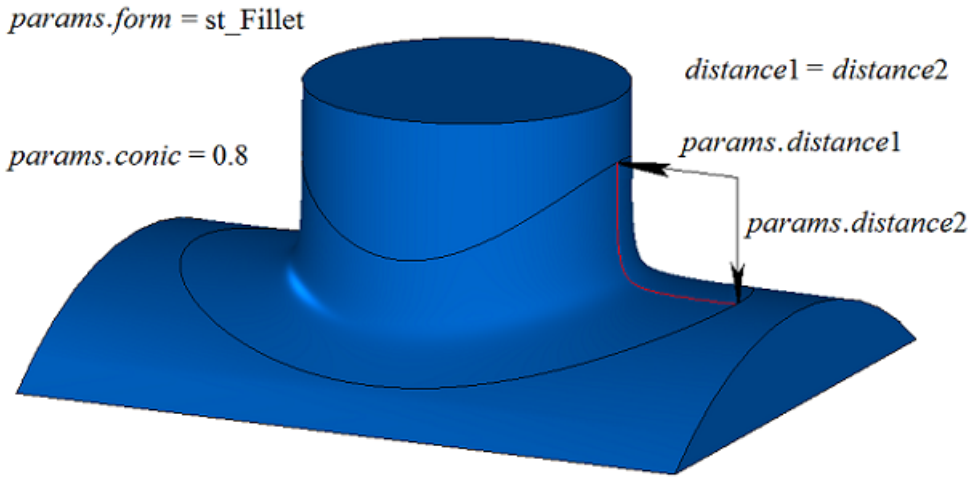


Рис. М.2.10.4.

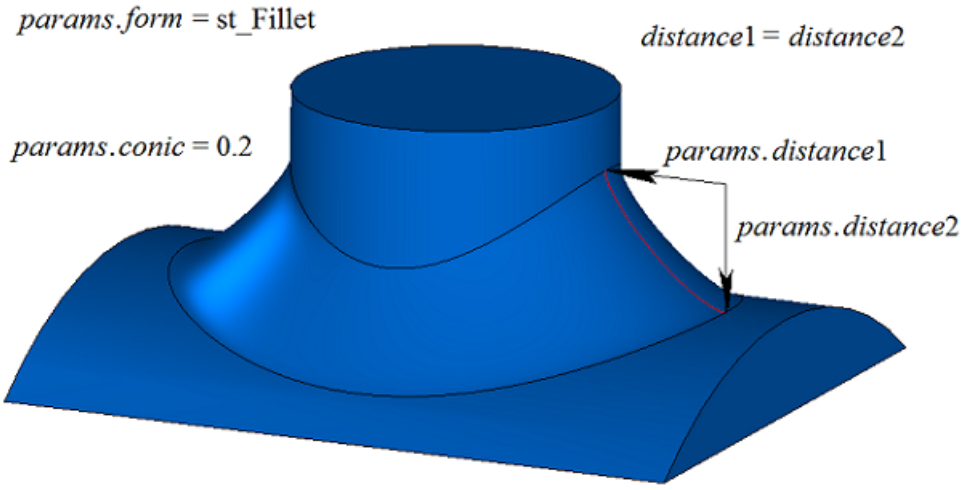


Рис. М.2.10.5.

При значении *form*=st_Span рассматриваемый метод строит поверхность скругления с заданной хордой. Параметры *distance*1 и *distance*2 равны и определяют расстояние между опорными краями грани сопряжения. Поперечное сечение грани скругления представляет собой дугу окружности. В общем случае в каждом поперечном сечении грани скругления радиус дуги различный, а параметры *distance*1 и *distance*2 равны хорде дуги окружности. На рис. М.2.10.6 приведено скругление с заданной хордой ребра, соединяющего две цилиндрические поверхности.

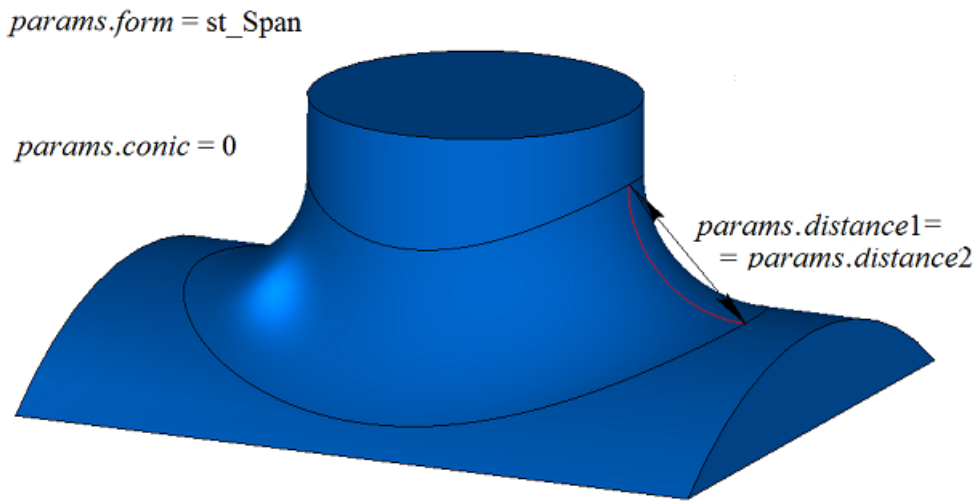


Рис. М.2.10.6.

На рис. М.2.10.6 приведено скругление с заданной хордой ребра, соединяющего две цилиндрические поверхности, с ненулевым коэффициентом формы.

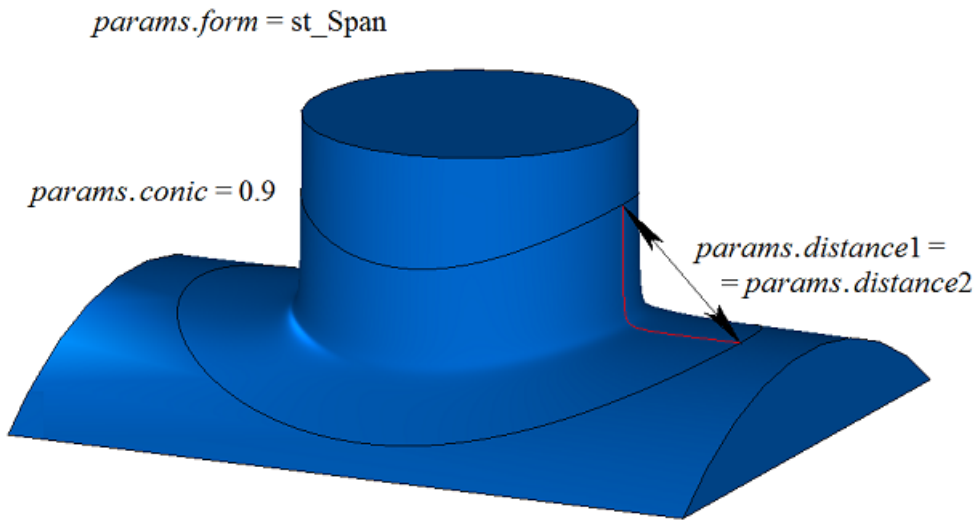


Рис. М.2.10.7.

На рис. М.2.10.8 приведен пример остановки скругления на расстоянии *begLength* от начальной вершины и на расстоянии *endLength* от конечной вершины обрабатываемого ребра. Если не требуется останавливать сопряжение, то расстояния *begLength* и *endLength* должны принять отрицательные значения. По умолчанию остановка скругления выполняется гранями, перпендикулярными скругляемому ребру. Можно переопределить поведение остановки скругления, используя вектор **vector**1 как нормаль останавливающей грани в начале сопряжения и вектор **vector**2 как нормаль останавливающей грани в конце сопряжения.

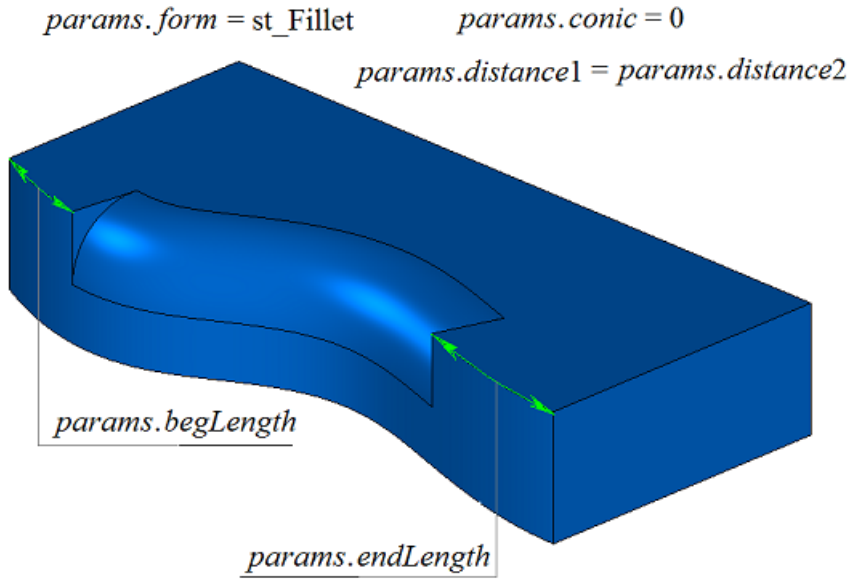


Рис. М.2.10.8.

На примере тела, приведенного на рис. М.2.10.9, продемонстрируем работу флагов *prolong*, *autoSurface*, *keepCant*, при скруглении выделенного на рис. М.2.10.9 ребра.

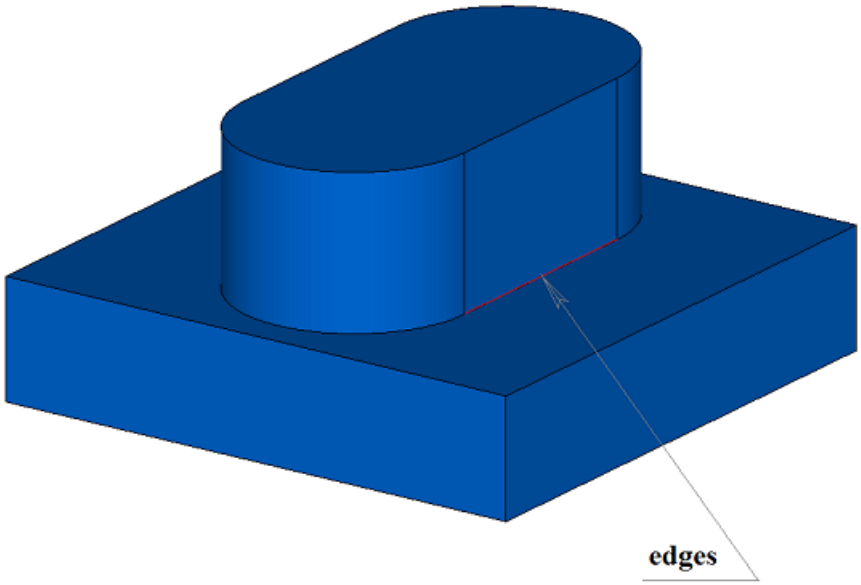


Рис. М.2.10.9.

Флаг *prolong* указывает на то, какие ребра тела должны быть обработаны. Если *prolong*=false, то обработке подлежат только те ребра, которые указаны в контейнере **edges**, рис. М.2.10.10.

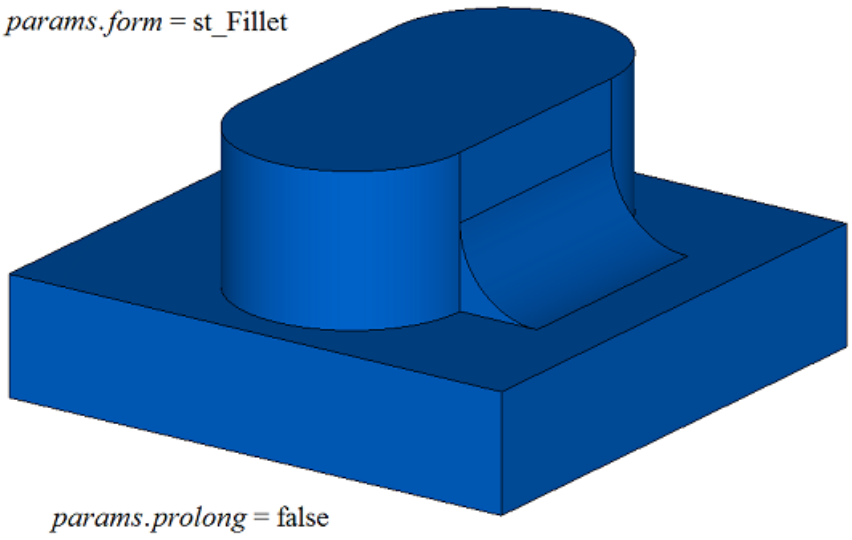


Рис. М.2.10.10.

Если *prolong*=true, то обработке подлежат ребра, указанные в контейнере **edges**, а также ребра, гладко стыкующиеся с ними, рис. М.2.10.11.

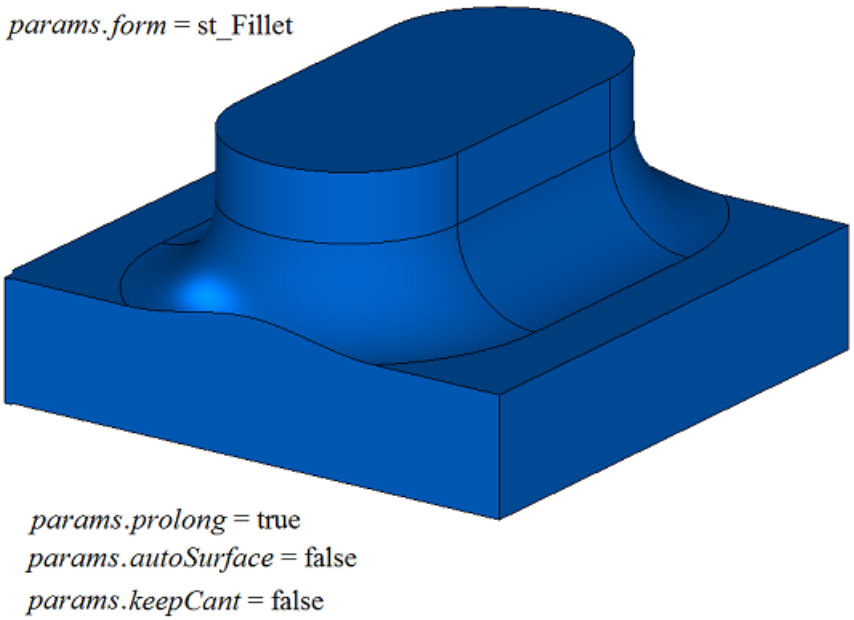


Рис. М.2.10.11.

Флаги *autoSurface* и *keepCant* указывают на обработку ситуаций, когда опорные края грани сопряжения выходят за границу смежной грани. Если *autoSurface*=false и *keepCant*=false, то при выходе опорного края грани сопряжения за границу смежной грани через острое ребро грань сопряжения не меняет своей формы, а «подрезается» соседней гранью, как приведено на рис. М.2.10.11. Если *autoSurface*=true или *keepCant*=true, то при выходе опорного края грани сопряжения за границу смежной грани через острое ребро грань сопряжения меняет свою форму и проходит опорным краем по границе, сохраняя ее неизменной, как приведено на рис. М.2.10.12.

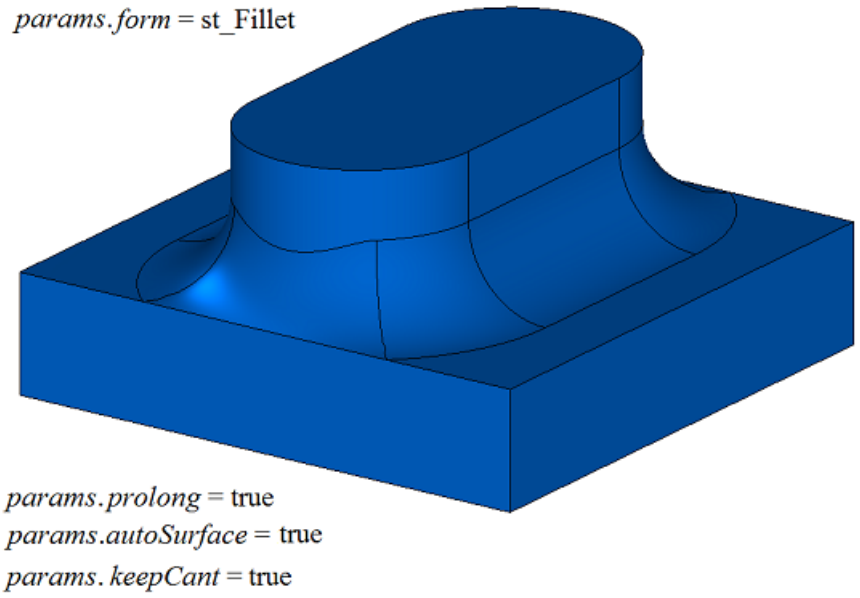


Рис. М.2.10.12.

Если *autoSurface*=true и *keepCant*=false, то при выходе опорного края грани сопряжения за границу смежной грани через гладкое ребро грань сопряжения заменяет смежную грань на соседнюю, изменяя форму на данном участке, рис. М.2.10.13.

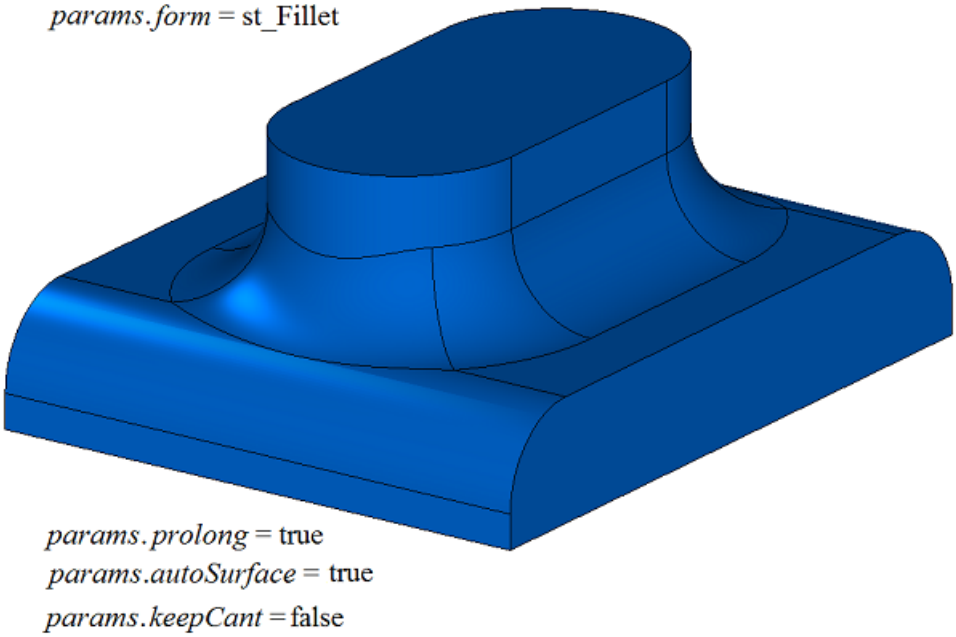


Рис. М.2.10.13.

На рис. М.2.10.14 приведено скругление четырех ребер, выполненное одним вызовом рассматриваемого метола с флагом *equable*=false.

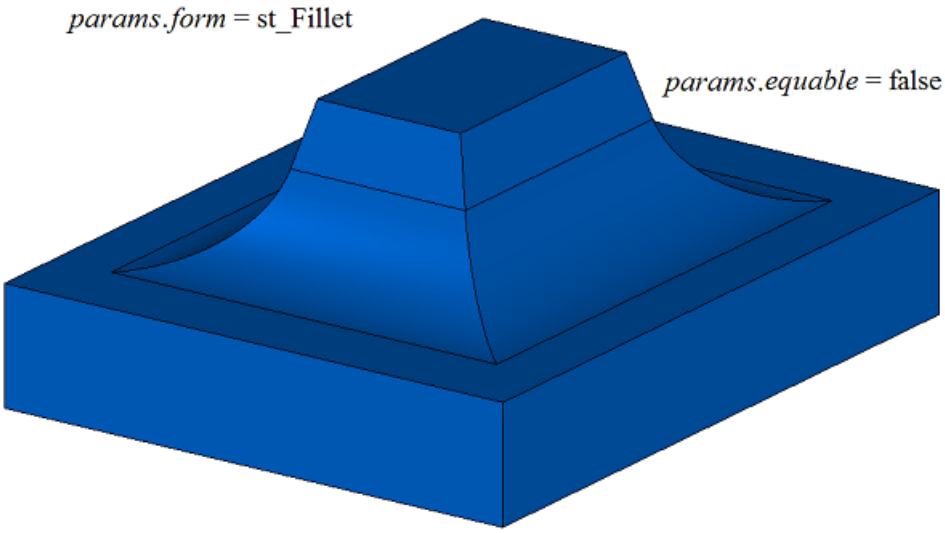


Рис. М.2.10.14.

На рис. М.2.10.15 приведено скругление четырех ребер, выполненное одним вызовом рассматриваемого метола с флагом *equable*=true, указывающим на необходимость вставлять тороидальную поверхность в углах сочленения поверхностей сопряжения.

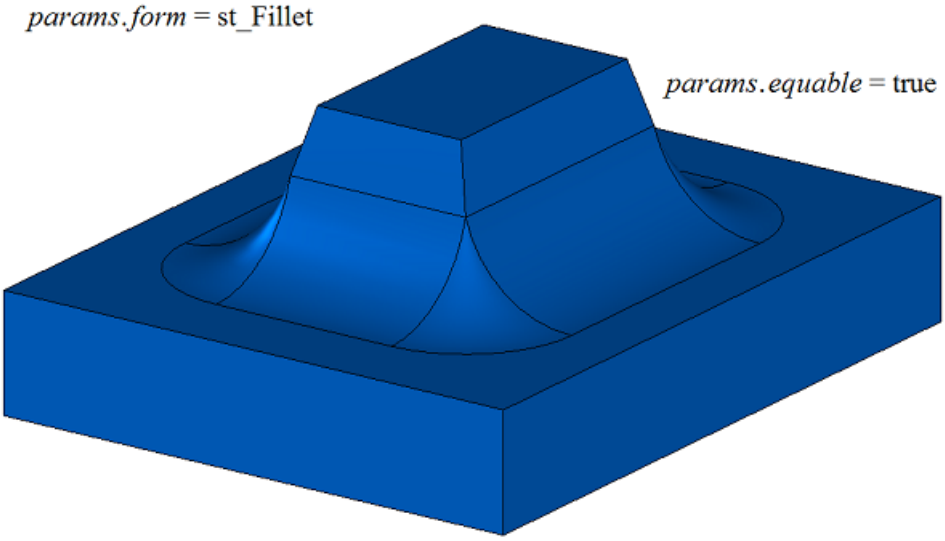


Рис. М.2.10.15.

При построении скругления трех ребер, стыкующихся в одной вершине, параметр *smoothCorner* определяет способ обработки скругления чемоданных углов. Если *smoothCorner*=ec_pointed, то обработка углов, в которых стыкуются три ребра одинаковой выпуклости, отсутствует, рис. М.2.10.16.

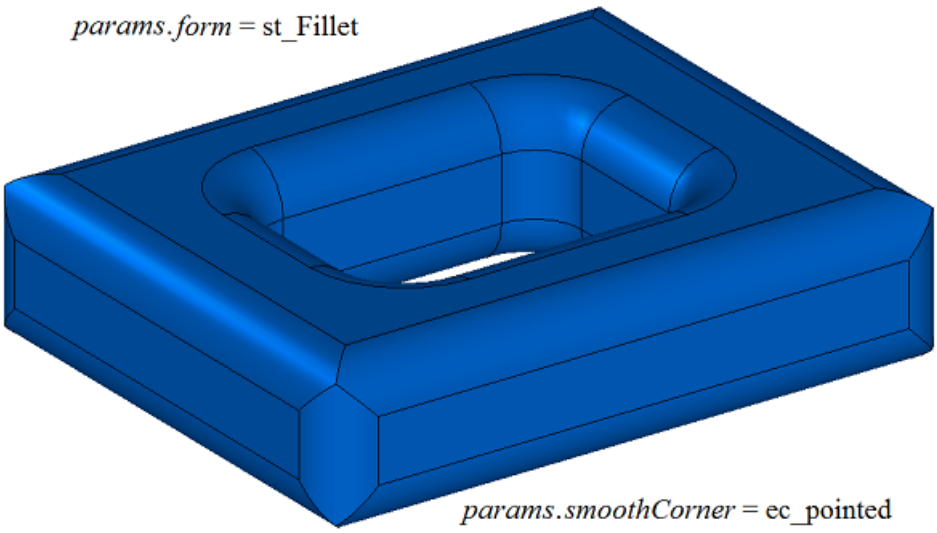


Рис. М.2.10.16.

Если *smoothCorner*=ec_uniform, то углы, в которых стыкуются три ребра различной выпуклости, обрабатываются одинаковым образом, как показано на рис. М.2.10.17.

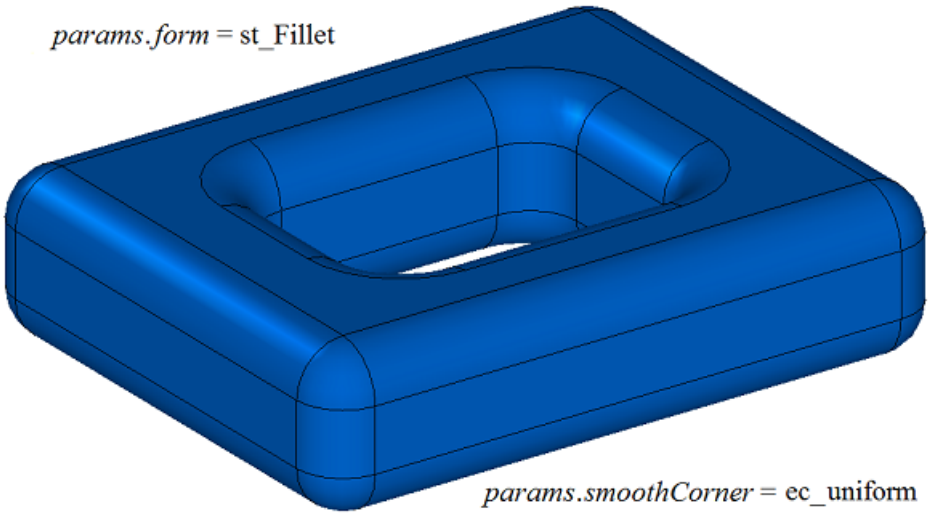


Рис. М.2.10.17.

Если *smoothCorner*=ec_sharp, то углы, в которых стыкуются три ребра различной выпуклости, обрабатываются одинаковым образом, как показано на рис. М.2.10.18.

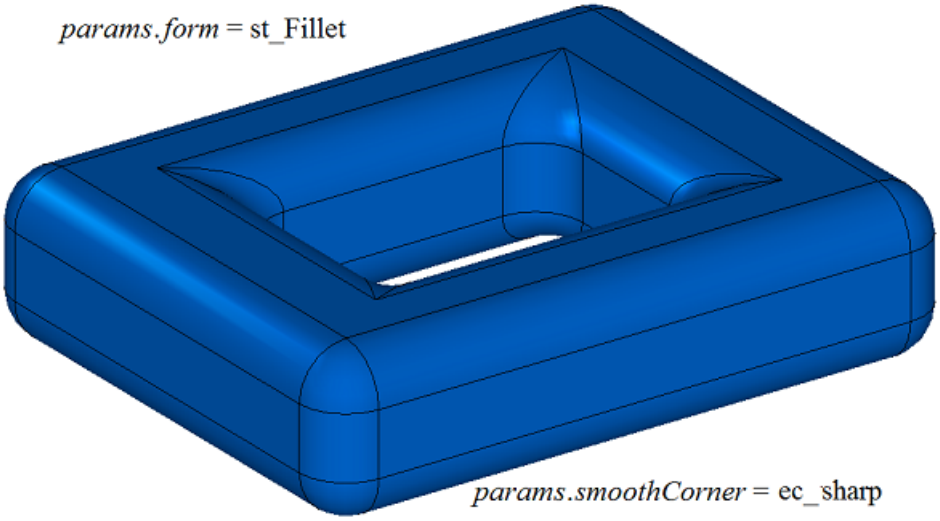


Рис. М.2.10.18

Если *smoothCorner*=ec_either, то углы, в которых стыкуются три ребра различной выпуклости, могут быть обработаны разным образом.

В неоднозначной ситуации на торцах грани сопряжения может быть задействован параметр **bounds** с гранями тела **solid**, которые следует использовать для обрезки граней сопряжения. Пример использования параметра **bounds** приведен на рис. М.2.10.19 и М.2.10.20.

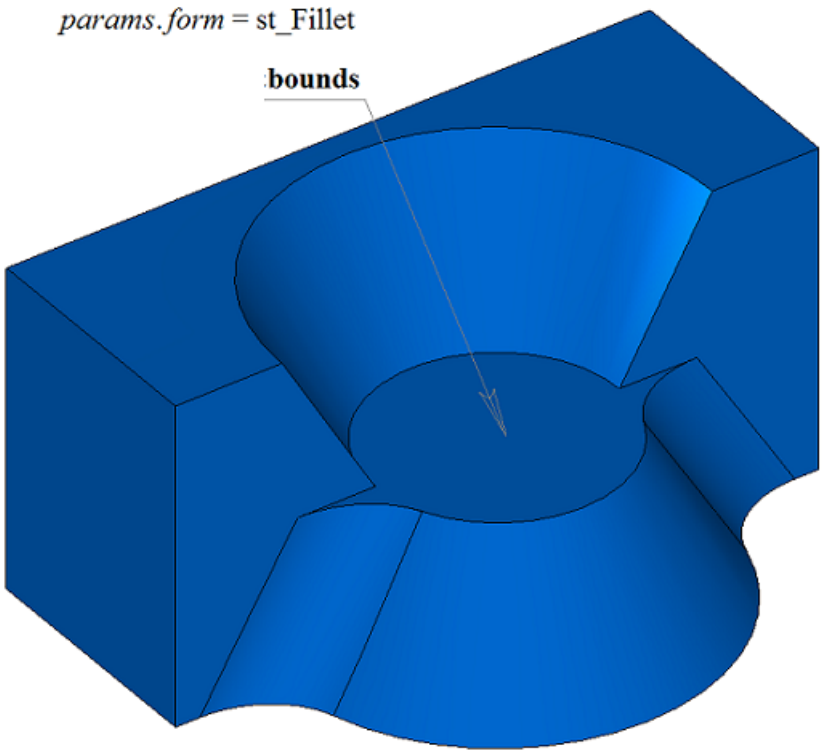


Рис. М.2.10.19

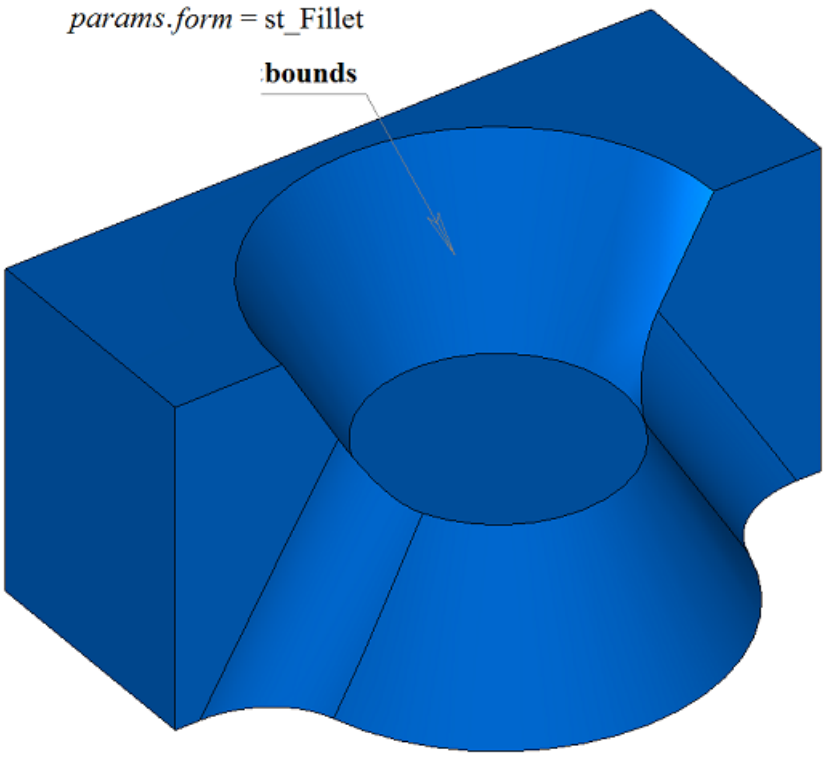


Рис. М.2.10.20

Параметр **bounds** может использоваться для остановки граней сопряжения в начале и конце. При этом грани, определяемые параметром **bounds**, должны принадлежать исходному телу **solid**.

На рис. М.2.10.21 приведена модель, у которой требуется построить скругления указанных ребер, полностью охватывающие отверстие и выступ.

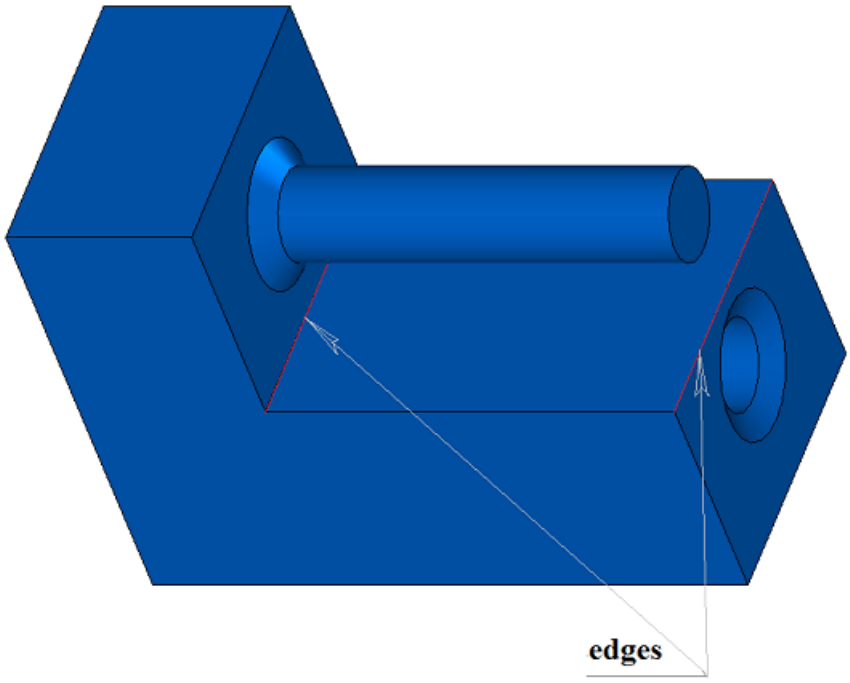


Рис. М.2.10.21

Результат построения скругления с обходом препятствий приведен на рис. М.2.10.22.

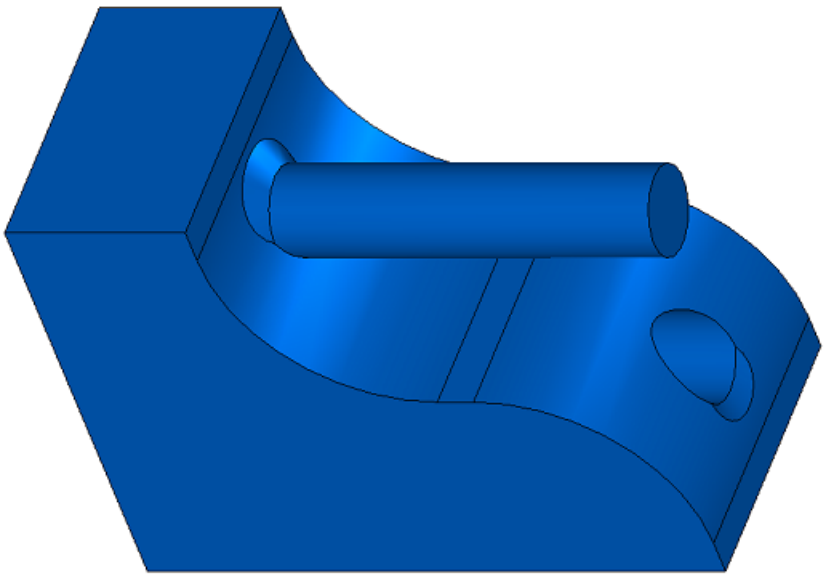


Рис. М.2.10.22

На рис. М.2.10.23 приведен пример одновременного скругления группы из шести ребер, стыкующихся в общей вершине.

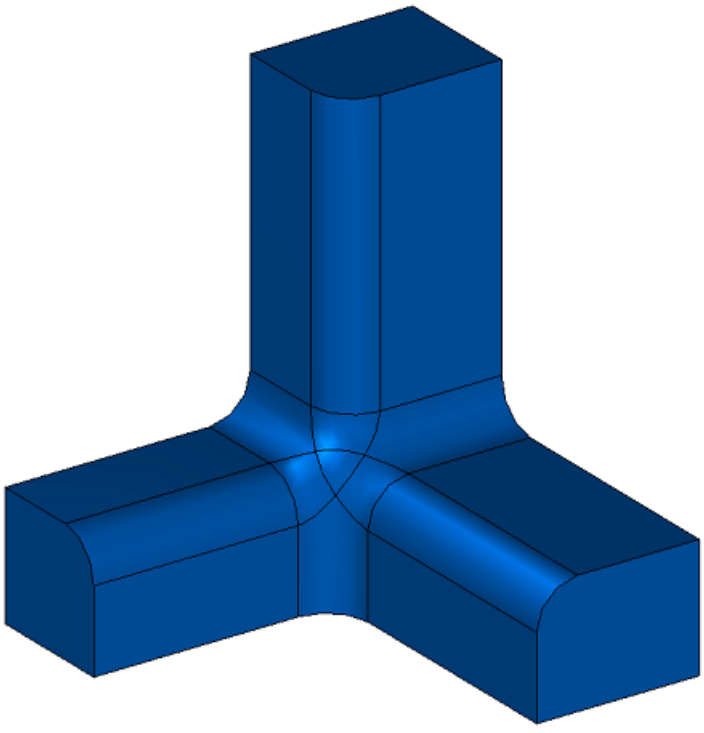


Рис. М.2.10.23

На рис. М.2.10.24 приведен пример скругления нескольких групп из четырех ребер, стыкующихся в общих вершинах. Особенностью скругления служит то обстоятельство, что группы связаны между собой и могут обрабатываться только одновременно. Исходное тело, для показанного на рис. М.2.10.24 тела, получено путем вычитания из куба четырех цилиндров, оси которых совпадают с диагоналями куба.

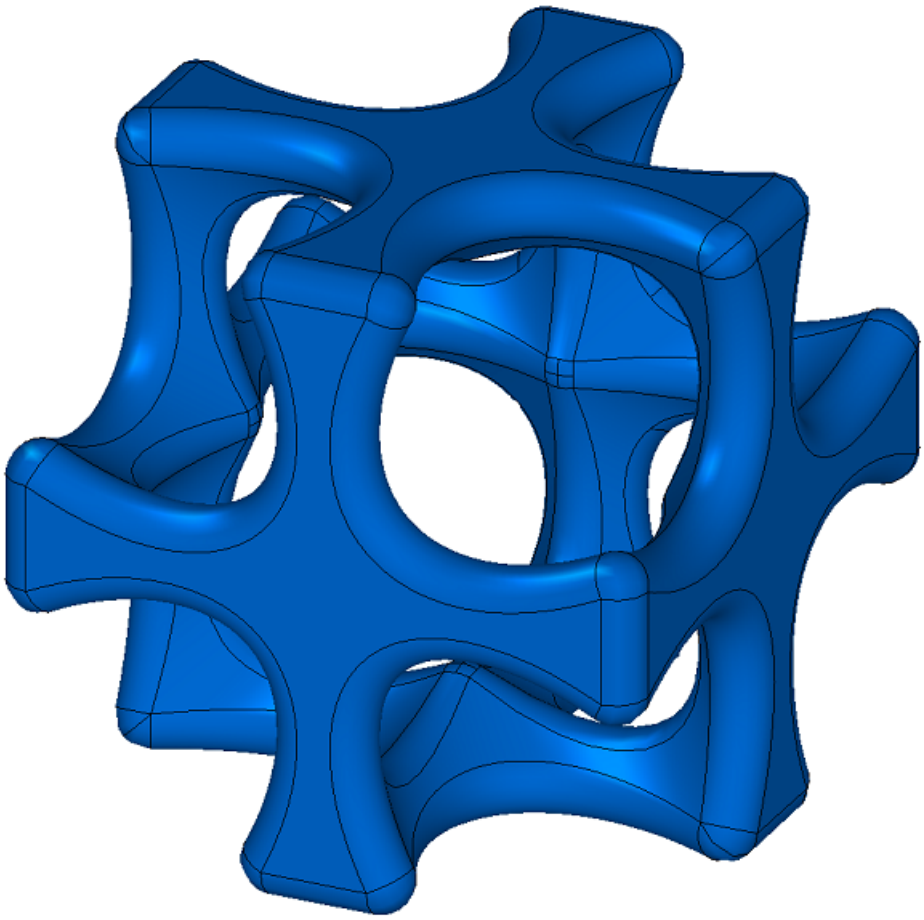


Рис. M.2.10.24

При построении скругления ребер рассматриваемый метод добавляет в журнал построенного тела строитель MbFilletSolid, который объявлен в файле cr_fillet_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет обработку ребер тела командами меню «Создать->Тело->Обработкой ребер->Скругление по радиусу», «Создать->Тело->Обработкой ребер->Скругление по хорде».

Когда в методах построения скругления параметры *distance*1 и *distance*2 не равны и для обработки заданы несколько ребер, то трудно разобраться, что чему соответствует. В такой ситуации предлагается использовать вспомогательные методы: **SmoothPhantom**(...), **SmoothSequence**(...), **SmoothPositionData**(...), объявленные в файле action_phantom.h. Метод **SmoothPhantom**(...) строит упрощенные поверхности для имитации будущих скруглений. Метод **SmoothSequence**(...) строит последовательности ребер, к которым по желанию могут быть добавлены гладко стыкующиеся ребра, обрабатываемые совместно. Метод **SmoothPositionData**(...) вычисляет по три точки для обрабатываемых ребер, которые используются для фантомных размеров радиусов, катетов и углов операции. Обычно с помощью указанных методов рисуется некий фантом, по которому можно понять, что получится в результате операции, и дается возможность поменять параметры при необходимости.

Перед построением скруглений обрабатываемые ребра сортируются, при необходимости или по требованию к ним добавляются гладко стыкующиеся ребра, и из ребер создаются последовательности гладко стыкующихся ребер. Параметры *distance*1 и *distance*2 привязаны к первой и второй поверхностям, соответственно, кривой пересечения первого ребра в последовательности гладко стыкующихся ребер. Поверхности можно получить методами кривой пересечения **GetCurveOneSurface**() и **GetCurveTwoSurface**(). По *distance*1 и *distance*2 первого ребра определяются параметры для остальных ребер каждой последовательности. Так, если для первого ребра указатель **edge**->**GetIntersectionCurve**().**GetSurfaceOne**() равен указателю &**edge**->**GetFacePlus**()->**GetSurface**().**GetSurface**(), то при построении скругления *distance*1 будет соответствовать радиусу для грани **facePlus**, а *distance*2 будет соответствовать радиусу для грани **faceMinus** первого ребра последовательности.

М.2.11. Скругление рёбер тела переменным радиусом

Метод
MbResultType
FilletSolid (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
SArray<MbEdgeFunction> & **edges**,
RPArray<MbFace> & **bounds**,
const SmoothValues & *params*,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет скругление переменным радиусом указанных рёбер копии исходного тела.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **edges** – множество скругляемых рёбер с заданными методами изменения радиуса.
- **bounds** – множество граней для обрезки краев граней скругления (может быть пустым),
- *params* – параметры построения,
- names – именователь построенных граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType. Метод объявлен в файле action_solid.h.

Метод выполняет замену указанных рёбер исходного тела гранями скругления, обеспечивающими гладкое сопряжение смежных граней указанных рёбер. При скруглении ребер сопрягающие грани в поперечном сечении могут иметь форму дуги окружности переменного радиуса. Метод аналогичен методу, описанному в предыдущем параграфе, и отличается от нее третьим параметром **edges**.

Параметр **solid** содержит исходное тело, ребра которого подлежат обработке. Параметр *sameShell* управляет передачей граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** к построенному телу **result**.

Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell.

Параметр **bounds** содержит грани тела **solid**, которые следует использовать для обрезки скругления в неоднозначной ситуации. Параметр names обеспечивает именование граней сопряжения.

Параметры построения скруглений *params* содержит информацию о форме и способе сопряжения смежных граней обрабатываемых ребер, рис. М.2.10.1. Класс SmoothValues описан в файле shell_parameter.h.

Входной параметр *params* содержит следующие данные:

- *distance*1 – первый радиус скругления,
- *distance*2 – второй радиус скругления,
- *conic* – коэффициент формы поверхности сопряжения,
- *begLength* – расстояние от начальной вершины до точки остановки сопряжения (отрицательное значение означает отсутствие остановки),
- *endLength* – расстояние от конечной вершины до точки остановки сопряжения (отрицательное значение означает отсутствие остановки),
- *form* – тип сопряжения из перечисления MbeSmoothForm,
- *smoothCorner* – способ скругления чемоданных углов,
- *prolong* – флаг продолжения скругления по касательным рёбрам,
- *autoSurface* – флаг автоопределения сохранения кромки,
- *keepCant* – флаг сохранения кромки,
- *strict* – флаг строгости построения: при false - скруглить хотя бы то, что возможно,
- *equable* – флаг вставки тороидальной поверхности в углах сочленения поверхности сопряжения,
- **vector**1 – вектор нормали плоскости остановки сопряжения в начале,
- **vector**2 – вектор нормали плоскости остановки сопряжения в конце.

Параметр **edges** содержит обрабатываемые ребра тела **solid** и функции изменения радиуса вдоль ребра. Каждый элемент множества **edges** состоит из указателя на ребро и указателя на скалярную

функцию, на значения которой будут умножены первый и второй радиусы скругления *distance*1 и *distance*2, рис. М.2.11.1.

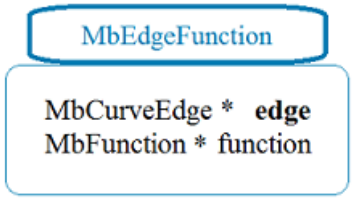


Рис. М.2.11.1.

Типом скругления управляет параметр *form*. Для скругления ребер переменного радиуса используются значения параметра *form* равное st_Fillet, другие значения *form* рассматриваемый метод не использует. Для каждой точки **point** обрабатываемого ребра **edges**[i].**edge**->Point(*t*,**point**) радиусы поверхности скругления равны параметрам *distance*1 и *distance*2, умноженным на значение функции ребра **edges**[i].function->Value(*t*). На рис. М.2.11.2 приведено скругление с переменными радиусами ребра прямоугольной призмы. При *distance*1=*distance*2 и *conic*=0 поверхность скругления строится путем движения сферы переменного радиуса, касающейся двух смежных для скругляемого ребра граней. Опорные края грани сопряжения проходят по точкам касания сферы и соответствующей смежной грани. Поперечное сечение грани сопряжения представляет собой дугу окружности.

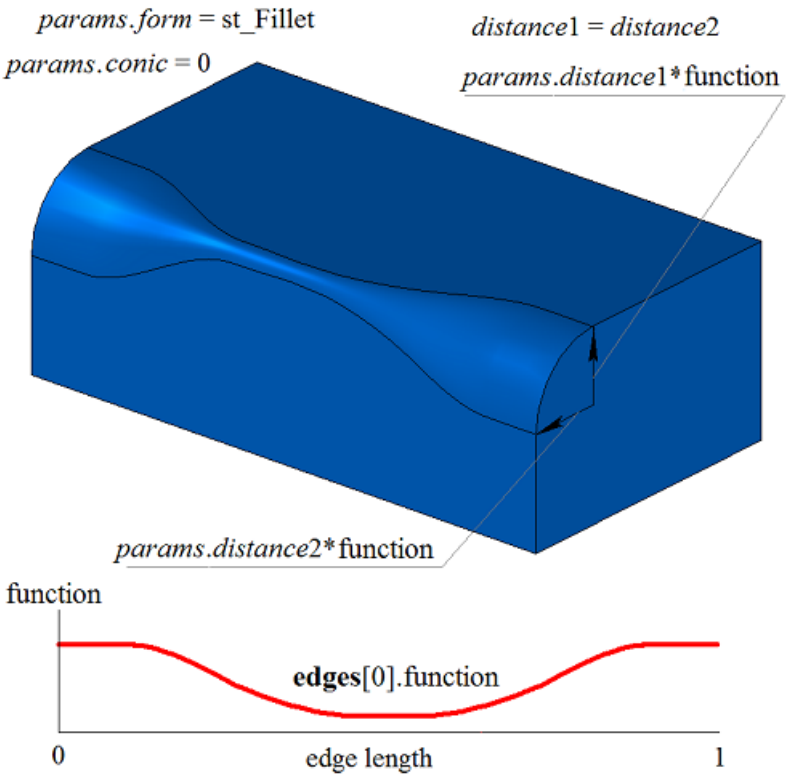


Рис. М.2.11.2.

На рис. М.2.11.3 приведено эллиптическое скругление с переменными радиусами ребра прямоугольной призмы.

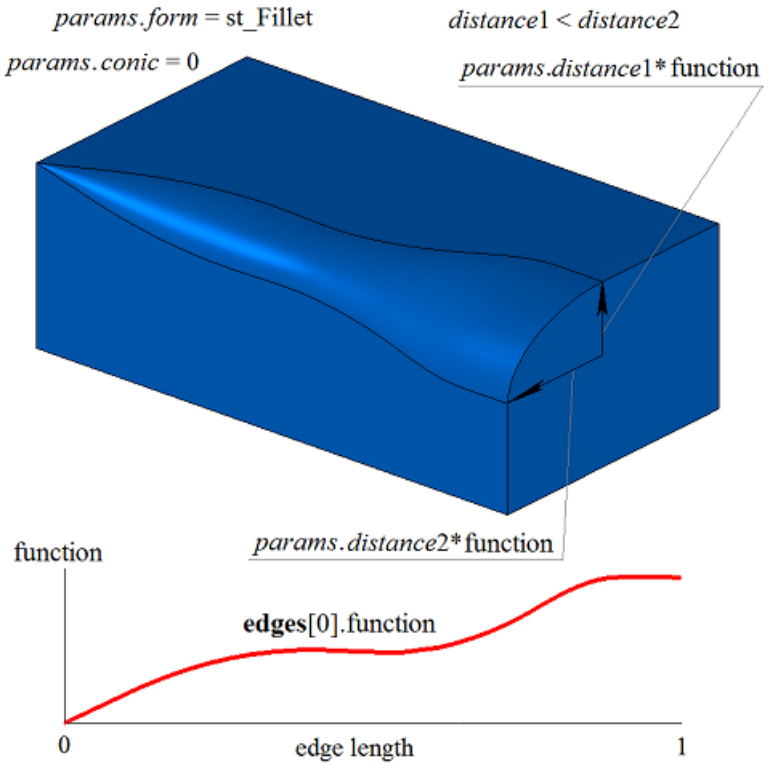


Рис. М.2.11.3.

Коэффициент *conic* управляет формой поверхности скругления. При *conic*=0 (макрос _ARC_) сечение поверхности сопряжения имеет форму дуги окружности или эллипса с заданными радиусами. Кроме нулевого значения коэффициент формы может принимать значения от 0.05 до 0.95. При *conic*=0.5 поперечное сечение грани скругления представляет собой дугу параболы. При *conic*>0.5 поперечное сечение грани скругления представляет собой дугу гиперболы. При *conic*<0.5 поперечное сечение грани скругления представляет собой дугу эллипса. На рис. М.2.11.4, М.2.11.5 приведены скругления с переменными радиусами ребра прямоугольной призмы с разными коэффициентами формы.

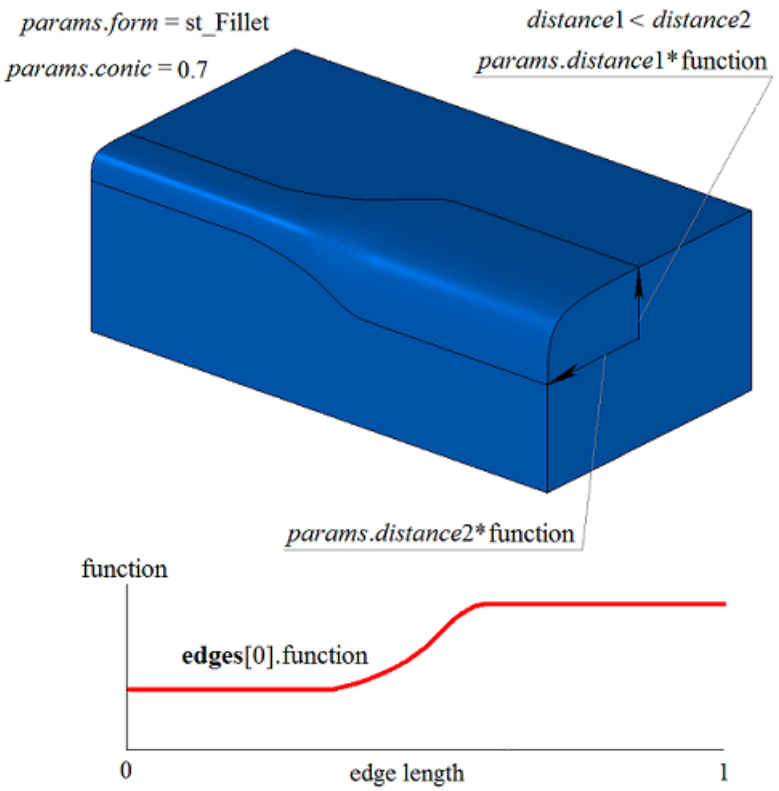


Рис. М.2.11.4.

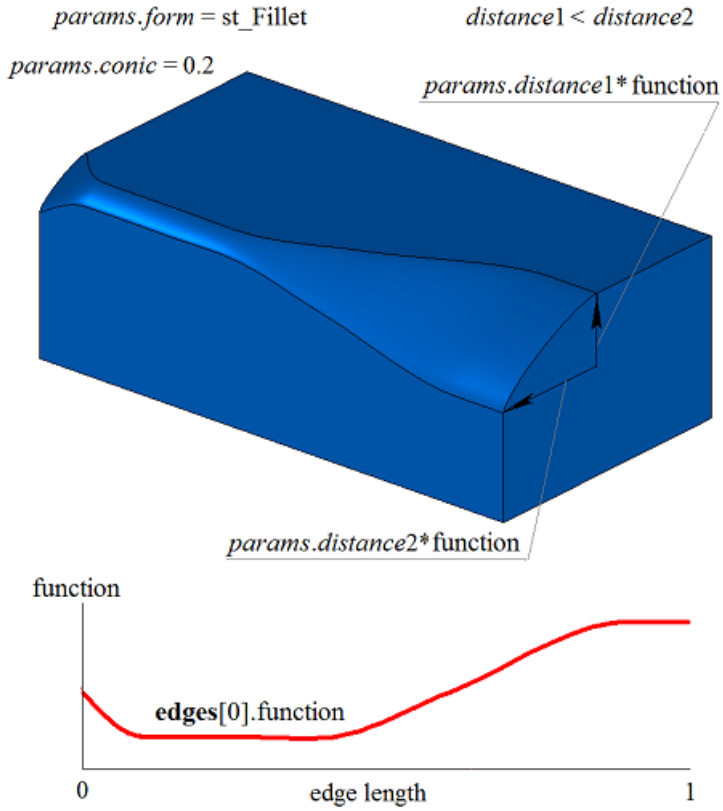


Рис. М.2.11.5.

На рис. М.2.11.6 приведен пример остановки скругления на расстоянии *begLength* от начальной вершины и на расстоянии *endLength* от конечной вершины обрабатываемого ребра. При задании параметров остановки скругления метод изменения радиусов скругления задается для всего ребра.

Если не требуется останавливать сопряжение, то расстояния *begLength* и *endLength* должны принять отрицательные значения.

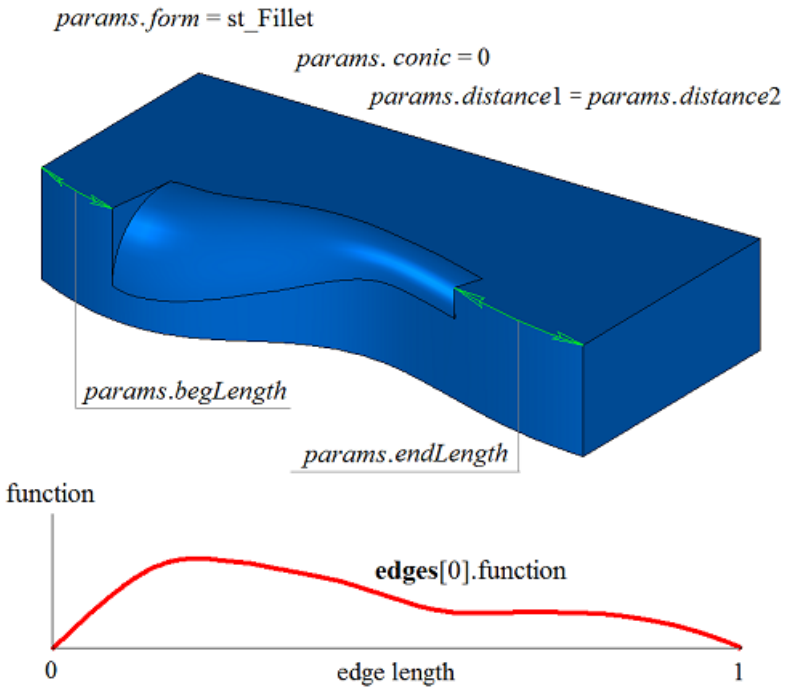


Рис. М.2.11.6.

Флаг *prolong* указывает на то, какие ребра тела должны быть обработаны. Если *prolong*=false, то обработке подлежат только те ребра, которые указаны в контейнере **edges**. Если *prolong*=true, то обработке подлежат ребра, указанные в контейнере **edges**, а также ребра, гладко стыкующиеся с ними. Для ребер продолжения скругления метод изменения радиуса принимает константное значение, равное значению функции на краю предыдущего гладко стыкующегося ребра. На рис. М.2.11.7 приведено исходное тело, ребра, подлежащие скруглению, и метод изменения радиуса для указанных ребер.

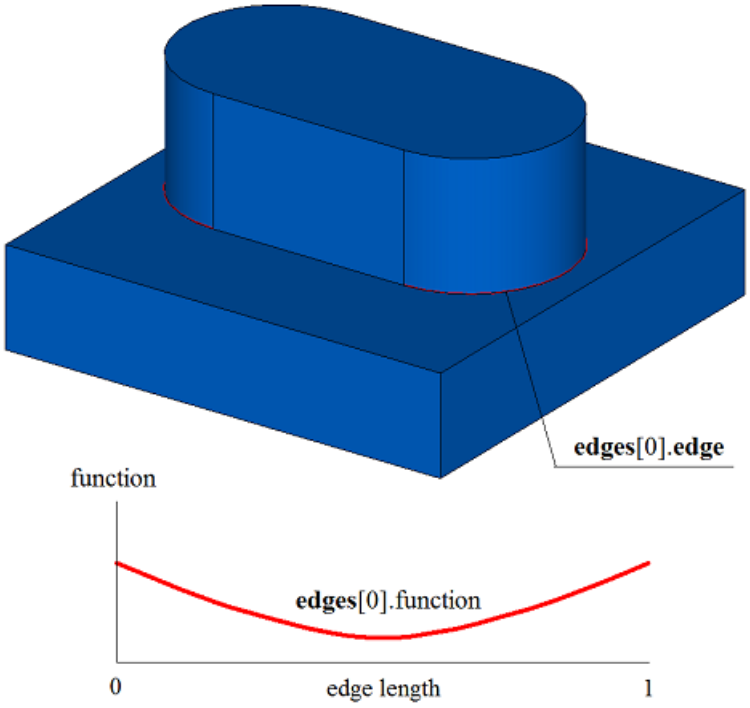


Рис. М.2.11.7.

На рис. М.2.11.8 приведен результат работы рассматриваемого метода для исходного тела и метод изменения радиуса для ребер, указанных на рис. М.2.11.7. На рис. М.2.11.8 видно, что на краях метод изменения радиуса был подобран, чтобы обеспечить гладкое сопряжение с соседней гранью скругления.

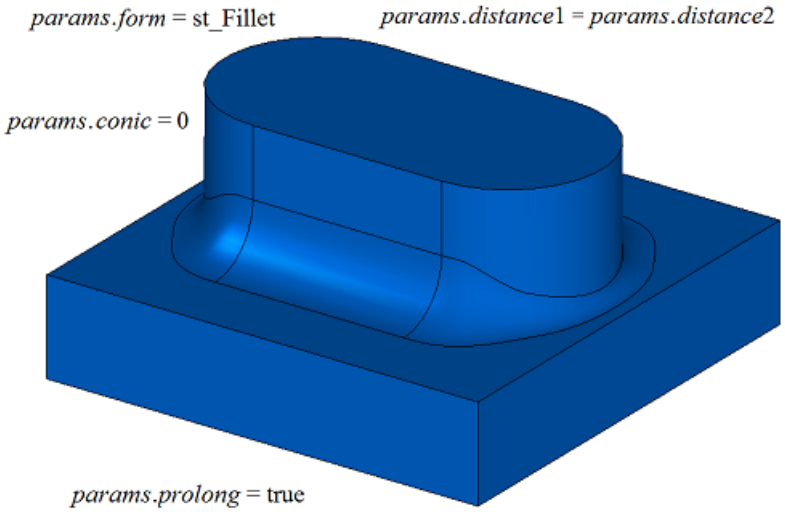


Рис. М.2.11.8.

Флаги *autoSurface*, *keepCant* и *equable* в рассматриваемом методе не используются.

При построении скругления трех ребер, стыкующихся в одной вершине, параметр *smoothCorner* определяет способ обработки скругления чемоданных углов. Если *smoothCorner*=ec_pointed, то обработка углов, в которых стыкуются три ребра одинаковой выпуклости, отсутствует, рис. М.2.10.16. Если *smoothCorner*=ec_uniform, то углы, в которых стыкуются три ребра различной выпуклости, обрабатываются одинаковым образом, как показано на рис. М.2.10.17. Если *smoothCorner*=ec_sharp, то углы, в которых стыкуются три ребра различной выпуклости, обрабатываются одинаковым образом, как показано на рис. М.2.10.18. Если *smoothCorner*=ec_either, то углы, в которых стыкуются три ребра различной выпуклости, могут быть обработаны разным образом. При несовпадении функций изменения радиуса на краях граней скругления функции изменения радиуса корректируются так, чтобы обеспечить гладкое сопряжение стыкующихся граней скругления.

В неоднозначной ситуации на торцах грани сопряжения может быть задействован параметр **bounds** с гранями тела **solid**, которые следует использовать для обрезки граней сопряжения. Пример использования параметра **bounds** приведен на рис. М.1.20.19 и М.1.20.20.

Параметр **bounds** может использоваться для остановки граней сопряжения в начале и конце. При этом грани, определяемые параметром **bounds**, должны принадлежать исходному телу **solid**.

При построении скругления ребер рассматриваемый метод добавляет в журнал построенного тела строитель MbFilletSolid, который объявлен в файле cr_fillet_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет обработку ребер тела командой меню «Создать->Тело->Обработкой ребер->Скругление переменное».

М.2.12. Построение тела с фасками рёбер

Метод
MbResultType
ChamferSolid (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
RPArray<MbCurveEdge> & **edges**,
const SmoothValues & *params*,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)

выполняет построение фасок указанных рёбер на копии исходного тела.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- sameShell – вариант копирования исходного тела,
- **edges** – множество обрабатываемых рёбер,
- params – параметры построения,
- names – именователь построенных граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод выполняет замену указанных рёбер исходного тела гранями фасок.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Метод выполняет замену указанных рёбер исходного тела гранями фаски.

Параметр **solid** содержит исходное тело, ребра которого подлежат обработке. Параметр *sameShell* управляет передачей граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** к построенному телу **result**.

Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell.

Параметр **edges** содержит обрабатываемые ребра тела **solid**. Параметр names обеспечивает именование граней фаски.

Для построения фасок ребер используются те же параметры SmoothValues & *params*, что и при построении скруглений ребер, рис. М.1.20.1. Класс SmoothValues описан в файле shell_parameter.h. Параметры построения фаски *params* содержит информацию о форме и способе сопряжения смежных граней обрабатываемых ребер. Для построения фасок используются следующие данные параметра *params*:

- *distance*1 – первый катет фаски,
- *distance*2 – второй катет фаски,
- *begLength* – расстояние от начальной вершины до точки остановки сопряжения (отрицательное значение означает отсутствие остановки),
- *endLength* – расстояние от конечной вершины до точки остановки сопряжения (отрицательное значение означает отсутствие остановки),
- *form* – тип сопряжения из перечисления MbeSmoothForm,
- *smoothCorner* – способ скругления чемоданных углов,
- *prolong* – флаг продолжения скругления по касательным рёбрам,
- **vector**1 – вектор нормали плоскости остановки сопряжения в начале,
- **vector**2 – вектор нормали плоскости остановки сопряжения в конце,

величины *conic*, *autoSurface*, *keepCant*, *strict*, *equable* при построении фаски не используются,

Способом описания фаски управляет параметр *form*. Для построения фаски ребер используются значения параметра *form* равные st_Chamfer, st_Slant1 и st_Slant2. При значении *form*=st_Chamfer рассматриваемый метод строит поверхность фаски с заданными катетами, которые определяют параметры *distance*1 и *distance*2, рис. М.2.12.1.

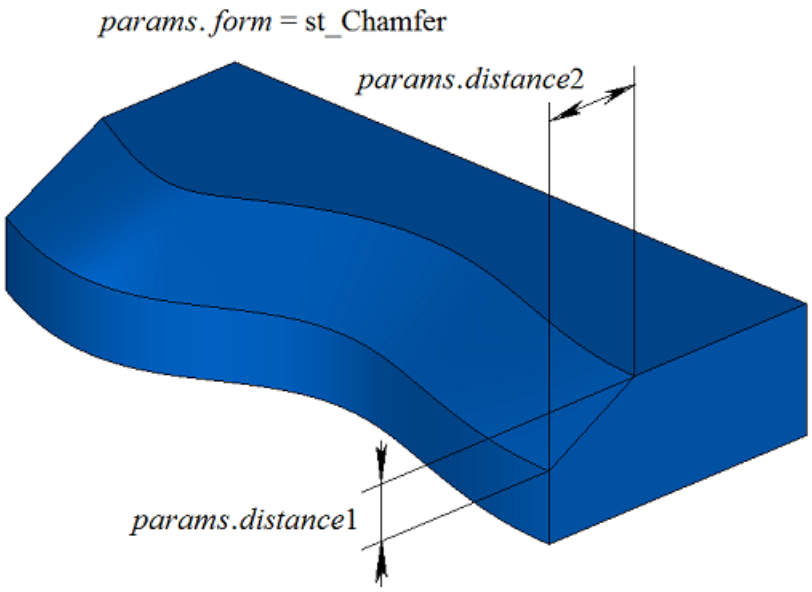


Рис. М.2.12.1.

При значении *form*=st_Slant1 рассматриваемый метод строит поверхность фаски с заданным катетом и прилегающим к нему углом. Катет определяет параметр *distance*1, а *distance*2 соответствует катету, обеспечивающему заданный прилежащий угол, рис. М.2.12.2.

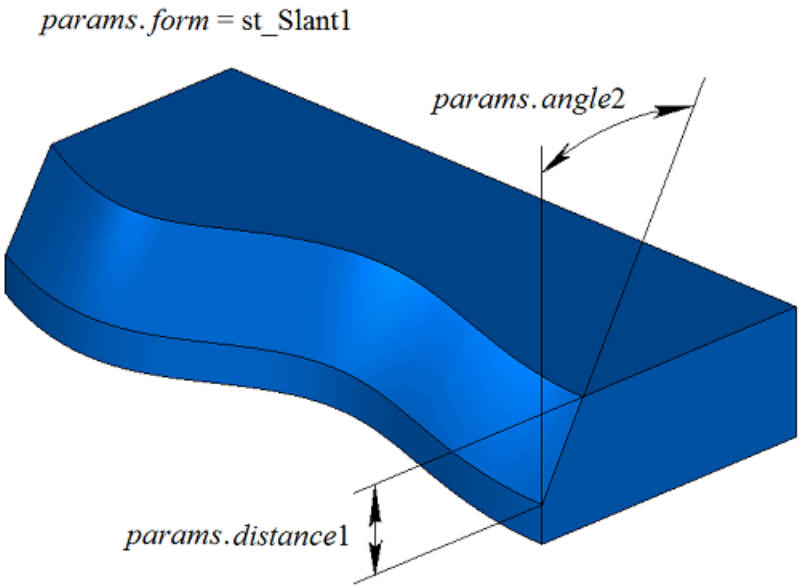


Рис. М.2.12.2.

При значении *form*=st_Slant2 рассматриваемый метод строит поверхность фаски с заданным углом и прилегающим к нему катетом. Параметр *distance*1 соответствует катету, обеспечивающему заданный угол, а *distance*2 определяет прилежащий катет, рис. М.2.12.3.

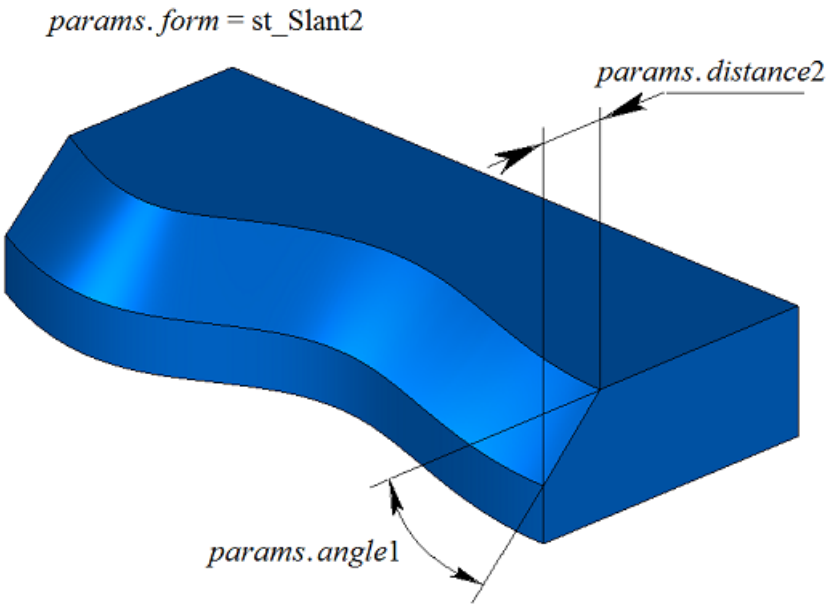


Рис. М.2.12.3.

На рис. М.2.12.4 приведен пример остановки фаски на расстоянии *begLength* от начальной вершины и на расстоянии *endLength* от конечной вершины обрабатываемого ребра. Если не требуется останавливать сопряжение, то расстояния *begLength* и *endLength* должны принять отрицательные значения.

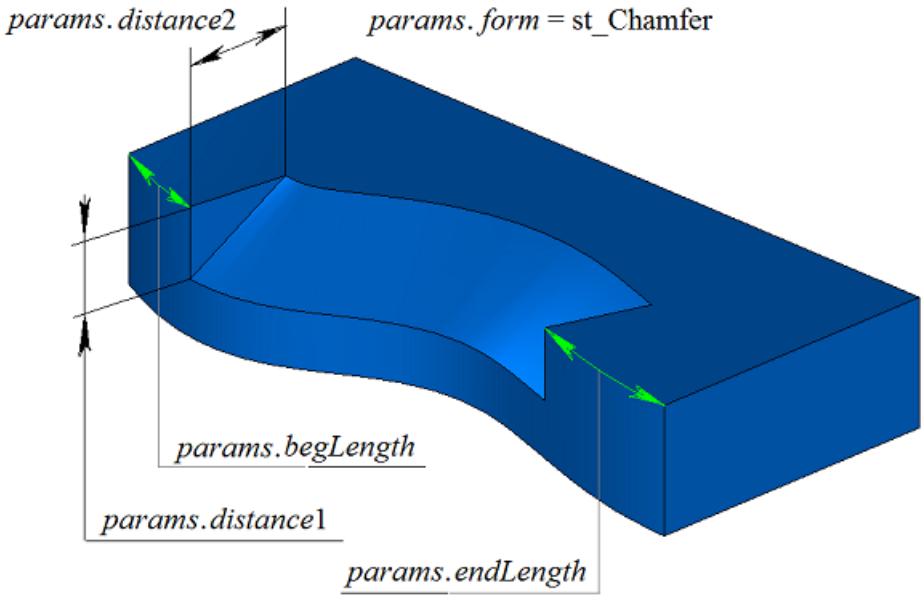


Рис. М.2.12.4.

На примере тела, приведенного на рис. М.2.12.5, продемонстрируем работу флага *prolong* при фаске выделенного на рис. М.2.12.5 ребра.

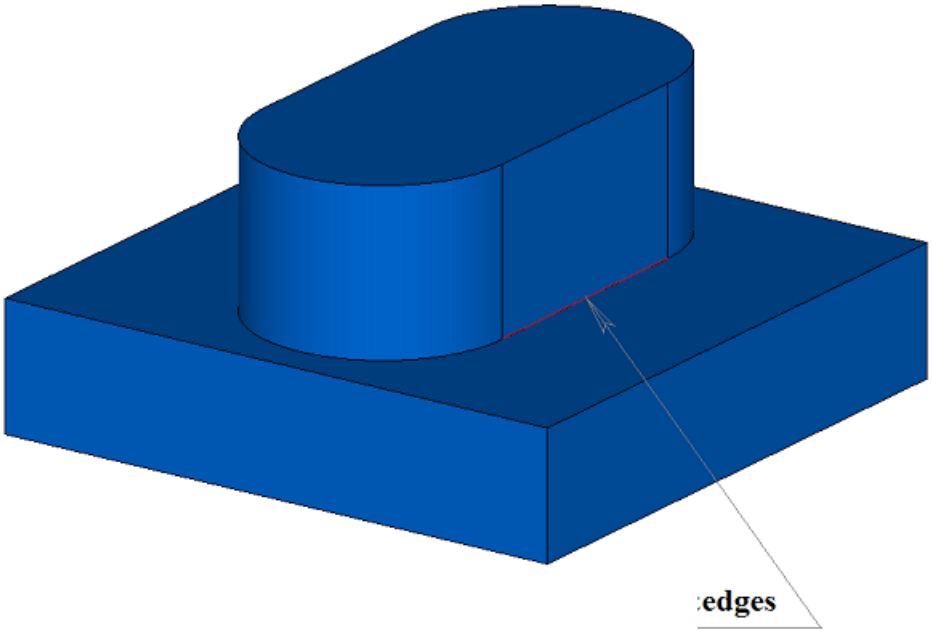


Рис. М.2.12.5.

Флаг *prolong* указывает на то, какие ребра тела должны быть обработаны. Если *prolong*=false, то обработке подлежат только те ребра, которые указаны в контейнере **edges**, рис. М.2.12.6.

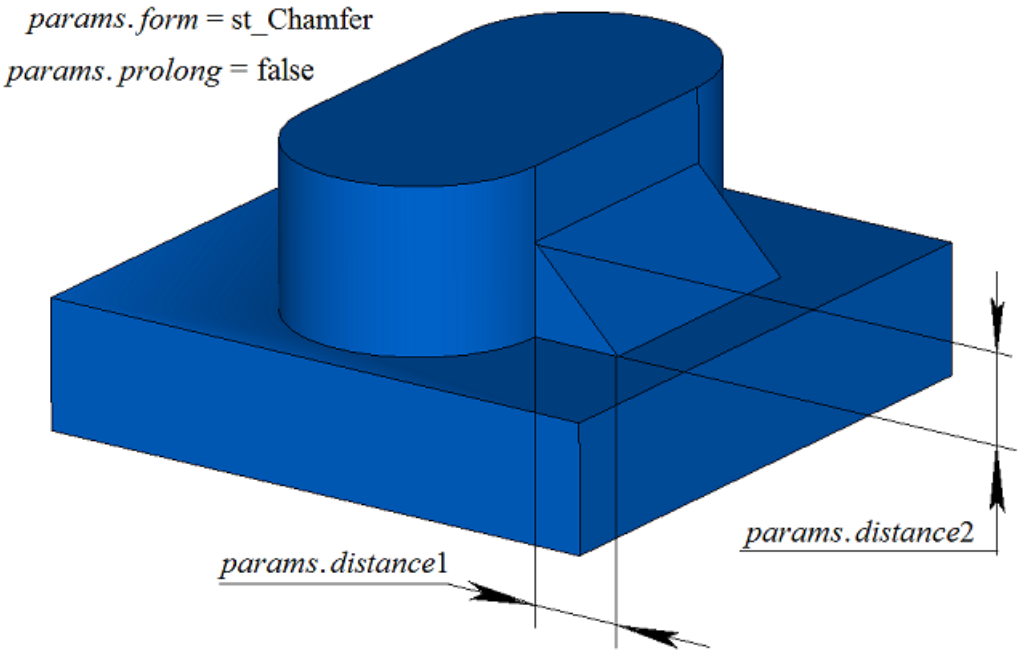


Рис. М.2.12.6.

Если *prolong*=true, то обработке подлежат ребра, указанные в контейнере **edges**, а также ребра, гладко стыкующиеся с ними, рис. М.2.12.7.

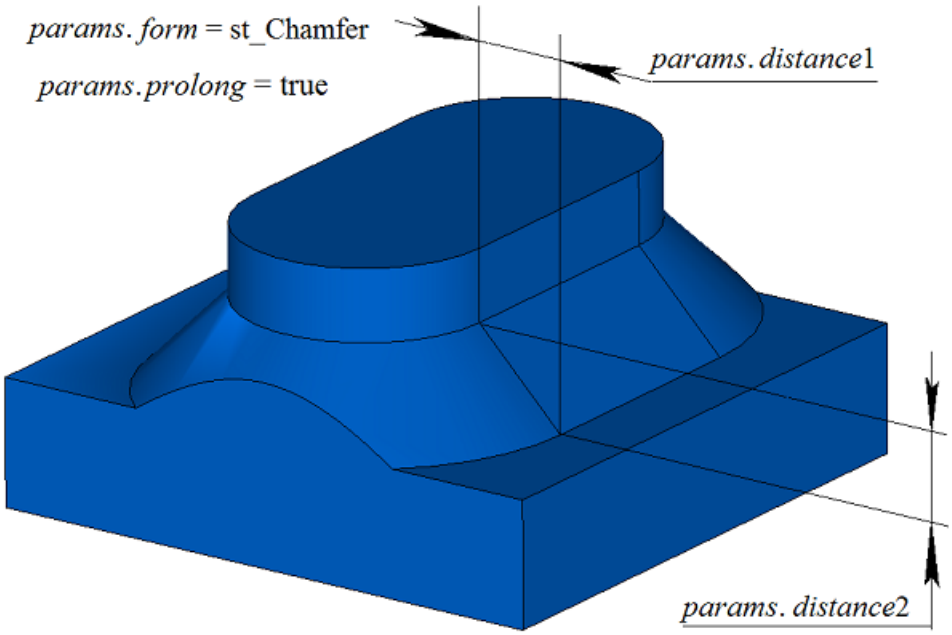


Рис. М.2.12.7.

При построении фаски трех ребер, стыкующихся в одной вершине, параметр *smoothCorner* определяет способ обработки чемоданных углов. На примере тела, приведенного на рис. М.2.12.8, покажем работу параметра *smoothCorner* при построении фаски на всех ребрах тела.

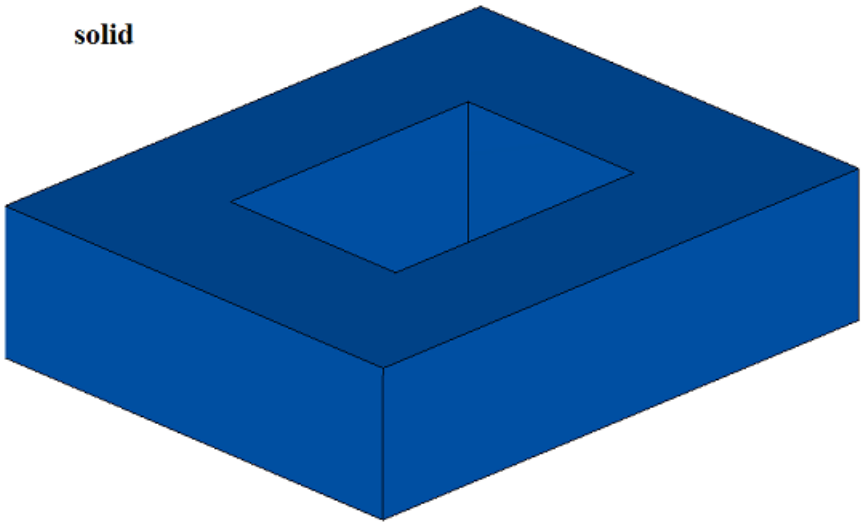


Рис. М.2.12.8.

Если *smoothCorner*=ec_pointed, то обработка углов, в которых стыкуются три ребра одинаковой выпуклости, отсутствует, и в построенном теле присутствует точка, в которой стыкуются три грани фаски, рис. М.2.12.9.

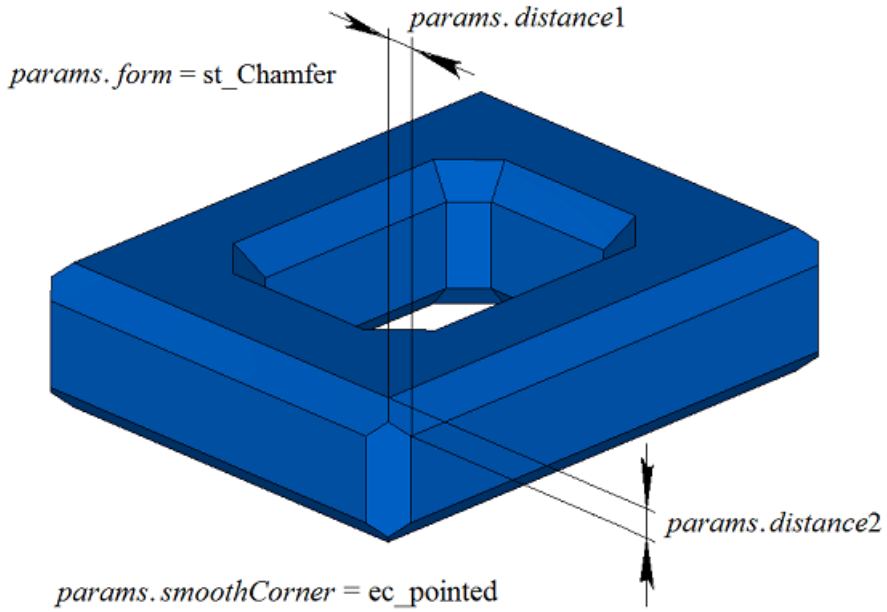


Рис. М.2.12.9.

При всех других значениях параметра *smoothCorner* углы, в которых стыкуются три ребра, обрабатываются путем построения дополнительной грани, как показано на рис. М.2.12.10.

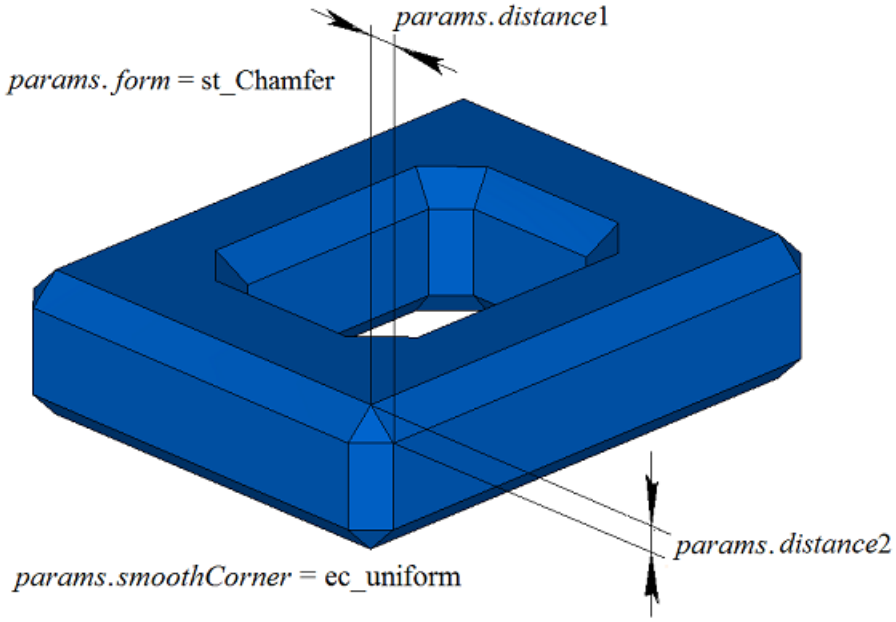


Рис. М.2.12.10.

На примере тела в форме пирамиды, приведенного на рис. М.2.12.11, покажем работу рассматриваемого метода при построении фаски в частных случаях. Результат построения при симметричной конфигурации ребер и симметричной фаске приведен на рис. М.2.12.12.

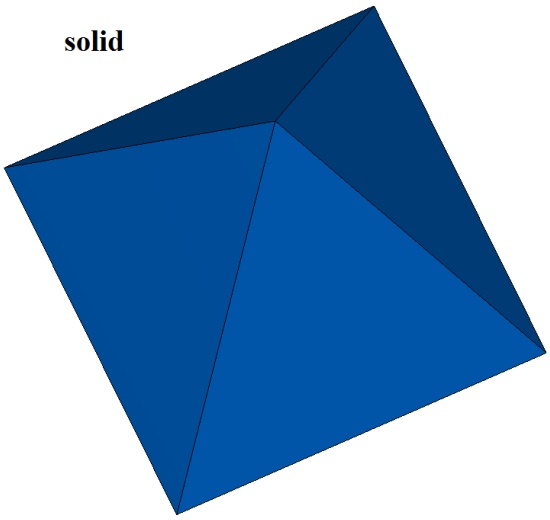


Рис. М.2.12.11.

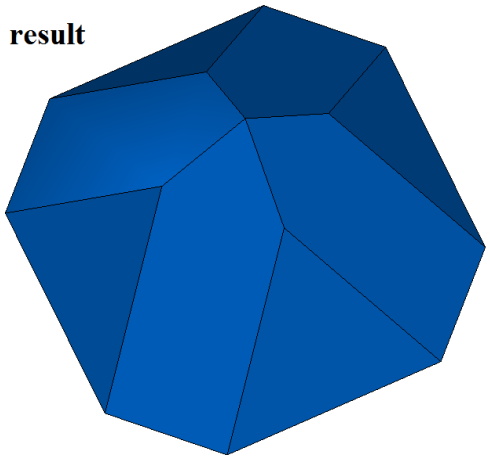


Рис. М.2.12.12.

Следует заметить, что для построения фаски стыкующихся в одной вершине четырех и более ребер необходимо пересечение всех поверхностей фаски в одной точке. Пример симметричной фаски семи ребер, стыкующихся в общей вершине, приведен на рис. М.2.12.13.

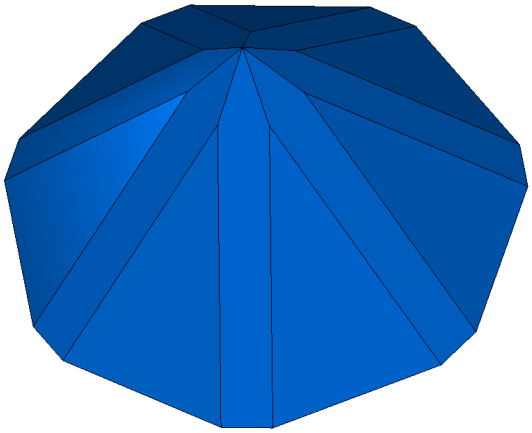


Рис. М.2.12.13.

При построении фаски ребер рассматриваемый метод добавляет в журнал построенного тела строитель MbChamferSolid, который объявлен в файле cr_chamfer_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет обработку ребер тела командами меню «Создать->Тело->Обработкой ребер->Фаска катет-катет», «Создать->Тело->Обработкой ребер->Фаска катет-угол», «Создать->Тело->Обработкой ребер->Фаска угол- катет».

Когда в методе построения фаски параметры *distance*1 и *distance*2 не равны и для обработки заданы несколько ребер, то трудно разобраться, что чему соответствует. В такой ситуации предлагается использовать вспомогательные методы: **SmoothPhantom**(...), **SmoothSequence**(...), **SmoothPositionData**(...), объявленные в файле action_phantom.h. Метод **SmoothPhantom**(...) строит упрощенные поверхности для имитации будущих фасок. Метод **SmoothSequence**(...) строит последовательности ребер, к которым по желанию могут быть добавлены гладко стыкующиеся ребра, обрабатываемые совместно. Метод **SmoothPositionData**(...) вычисляет по три точки для обрабатываемых ребер, которые используются для фантомных размеров катетов и углов. Обычно с помощью указанных методов рисуется некий фантом, по которому можно понять, что получится в результате операции, и дается возможность поменять параметры при необходимости.

Перед построением фасок обрабатываемые ребра сортируются, при необходимости или по требованию к ним добавляются гладко стыкующиеся ребра, и из ребер создаются последовательности

гладко стыкующихся ребер. Параметры *distance*1 и *distance*2 привязаны к первой и второй поверхностям, соответственно, кривой пересечения первого ребра в последовательности гладко стыкующихся ребер. Поверхности можно получить методами кривой пересечения **GetCurveOneSurface**() и **GetCurveTwoSurface**(). По *distance*1 и *distance*2 первого ребра определяются параметры для остальных ребер каждой последовательности. Так, если для первого ребра указатель **edge->GetIntersectionCurve**().**GetSurfaceOne**() равен указателю **&edge->GetFacePlus**()->**GetSurface**().**GetSurface**(), то *distance*1 будет соответствовать катету на грани **faceMinus**, а *distance*2 будет соответствовать катету на грани **facePlus** первого ребра последовательности.

М.2.13. Построение тонкостенного тела

Метод
MbResultType
ThinSolid (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
RPArray<MbFace> & **outFaces**,
SweptValues & *params*,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение тонкостенного тела исключением указанных граней исходного тела.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **outFaces** – множество исключаемых граней,
- *params* – параметры построения,
- names – именователь построенных граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Метод удаляет из исходного тела **solid** указанные грани **outFaces**, а оставшимся граням «придаёт заданную толщину». Параметр *sameShell* управляет передачей граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** построенному телу **result**. Параметр *params* содержит информацию о толщине стенки сохраняемых граней и замкнутости построенного тела **result**. Толщина стенки сохраняемых граней может быть равна или *params.thickness*1 в положительном направлении нормали грани или *params.thickness*2 в отрицательном направлении нормали грани. Если *params.shellClosed*=false, то будет построено незамкнутое тело. Параметр names обеспечивает именование граней построенного тела. Для выполнения операции удаляемые грани **outFaces** по общему периметру не должны иметь гладких ребер стыковки с сохраняемыми гранями исходного тела.

Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell.

На рис. М.2.13.1 показаны исходное тело **solid** и удаляемые грани **outFaces**.

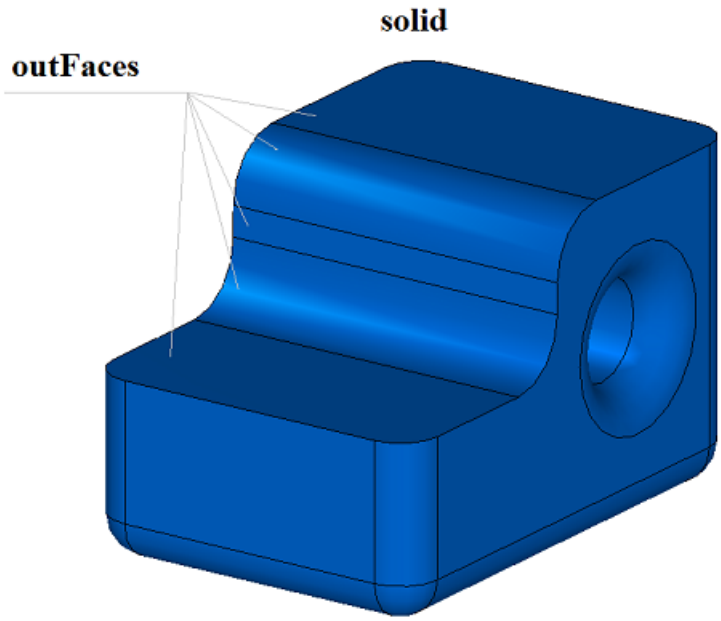


Рис. М.2.13.1.

На рис. М.2.13.2 приведено построенное тонкостенное тело **result** с утолщением сохраненных граней внутрь исходного тела.

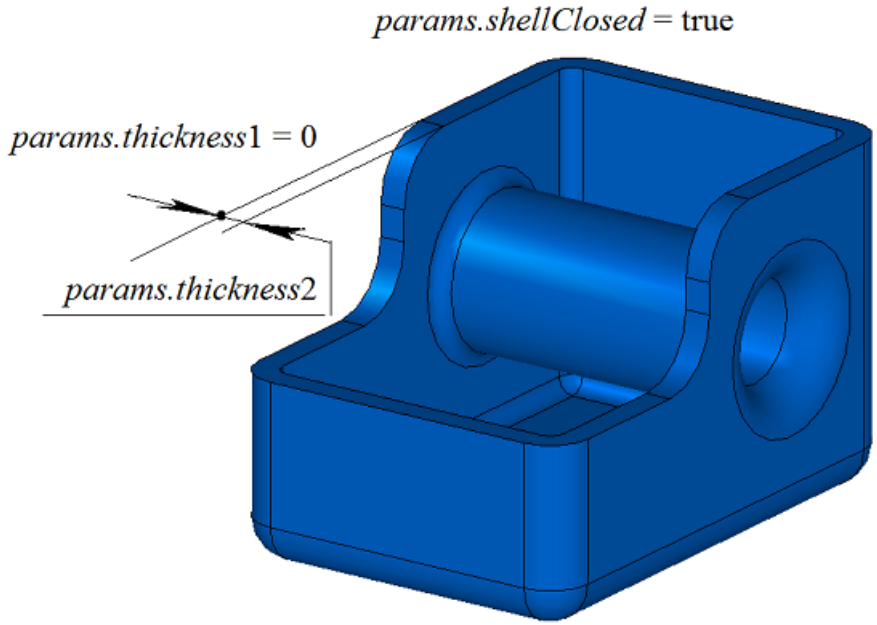


Рис. М.2.13.2.

На рис. М.2.13.3 приведено построенное тонкостенное тело **result** с утолщением сохраненных граней наружу исходного тела.

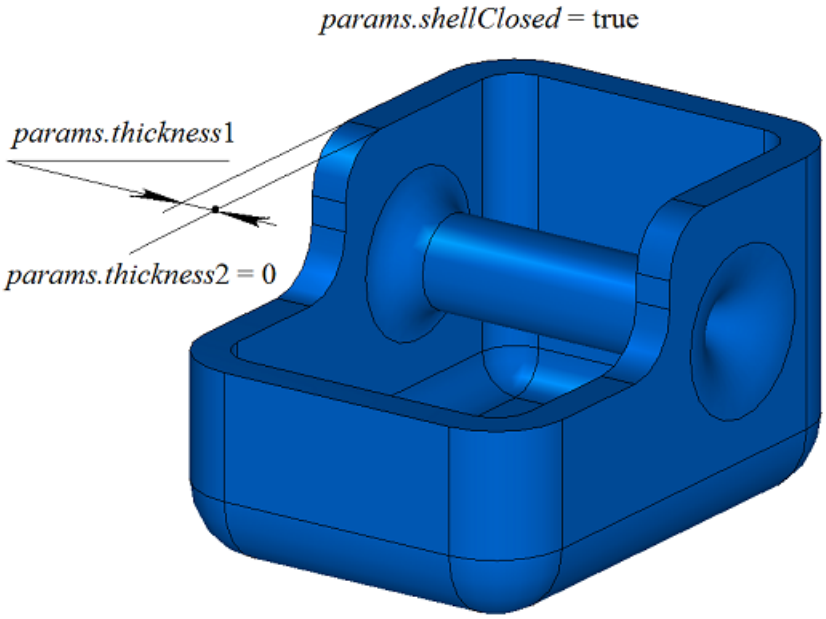


Рис. М.2.13.3.

На рис. М.2.13.4 приведено построенное не замкнутое тело **result**.

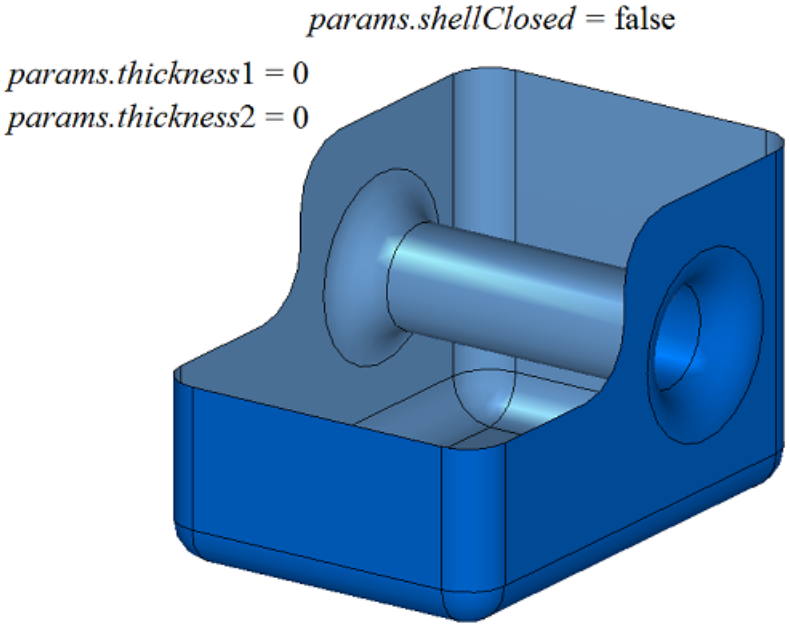


Рис. М.2.13.4.

На рис. М.2.13.5 приведено тонкостенное тело, построенное при пустом множестве удаляемых граней.

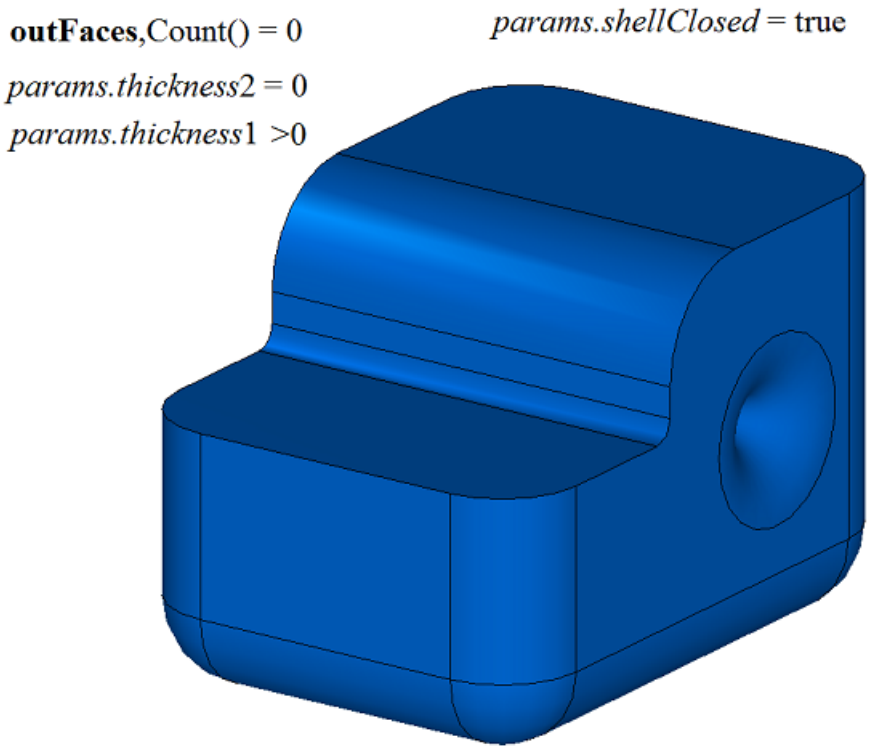


Рис. М.2.13.5.

Метод **ThinSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbShellSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbShellSolid объявлен в файле cr_thin_shell_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет построение тонкостенного тела командой меню «Создать->Тело->Обработкой граней->Приданием одинаковой толщины».

М.2.14. Построение тонкостенного тела с различной толщиной стенки

Метод
MbResultType
ThinSolid (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
RPArray<MbFace> & **outFaces**,
RPArray<MbFace> & **offFaces**,
SArray<double> & *offDistances*,
SweptValues & *params*,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение тонкостенного тела исключением указанных граней и приданием различной толщины оставшимся граням исходного тела.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **outFaces** – множество исключаемых граней,
- **offFaces** – множество граней, которым заданы индивидуальные значения толщин,
- *offDistances* – множество индивидуальных значений толщин (синхронен с **offFaces**),
- *params* – параметры построения,
- names – именователь построенных граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Метод удаляет из исходного тела **solid** указанные грани **outFaces**, а оставшимся граням «придаёт заданную толщину», причём толщина для разных граней может отличаться. Параметр *sameShell* управляет передачей граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** построенному телу **result**. Параметр **offFaces** содержит грани, которым заданы индивидуальные значения толщин *offDistances*. Грани **offFaces**[*i*] будет «придана толщина» *offDistances*[*i*]. Остальным граням будет придана толщина, определяемая параметром *params*. Параметр *params* содержит информацию о замкнутости построенного тела **result** и толщине стенки сохраняемых граней, не входящих в множество **offFaces**. Толщина стенки сохраняемых граней может быть равна или *params.thickness*1 в положительном направлении нормали грани или *params.thickness*2 в отрицательном направлении нормали грани. Параметр names обеспечивает именование граней построенного тела. Для выполнения операции удаляемые грани **outFaces** по общему периметру не должны иметь гладких ребер стыковки с сохраняемыми гранями исходного тела.

Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell.

На рис. М.2.14.1 показаны исходное тело **solid**, удаляемые грани **outFaces** и грани **offFaces**, которым заданы индивидуальные значения толщин *offDistances*.

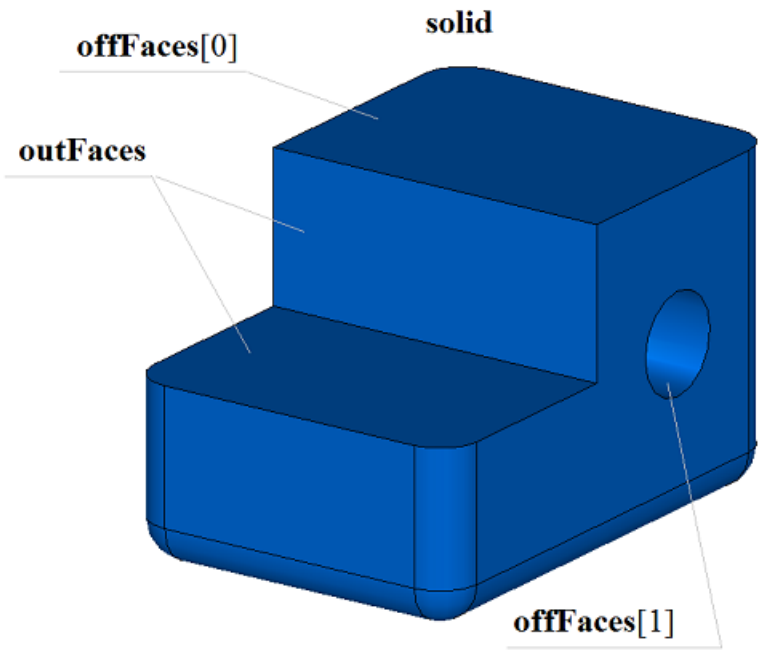


Рис. М.2.14.1.

На рис. М.2.14.2 приведено построенное тело **result** с сохраненными и вновь построенными гранями.

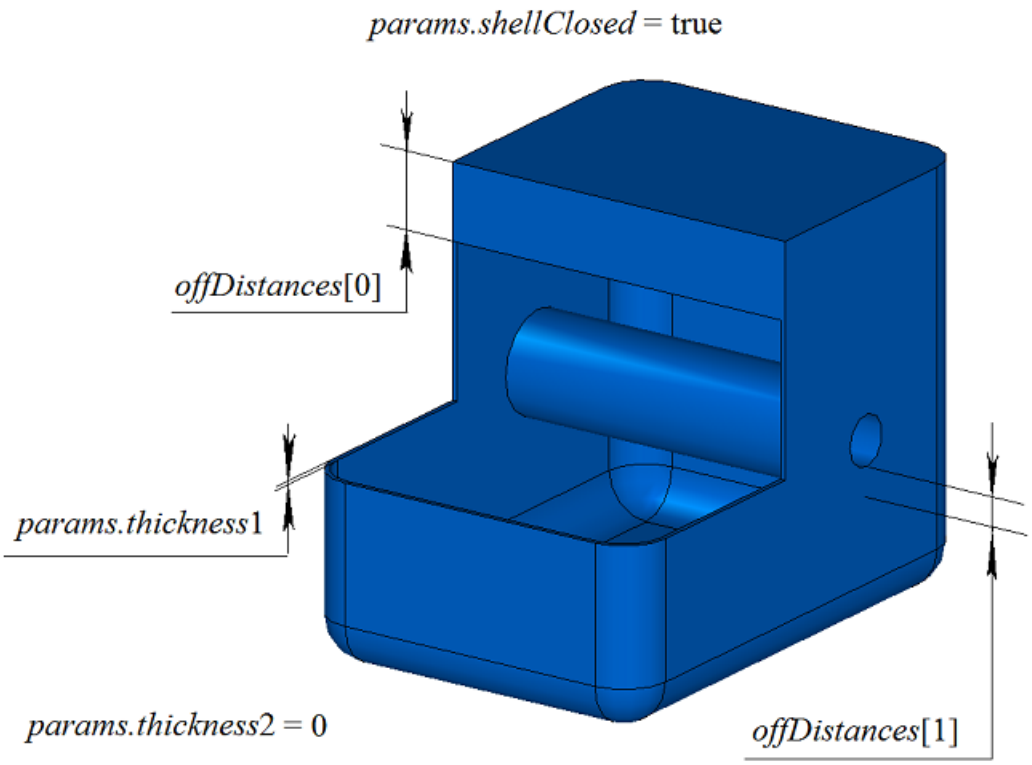


Рис. М.2.14.2.

Для выполнения операции каждая из граней **offFaces** по общему периметру не должна иметь гладких ребер стыковки с гранями исходного тела другой толщины.

Метод **ThinSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbShellSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbShellSolid объявлен в файле cr_thin_shell_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет построение тонкостенного тела командой меню «Создать->Тело->Обработкой граней->Приданием различной толщины».

М.2.15. Построение тела приданием толщины поверхности

Метод
MbResultType
ThinSolid (const MbSurface & **surface**,
bool *faceSense*,
SweptValues & *params*,
const MbSNameMaker & names,
SimpleName name,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение тела путём придания толщины заданной поверхности.

Входными параметрами метода являются:

- **surface** – заданная поверхность,
- *faceSense* – ориентация нормали поверхности в грани построенного тела,
- *params* – параметры построения,
- names – именователь граней,
- name – имя операции.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Метод строит грань на основе поверхности **surface** и далее строит тело путем «придания этой грани заданной толщины». Параметр *faceSense* указывает, совпадает ли направление нормали поверхности **surface** с направлением нормали грани. Грани будет придана толщина, определяемая параметром *params*. Параметр *params* содержит информацию о толщине стенки построенного тела **result**. Толщина стенки может быть равна или *params.thickness*1 в положительном направлении нормали грани или *params.thickness*2 в отрицательном направлении нормали грани. Параметры names и name обеспечивают именование граней построенного тела.

На рис. М.2.15.1 показаны исходная поверхность **surface**.

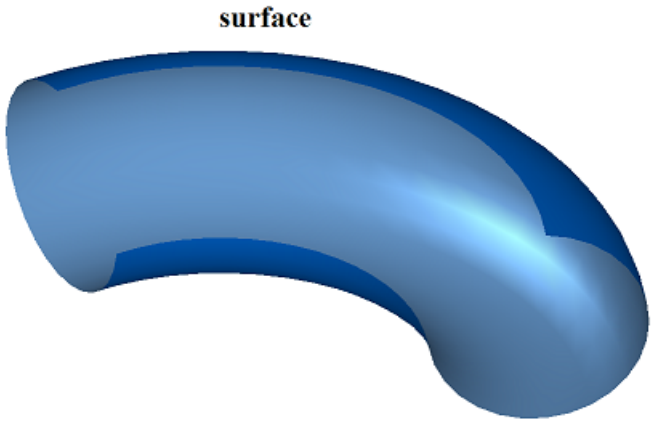


Рис. М.2.15.1.

На рис. М.2.15.2 приведено построенное тело **result**.

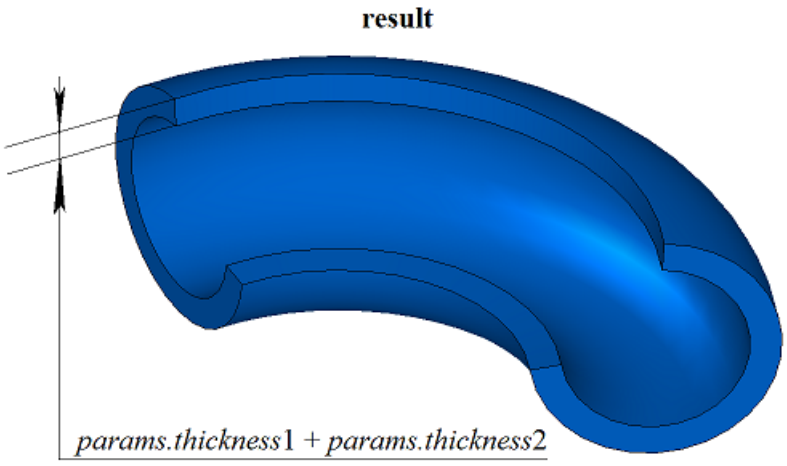


Рис. М.2.15.2.

Метод **ThinSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbShellSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbShellSolid объявлен в файле cr_thin_shell_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет построение тонкостенного тела командой меню «Создать->Тело->На базе поверхности->Приданием толщины».

М.2.16. Построение зеркального тела

Метод
MbResultType

MirrorSolid (const MbSolid & **solid**,
const MbPlacement3D & **place**,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение зеркальной копии тела относительно заданной плоскости.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- **place** – локальная система координат, плоскость XY которой является плоскостью зеркала,
- names – именователь грани среза.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Метод создаёт зеркальную копию тела **solid** относительно плоскости XY заданной локальной системы координат **place**. Параметр names обеспечивает именование граней построенного тела.

На рис. М.2.16.1 показаны исходное тело **solid** и плоскость симметрии **place**.

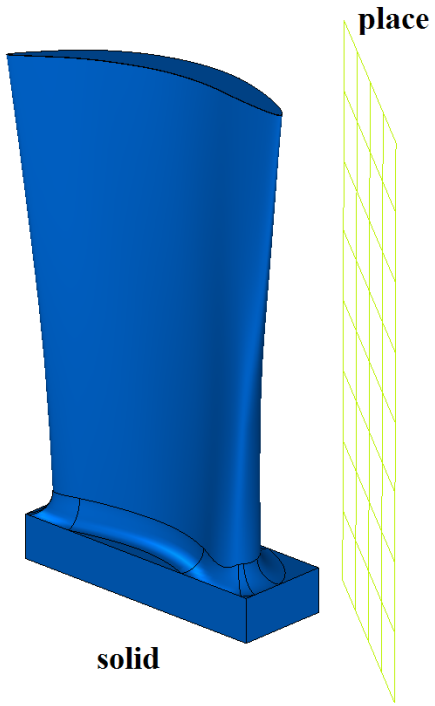


Рис. М.2.16.1.

На рис. М.2.16.2 приведено исходное тело **solid** и построенное тело **result**.

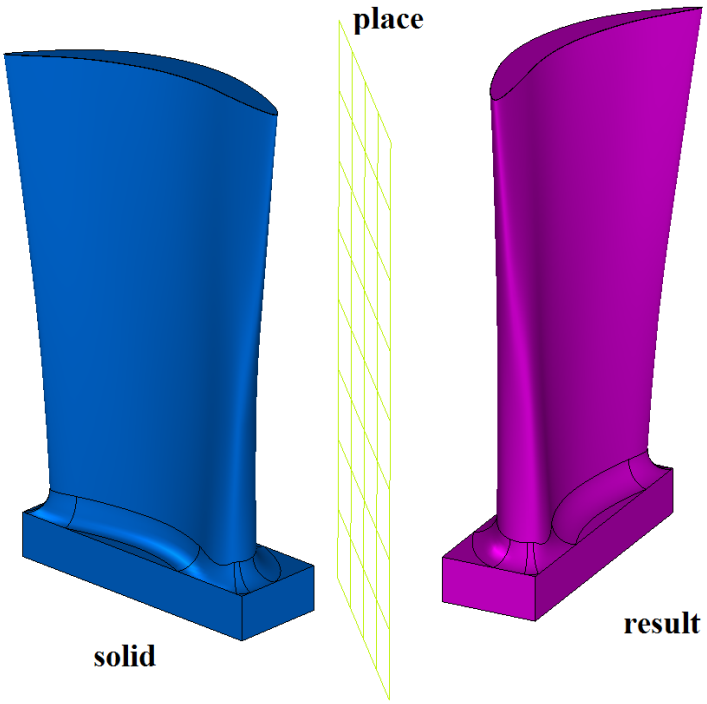


Рис. М.2.16.2.

Метод **MirrorSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbSymmetrySolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbSymmetrySolid объявлен в файле cr_symmetry_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет построение симметричного тела командой меню «Создать->Тело->На базе тел->Симметричное».

М.2.17. Булева операция тела и множества тел

Метод
MbResultType
UnionResult (MbSolid * **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
RPArray<MbSolid> & **solids**,
MbeCopyMode *sameShells*,
OperationType *oType*,
bool *checkIntersect*,
bool *mergeFaces*,
const MbSNameMaker & names,
bool *isArray*,
MbSolid *& **result**,
RPArray<MbSolid> * **notGluedSolids** = NULL)
выполняет объединение тел заданного множества и заданную булеву операцию с исходным телом, если оно задано.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело (может быть ноль),
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **solids** – множество тел,
- *sameShells* – вариант копирования тел множества,
- *oType* – тип булевой операции: bo_Union – объединение тел,
  bo_Intersect – пересечение тел,
  bo_Difference – вычитание тел,

- *checkIntersect* – флаг проверки пересечение тел множества (false – не проверять),
- *mergeFaces* – объединять ли подобные грани,
- names – именователь граней,
- *isArray* – флаг регулярности множества тел.

Выходным параметром метода является построенное тело **result** и множество тел **notGluedSolids**, которые оказались не используемыми в операции (может быть ноль).

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Метод представляет собой разновидность булевой операции **BooleanSolid** и ускоряет работу, когда требуется выполнить одну и ту же булеву операцию тела **solid** с большим количеством других тел. Сначала метод выполняет объединение множества тел **solids** в общее промежуточное тело, а затем выполняет указанную булеву операцию *oType* тела **solid** с промежуточным телом. Тела **solids** могут не пересекаться друг с другом. Параметр *sameShell* управляет передачей граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** построенному телу **result**. Параметр *sameShells* управляет передачей граней, ребер и вершин от множества тел **solids** построенному телу **result**. Параметры *checkIntersect* и *isArray* управляют построением общего промежуточного тела для множества тел **solids**. Параметр *mergeFaces* управляет объединением подобных граней. Параметр names обеспечивает именование граней построенного тела.

Параметр *sameShell* (*sameShells*) может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell.

Параметр OperationType *oType* определяет тип былевой операции и принимает три значения: bo_Union, bo_Intersect, bo_Difference. При *oType*=bo_Union рассматриваемый метод выполняет объединение тел **solid** и множества тел **solids**, при *oType*=bo_Intersect рассматриваемый метод выполняет пересечение тел **solid** и множества тел **solids**, при *oType*=bo_Difference рассматриваемый метод выполняет вычитание из тела **solid** множества тел **solids**.

Параметры *checkIntersect* и *isArray* служат для ускорения работы метода **UnionResult**.

Параметр *checkIntersect* дает команду на проверку пересечения тел множества **solids** между собой. Если параметр *checkIntersect*==true, то при построении общего промежуточного тела выполняется булева операция объединения всех пересекающихся тел множества **solids** в одно тело. В противном случае объединение тел заданного множества выполняется простым перекладыванием граней всех тел в одно новое тело. Вне зависимости от значения параметра *checkIntersect* все не пересекающиеся тела множества **solids** передают свои грани общему промежуточному телу.

Параметр *mergeFaces* позволяет объединять подобные грани в построенном теле **result** или оставлять их разделенными. Работа параметра *mergeFaces* приведена на рис. М.2.17.2 и М.2.17.3. При *mergeFaces*==false подобные грани не объединяются.

Параметр *isArray* работает только при *checkIntersect*==true и сообщает о регулярности множества тел **solids**. Если *isArray*==true, то тела множества расположены в узлах прямоугольной или круговой сетки и позиции тел заданы в именах граней.

Параметр **notGluedSolids** содержит тела, которые оказались не используемыми в операции из-за невозможности объединения их с общим промежуточным телом.

На рис. М.2.17.1 приведены исходное тело **solid** и множество тел **solids**.

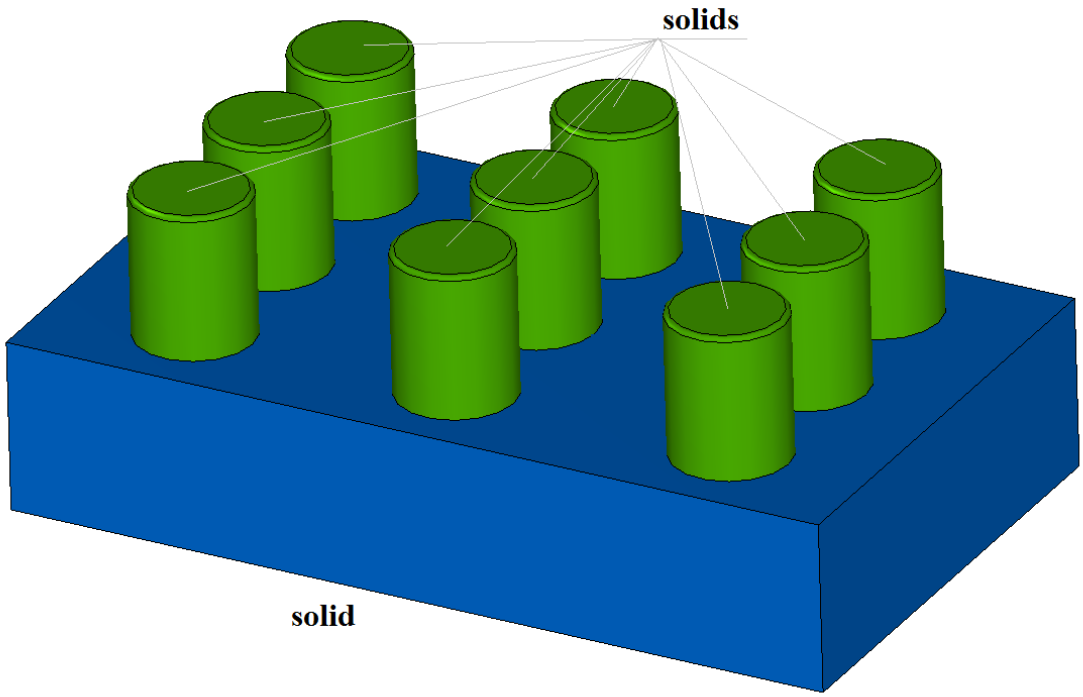


Рис. М.2.17.1.

На рис. М.2.17.2 приведен результат **result** приклеивания тел **solids** к телу **solid**. В данном случае параметр *checkIntersect* можно положить равным false, так как тела **solids** не пересекаются друг с другом.

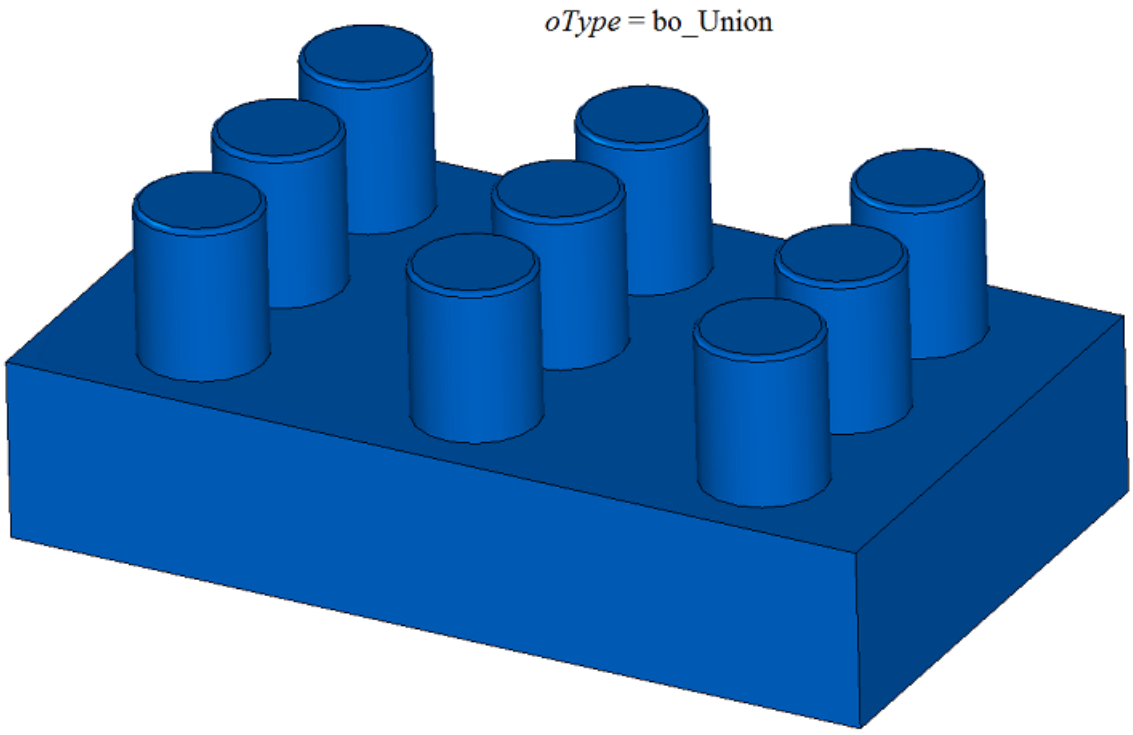


Рис. М.2.17.2.

На рис. М.2.17.3 приведены исходное тело **solid** и множество тел **solids**.

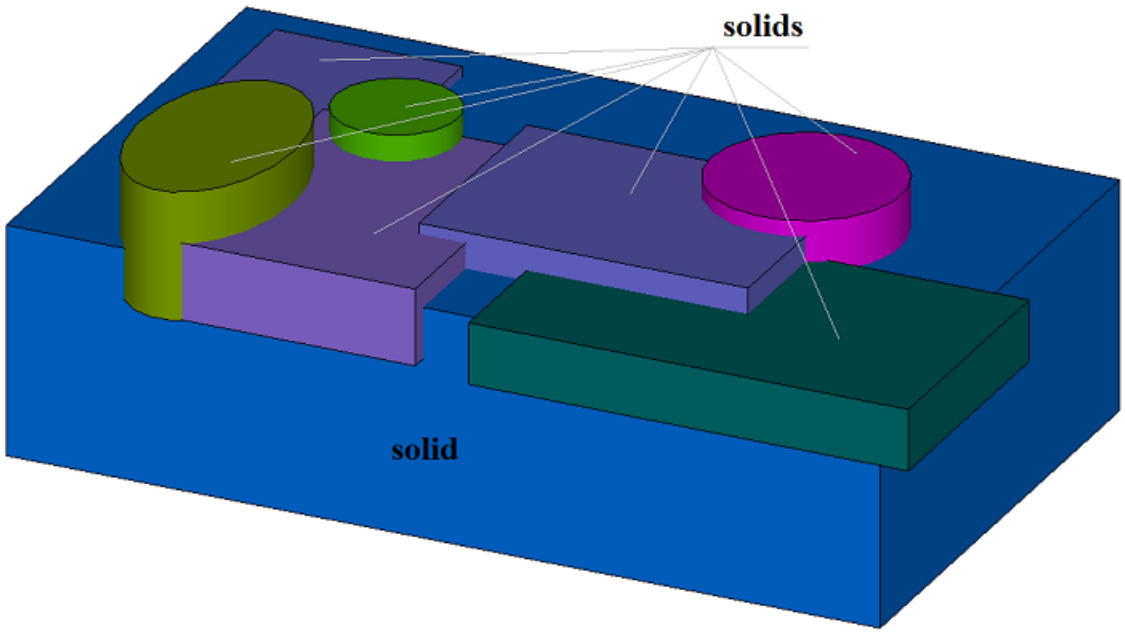


Рис. М.2.17.3.

На рис. М.2.17.4 приведен результат **result** вычитания тел **solids** из тела **solid** при работе рассматриваемого метода с параметром *mergeFaces*==true. В данном случае параметр *checkIntersect* необходимо положить равным true, так как тела **solids** пересекаются друг с другом.

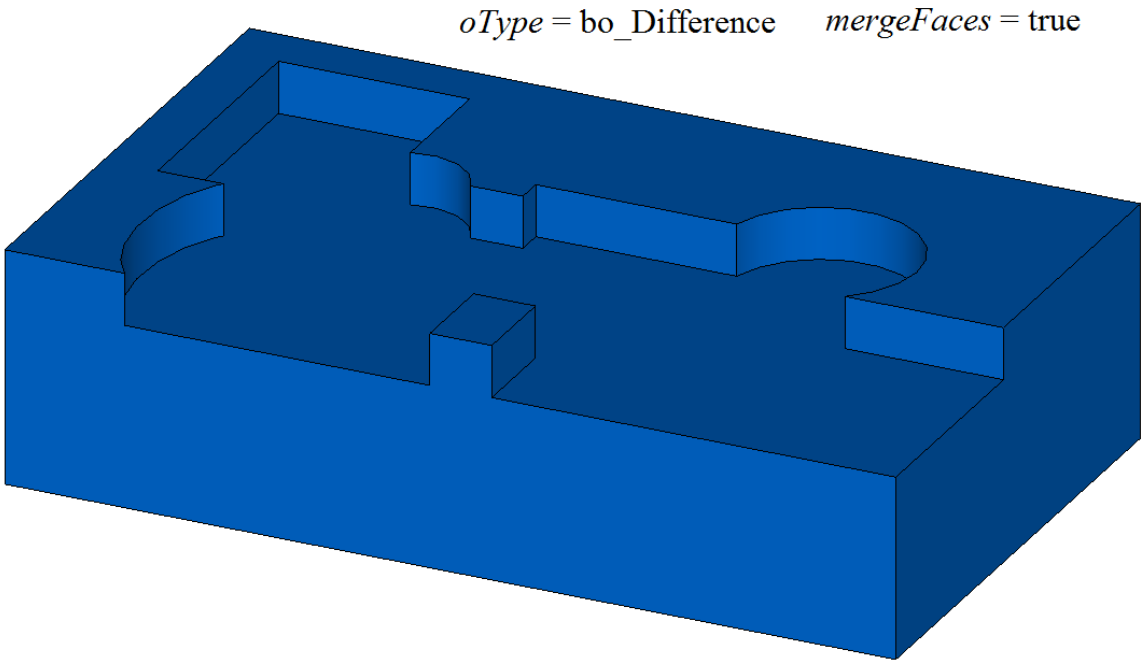


Рис. М.2.17.4.

На рис. М.2.17.5 приведен результат **result** вычитания тел **solids** из тела **solid** при работе рассматриваемого метода с параметром *mergeFaces*==false.

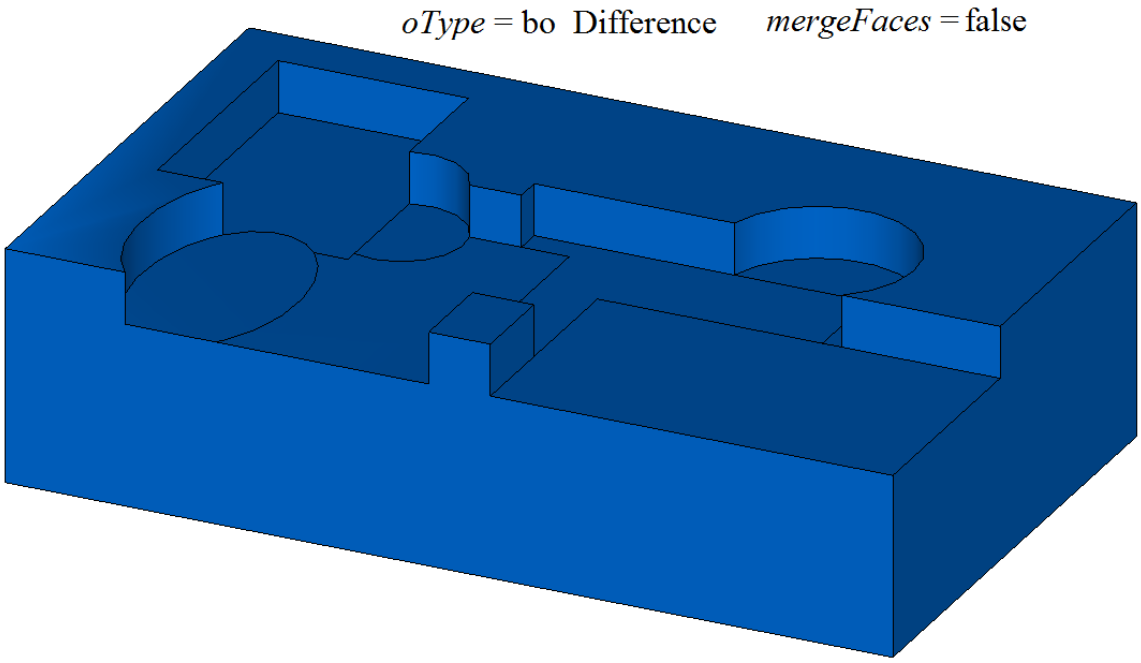


Рис. М.2.17.5.

На рис. М.2.17.6 для наглядности грани результата вычитания тел **solids** из тела **solid**, приведенного на рис. М.2.17.5, раскрашены в цвета исходных тел. По форме граней можно определить последовательность включения тел **solids** в промежуточное тело: тело оставляет более полный отпечаток, если оно включено в промежуточное тело раньше остальных.

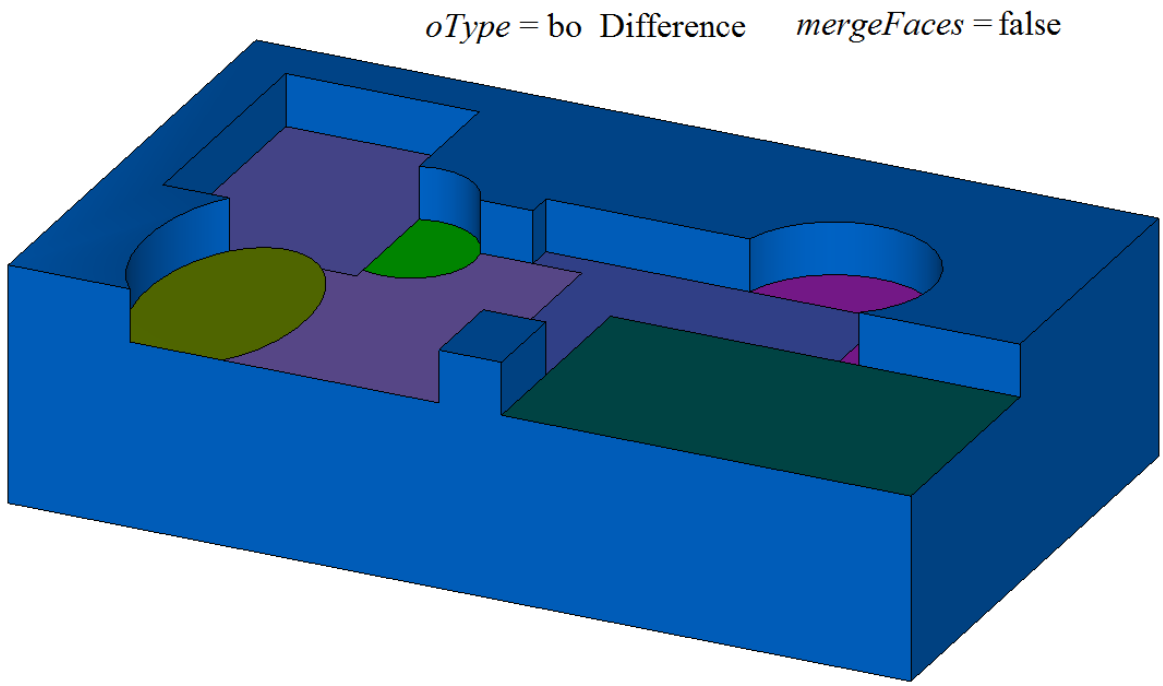


Рис. М.2.17.6.

Метод **UnionResult** добавляет в журнал построенного тела строитель MbUnionSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbUnionSolid объявлен в файле cr_union_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет булеву операцию тела с множеством тел командами меню «Создать->Тело->Приклеиванием к телу->Набора тел», «Создать->Тело->Вырезанием из тела->Набора тел», «Создать->Тело->Пересечением с телом->Набора тел».

M.2.18. Объединение множества тел

Метод
MbResultType
UnionSolid (RPArray<MbSolid> & **solids**,
MbeCopyMode *sameShells*,
bool *checkIntersect*,
const MbSNameMaker & names,
bool *isArray*,
MbSolid*& **result**,
RPArray<MbSolid> * **notGluedSolids** = NULL);
выполняет объединение тел заданного множества.

Входными параметрами метода являются:

- **solids** – множество тел,
- *sameShells* – вариант копирования тел множества,
- *checkIntersect* – флаг проверки пересечение тел множества (false – не проверять),
- names – именователь граней,
- *isArray* – флаг регулярности множества тел,

Выходным параметром метода является построенное тело **result** и множество тел **notGluedSolids**, которые оказались не используемыми в операции (может быть ноль).

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Рассматриваемый метод работает так же, как метод **UnionResult** при значениях параметров последнего **solid**=0, *sameShell*=*cm_Same*, *oType*=bo_Base, *mergeFaces*=true. Метод ускоряет работу, когда требуется объединить большое количество тел вместе. Метод выполняет объединение множества тел **solids** в одно тело **result**, при этом тела могут не пересекаться друг с другом. Параметр *sameShells* управляет передачей граней, ребер и вершин от множества тел **solids** построенному телу **result**. Параметры *checkIntersect* и *isArray* управляют построением общего промежуточного тела для множества тел **solids**. Параметр names обеспечивает именование граней построенного тела.

Параметр *sameShells* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе O.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell

Параметры *checkIntersect* и *isArray* служат для ускорения работы метода **UnionResult**.

Параметр *checkIntersect* дает команду на проверку пересечения тел множества **solids** между собой. Если параметр *checkIntersect*==true, то при построении результата выполняется булева операция объединения всех пересекающихся тел множества **solids**. В противном случае объединение тел заданного множества выполняется простым перекладыванием граней всех тел в построенное тело. Вне зависимости от значения параметра *checkIntersect* все не пересекающиеся тела множества **solids** передают свои грани общему промежуточному телу.

Параметр *isArray* работает только при *checkIntersect*==true и сообщает о регулярности множества тел **solids**. Если *isArray*==true, то тела множества расположены в узлах прямоугольной или круговой сетки и позиции тел заданы в именах граней.

Параметр **notGluedSolids** содержит тела, которые оказались не используемыми в операции из-за невозможности их объединения.

На рис. M.2.18.1 приведены исходные тела **solids**.

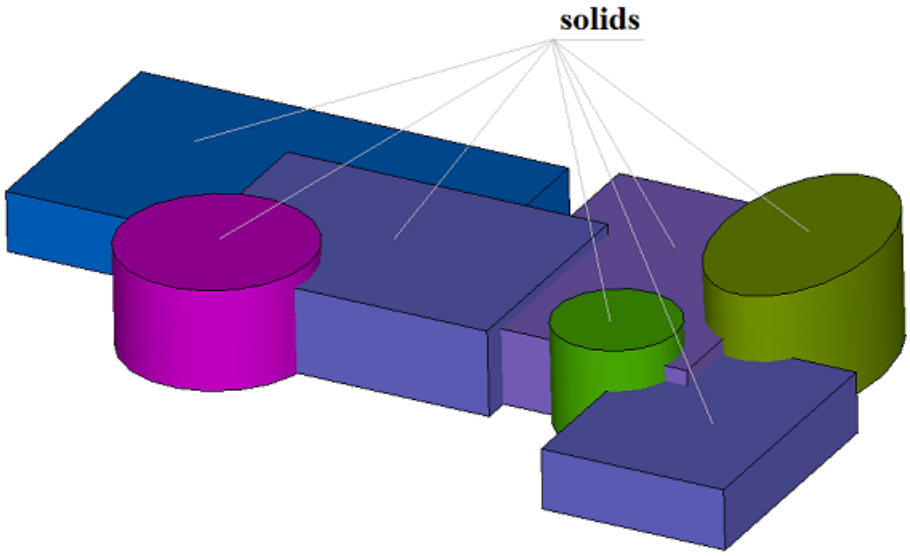


Рис. М.2.18.1.

На рис. М.2.18.2 приведен результат **result** объединения тел **solids**. В данном случае параметр *checkIntersect* необходимо положить равным true, так как тела **solids** пересекаются друг с другом.

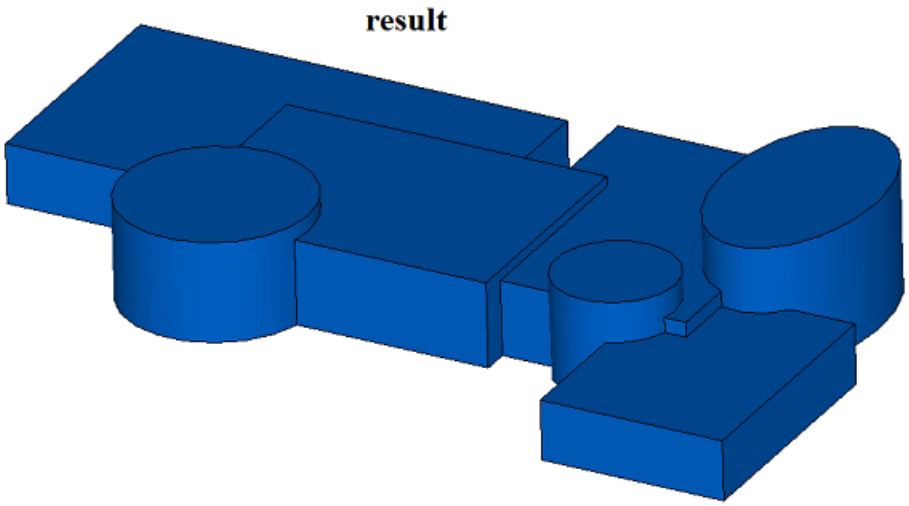


Рис. М.2.18.2.

Метод
MbResultType
UnionSolid (const RPArray<MbSolid> & **solids**,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
является упрощенным вариантом рассматриваемого одноименного метода и совпадает с ним при параметрах *sameShells=cm_Same*, *checkIntersect*==false, *isArray*==false, **notGluedSolids**==NULL. Последний метод не выполняет никаких проверок и построений, а просто собирает в построенном теле **result** все грани тел **solids**. Таким образом, построенное тело и исходные тела имеют одни и те же грани.

Методы **UnionSolid** добавляют в журнал построенного тела строитель MbUnionSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbUnionSolid объявлен в файле cr_union_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет булеву операцию тела с множеством тел командой меню «Создать->Тело->На базе тела ->Набор тел».

М.2.19. Разделить тело на несвязанные части

Метод
unsigned int
DetachParts (MbSolid & **solid**,
RPArray<MbSolid> & **parts**,
bool *sort*,
const MbSNameMaker & names)
отделяет от тела не связанные части.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- sort – флаг сортировки отделённых частей по убыванию габарита,
- names – именователь граней.

Выходными параметрами метода являются исходное тело **solid** и множество отделённых частей исходного тела **parts**.

Метод возвращает количество отделенных частей. Метод объявлен в файле action_solid.h.

После вычитания тела **solid2** из тела **solid2**, приведенных на рис. М.2.19.1, результат булевой операции **solid** будет состоять из нескольких топологически не связанных частей, рис. М.2.19.2, хотя будет вести себя как единый объект. Рассматриваемый метод позволяет разбить тело **solid**, состоящее из нескольких топологически не связанных частей, на отдельные тела. Одна часть остаётся в исходном теле **solid**, а остальные части будут сложены в присланный контейнер тел **parts**.

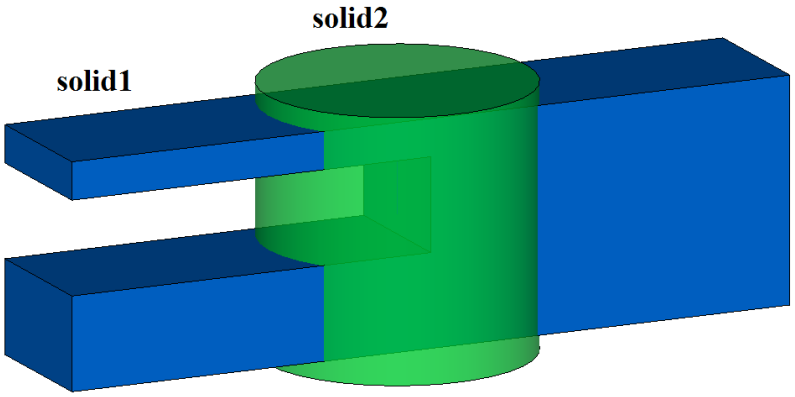


Рис. М.2.19.1.

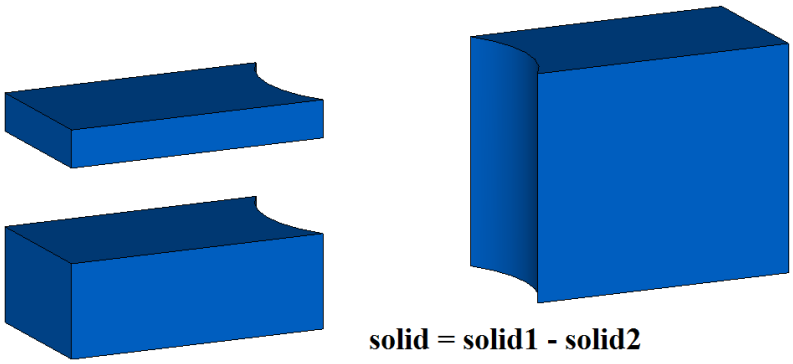


Рис. М.2.19.2.

Если флаг сортировки sort==true, то в исходном теле останется часть с наибольшим габаритом, а отделённые части будут сортированы по убыванию габарита, рис. М.2.19.3. В противном случае в

исходном теле останется часть, топологически связанная с первой гранью, а отделённые части будут сортированы по номеру начальной грани в исходном теле.

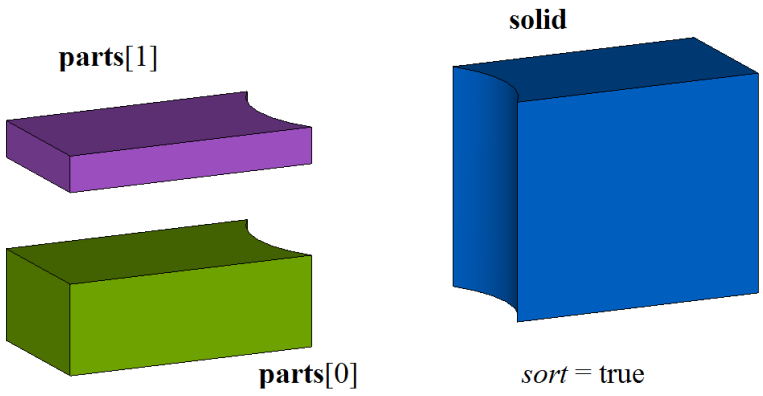


Рис. М.2.19.3.

Параметр names обеспечивает именование граней построенного тела и версионирование операции.

Метод

unsigned int

CreateParts (const MbSolid & **solid**,
RPArray<MbSolid> & **parts**,
const MbSNameMaker & names)

выполняет те же действия, что и рассмотренный выше метод, с той разницей, что он не меняет исходное тело **solid**, а все топологически не связанные части исходного тела добавляет в тела **parts**, рис. М.2.19.4.

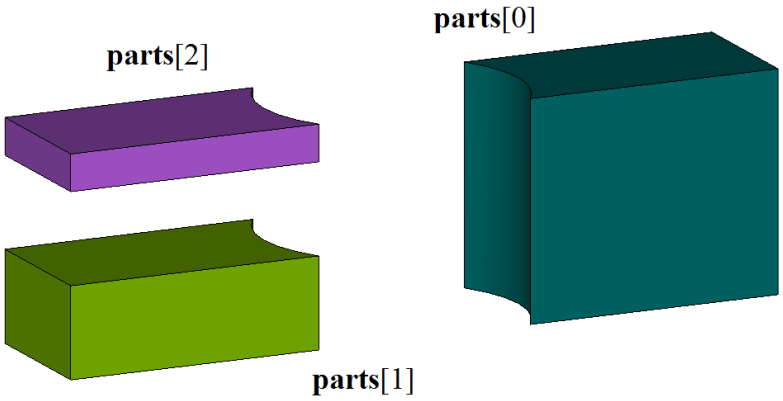


Рис. М.2.19.4.

Тела **parts** будут построены на тех же гранях, что и исходное тело **solid**.

Методы **DetachParts** и **CreateParts** добавляют в журнал построенного тела строители MbDetachSolid, которые содержат все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbDetachSolid объявлен в файле cr_detach_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет булеву операцию тела с множеством тел командой меню «Модифицировать->Тело или оболочку->Разделить части».

М.2.20. Отделение несвязанной части тела

Метод

MbResultType

ShellPart (const MbSolid & **solid**,

size_t *id*,
const MbPath & path,
const MbSNameMaker & names,
MbPartSolidIndices & partIndices,
MbSolid * & **result**)

выделяет в отдельное тело указанную часть распадающегося на части исходного тела.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *id* – номер выбранной части исходного тела,
- path – идентификатор выбранной части исходного тела в модели,
- names – именователь граней.
- partIndices – индексы частей тела.

Выходными параметрами метода являются построенное тело **result** и индексы частей тела partIndices.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Метод создает тело из указанной части исходного тела. Исходное тело должно состоять из отдельных частей. На рис. М.2.20.1 приведен результат булевой операции вычитания тел, показанных на М.2.19.1, который состоит из нескольких топологически не связанных частей. Рассматриваемый метод позволяет создать тело, сохраняющее только одну часть из нескольких топологически не связанных частей исходного тела.

Параметр *id* указывает номер части исходного тела **solid**. Параметр path содержит путь к части тела. В простом случае путь к части тела содержит номер части исходного тела *id*.

На рис. М.2.20.1 приведено исходное тело, состоящее из нескольких топологически не связанных частей.

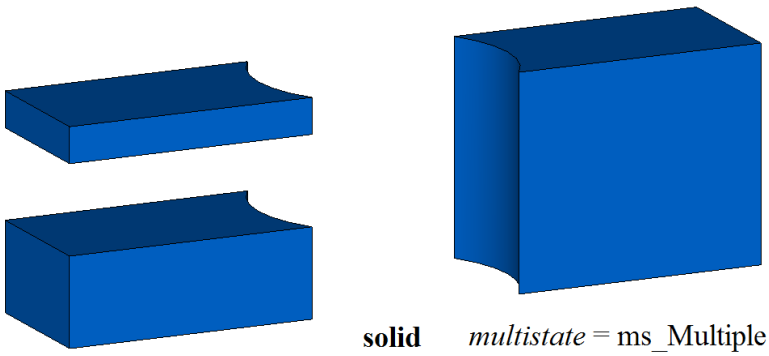


Рис. М.2.20.1.

На рис. М.2.20.2 приведено построенное тело, состоящее из одной выбранной части исходного тела.

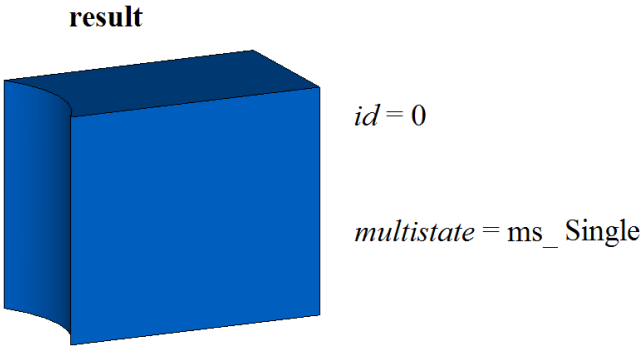


Рис. М.2.20.2.

Тело **result** будет построено на тех же гранях, что и исходное тело **solid**.

Метод **ShellPart** добавляет в журнал построенного тела строитель MbDetachSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbDetachSolid объявлен в файле cr_detach_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет булеву операцию тела с множеством тел командой меню «Создать->Тело->На базе тела ->Часть набора тел».

M.2.21. Разбиение граней тела

Метод
MbResultType
SplitSolid (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const RPArray<MbSpaceItem> & **items**,
bool *same*,
RPArray<MbFace> & **faces**,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет разбиение указанных граней тела пространственными кривыми, поверхностями и оболочками.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **items** – пространственные элементы разбиения граней,
- *same* – использовать оригинальные пространственные элементы (*true*) или их копии (*false*),
- **faces** – множество разбиваемых граней,
- names – именователь построенных граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType. Метод объявлен в файле action_solid.h.

Метод разбивает указанные грани **faces** исходного тела **solid** пространственными объектами **items**, если указанные грани пересекаются с объектами **items**. Объектами **items** могут служить или кривые, или поверхности, или тело. Для выполнения операции режущие объекты должны полностью пересекать указанные грани исходного тела. Параметр *sameShell* управляет передачей граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** построенному телу **result**. Параметр *same* управляет копированием режущих объектов. Параметр names обеспечивает именование граней построенного тела.

Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе O.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell. На рис. M.2.21.1 показаны исходное тело **solid**, разрезаемые грани **faces** и режущая поверхность **items**[0].

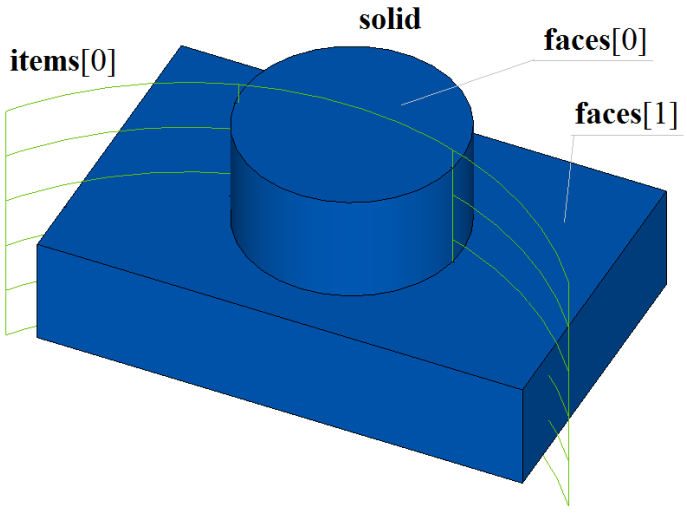


Рис. M.2.21.1.

На рис. М.2.21.2 приведено построенное тело **result** с разбитыми на части указанными гранями. Новые ребра на запрос **IsSplit** возвращают true. На рис. М.2.21.3 разбитые грани построенного тела раскрашены в разные цвета.

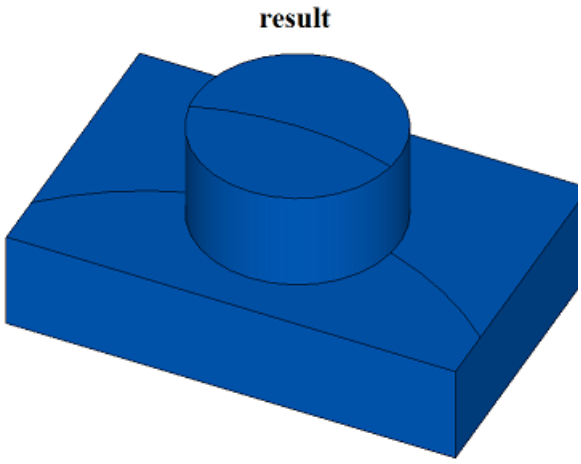


Рис. М.2.21.2.

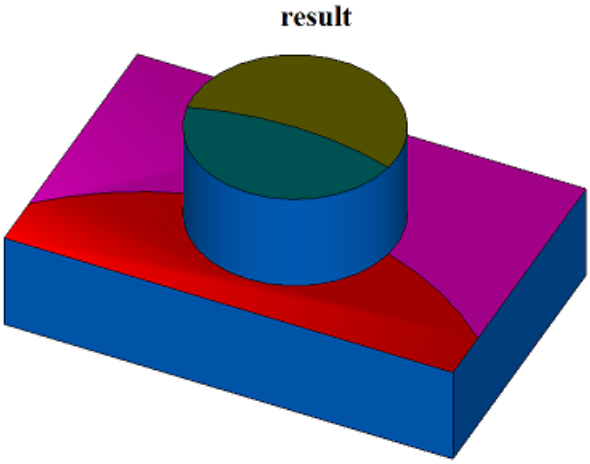


Рис. М.2.21.3.

Метод
MbResultType
SplitSolid (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const MbPlacement3D & **place**,
MbeSenseValue *type*,
const RPArray<MbContour> & **contours**,
bool *same*,
RPArray<MbFace> & **faces**,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет те же действия, что и выше рассмотренный метод с той разницей, что вместо разбивающих объектов **items** разбиение граней тела **solid** выполняют поверхности, построенные выдавливанием двумерных контуров **contours**, расположенных в плоскости XY локальной системы координат **place**. Выдавливание контуров выполняется в направлении оси **place.axisZ** локальной системы координат контуров на длину, обеспечивающую полное пересечение исходного тела.

Методы **SplitSolid** добавляют в журнал построенного тела строитель MbSplitShell, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbSplitShell объявлен в файле cr_split_shell.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет разбиение указанных граней тела командой меню «Создать->Тело->Обработкой граней->Разбивкой грани».

М.2.22. Построение отверстия, кармана или паза в теле

Метод
MbResultType
HoleSolid (MbSolid * **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const MbPlacement3D & **place**,
const HoleValues & *parameters*,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение отверстия, кармана или фигурного паза в теле.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело (может быть ноль),
- *sameShell* – вариант копирования тела,
- **place** – локальная система координат, позиционирующая режущий инструмент,
- *parameters* – параметры построения,
- names – именователь граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Метод строит вспомогательное тело в форме удаляемого объема для отверстия, кармана или паза. Если исходное тело **solid** задано, метод возвращает разность исходного тела и вспомогательного тела. Если исходное тело не задано (**solid**==0), то метод возвращает вспомогательное тело. Для выполнения операции вспомогательное тело должно пересекать исходное тело. Параметр *parameters* задает форму отверстия, кармана или паза. Параметр *sameShell* управляет передачей граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** построенному телу **result**. Параметр names обеспечивает именование граней построенного тела.

Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell

Построения выполняются в локальной системе координат **place** с учетом углов поворота *parameters.placeAngle* и *parameters.azimuthAngle*. Параметр *parameters.placeAngle* определяет угол поворота локальной системы координат **place** относительно оси **place.axisY**. Параметр *parameters.azimuthAngle* определяет угол поворота локальной системы координат **place** относительно оси **place.axisZ**. Поверхность *parameters*.**surface** в может быть не задана. Если *parameters*.**surface** не равна нулю, то она служит для правильной обработки входа в отверстие, карман или паз.

На рис. М.2.22.1 приведены данные, используемые при построении, и схема наследования параметров построения от абстрактного класса HoleValues.

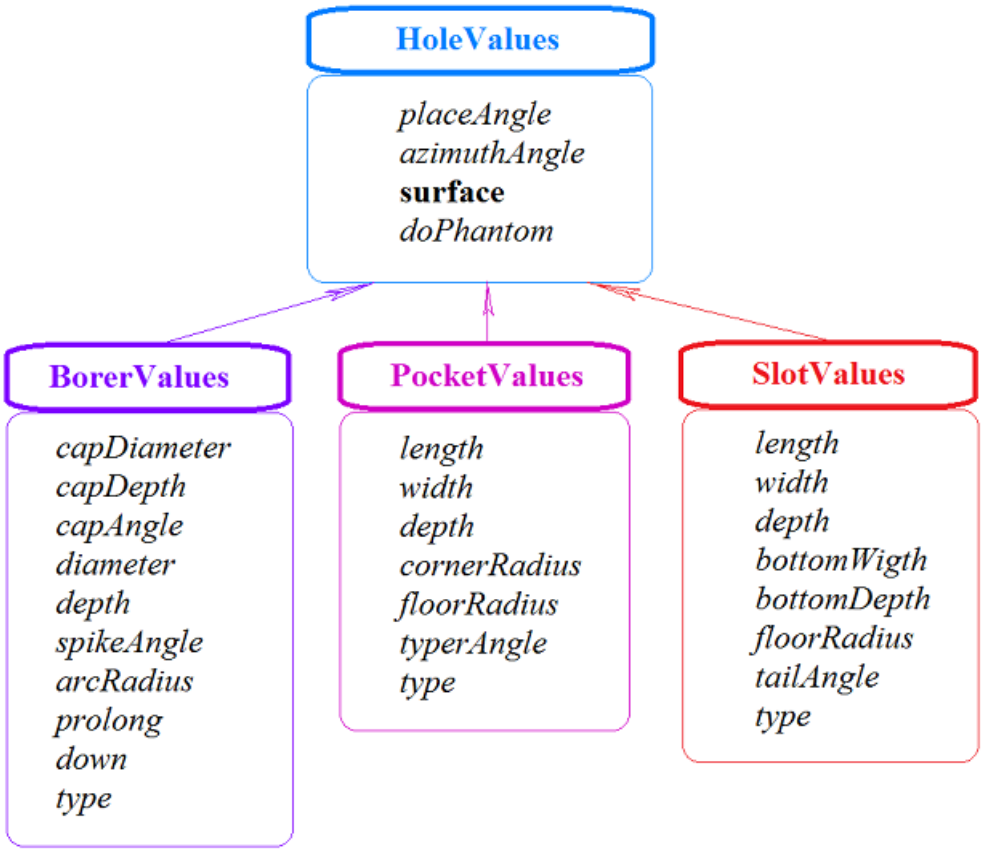
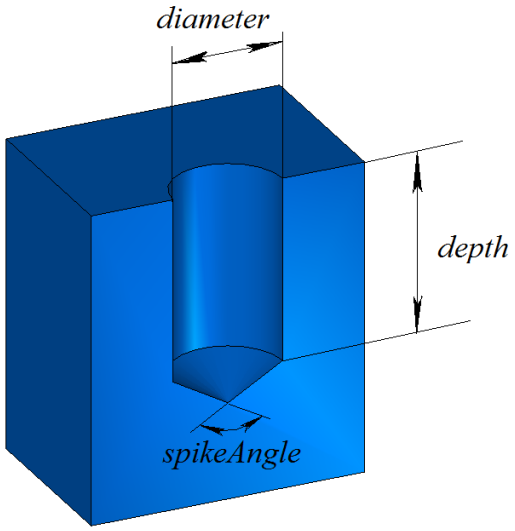


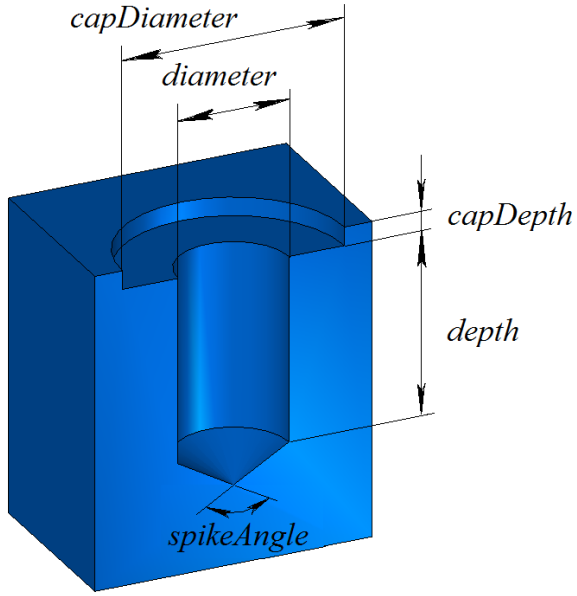
Рис. М.2.22.1.

Для построения отверстия следует использовать параметры BorerValues. Поддерживаются шесть типов отверстий, которые определяются параметром BorerValues::*type*, принимающим значения: bt_SImpleCylinder, bt_TwofoldCylinder, bt_ChamferCylinder, bt_ComplexCylinder, bt_SImpleCone, bt_ArcCylinder. На рис. М.2.22.2, М.2.22.3, М.2.22.4, М.2.22.5, М.2.22.6, М.2.22.7 приведены тела с отверстиями различной формы.



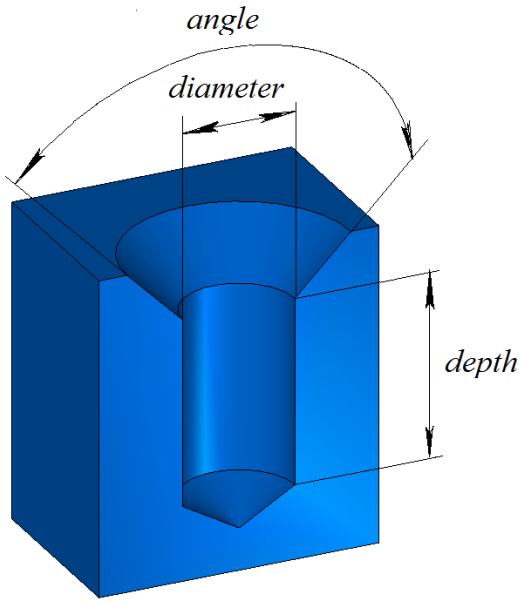
BorerValues::*type* = bt_SimpleCylinder

Рис. М.2.22.2.



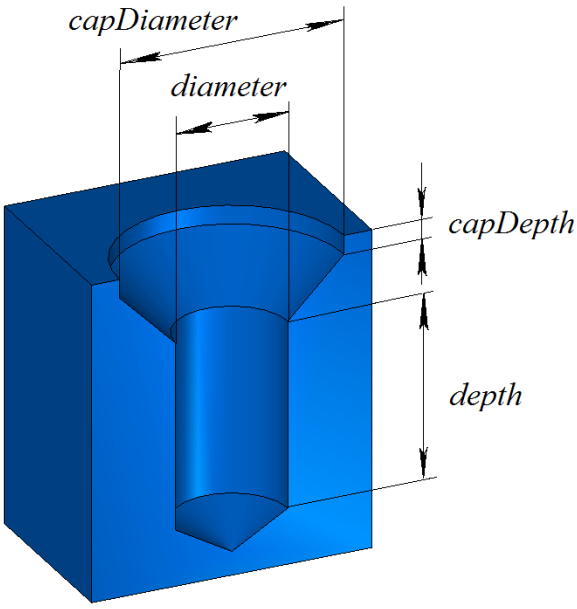
BorerValues::*type* = bt_TwofoldCylinder

Рис. М.2.22.3.



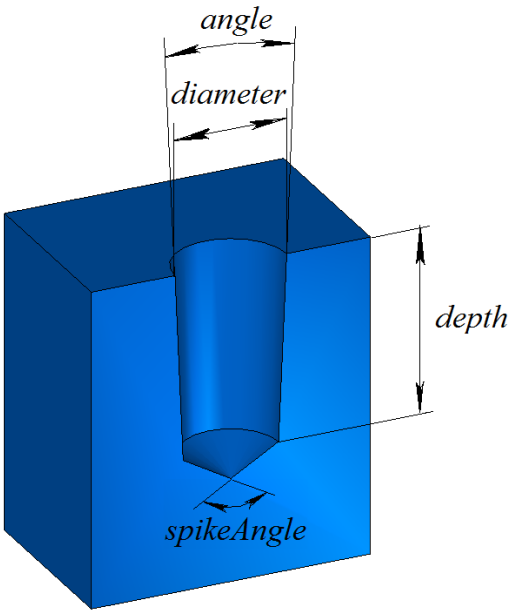
BorerValues::*type* = bt_ChamferCylinder

Рис. М.2.22.4.



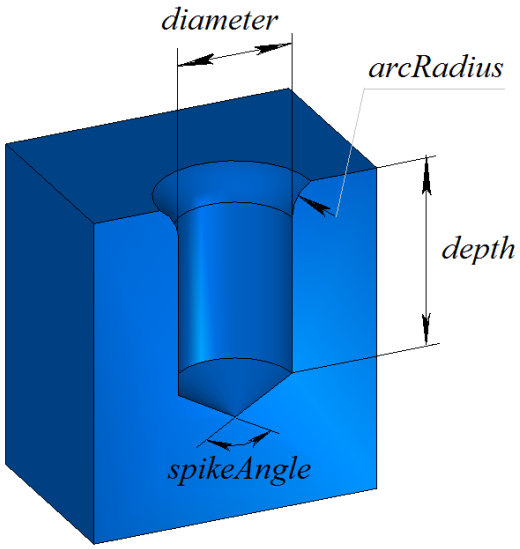
BorerValues::*type* = bt_ComplexCylinder

Рис. М.2.22.5.



BorerValues::*type* = bt_SimpleCone

Рис. М.2.22.6.



BorerValues::*type* = bt_ArcCylinder

Рис. М.2.22.7.

Для построения кармана или бобышки следует использовать параметры PocketValues. При PocketValues::*type*=false по заданным параметрам *parameters* строится карман, при PocketValues::*type*=true по заданным параметрам *parameters* строится бобышка. На рис. М.2.22.8 приведено тело с карманом прямоугольной формы без уклона боковых граней.

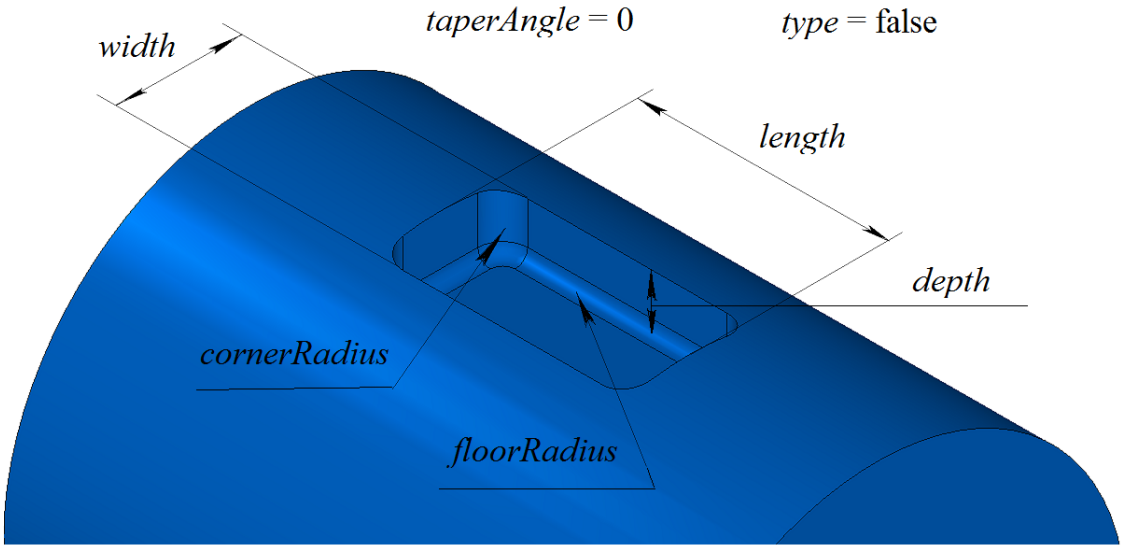


Рис. М.2.22.8.

Для построения паза следует использовать параметры SlotValues. Поддерживаются xtnsht типа пазов, которые определяются параметром SlotValues::*type*, принимающим значения: st_BallEnd, st_Rectangular, st_TShaped, st_DoveTail.

Метод **HoleSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbHoleSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbHoleSolid объявлен в файле cr_hole_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет разбиение указанных граней тела командой меню «Создать->Тело->На базе тела->С отверстием».

М.2.23. Построение тела с ребром жёсткости

Метод
MbResultType
RibSolid (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode sameShell,
const MbPlacement3D & **place**,
const MbContour & **contour**,
size_t *index*,
RibValues & *params*,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение тела с ребром жёсткости.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **place** – локальная система координат, плоскость XY которой является плоскостью симметрии,
- **contour** – формообразующий контур на плоскости XY локальной системы координат,
- *index* – номер сегмента в контуре,
- *params* – параметры ребра жёсткости,
- names – именователь граней ребра жесткости.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Метод строит ребро жёсткости по заданному контуру **contour** и объединяет его с исходным телом **solid**. Сегмент контура с указанным номером устанавливает вектор уклона.

Параметр *params* задает данные для построения, см. рис. М.2.23.1.

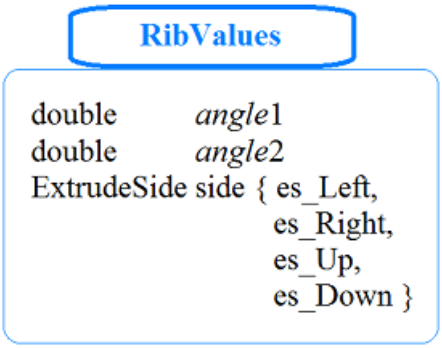


Рис. М.2.23.1.

Структура RibValues определена в файле swept_parameter.h.

Параметр *sameShell* управляет передачей граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** построенному телу **result**. Параметр names обеспечивает именование граней построенного тела.

Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell.

На рис. М.2.23.2 показаны исходное тело **solid**, локальная система координат **place**, в плоскости XY которой расположен контур **contour**.

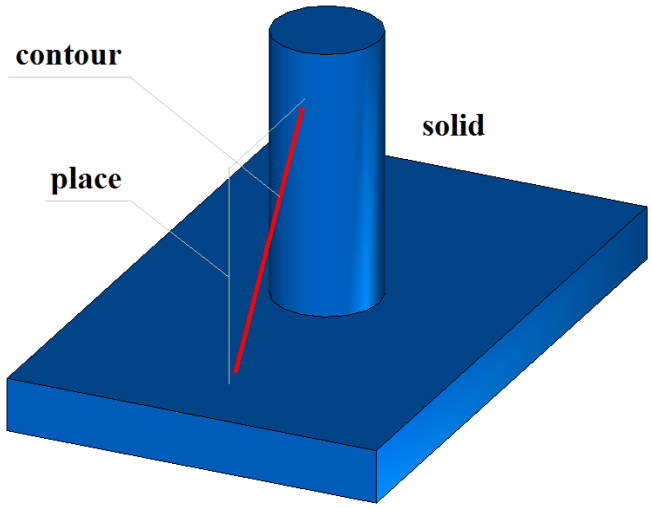


Рис. М.2.23.2.

На рис. М.2.23.3 приведен результат построения ребра жесткости без уклона боковых граней ребра жесткости.

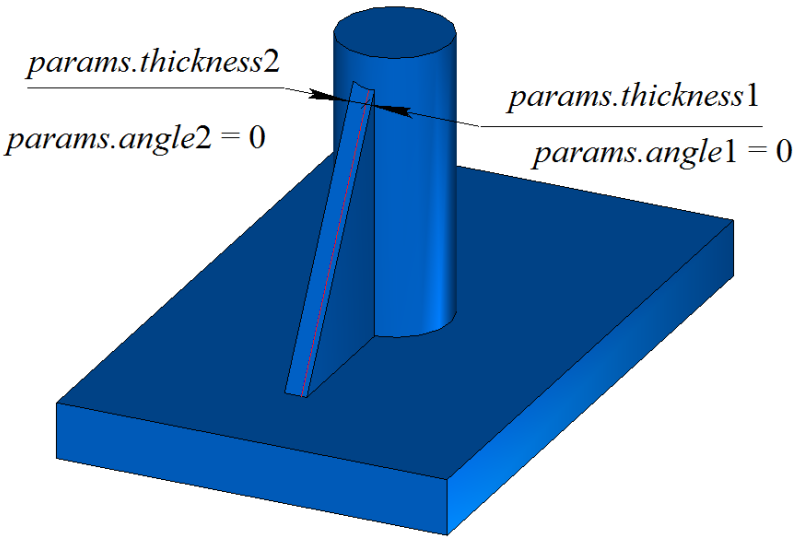


Рис. М.2.23.3.

На рис. М.2.23.4 приведен результат построения ребра жесткости с уклоном боковых граней ребра жесткости.

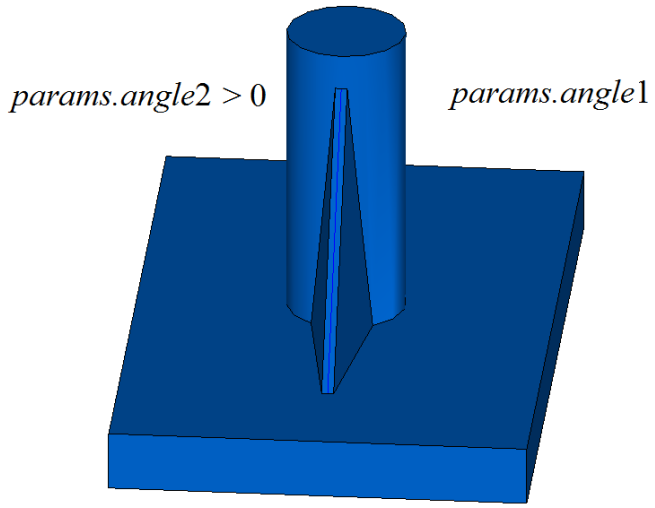


Рис. М.2.23.4.

Метод **RibSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbRibSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbRibSolid объявлен в файле cr_rib_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет разбиение указанных граней тела командой меню «Создать->Тело->На базе тела->С ребром жесткости».

М.2.24. Уклонение граней тела

Метод
MbResultType
DraftSolid (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const MbPlacement3D & **place**,
double *angle*,
const RPArray<MbFace> & **faces**,
MbeFacePropagation *propagation*,
bool *reverse*,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение тела с уклонением указанных граней тела от нейтральной изоплоскости на заданный угол.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **place** – нейтральная плоскость,
- *angle* – угол уклона,
- **faces** – множество уклоняемых граней,
- *propagation* – признак захвата граней, гладко стыкующихся с уклоняемыми гранями,
- *reverse* – флаг обратного направления уклона,
- names – именователь построенных граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Метод строит тело, грани которого уклонены относительно их положения в исходном теле **solid**. Параметр *params* задает параметры построения. Параметр *sameShell* управляет передачей граней,

ребер и вершин от исходного тела **solid** построенному телу **result**. Плоскость XY локальной системы координат **place** определяет плоскость, относительно которой уклоняются грани тела. Параметр *angle* задает угол уклона. Множество **faces** содержит уклоняемые грани. Параметр *propagation* управляет добавлением к множеству уклоняемых граней **faces** других граней тела, гладко стыкующихся с уклоняемыми гранями. Параметр *reverse* управляет направлением уклона. Параметр names обеспечивает именование граней построенного тела.

Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell.

На рис. М.2.24.1 показаны исходное тело **solid**, локальная система координат **place**, относительно плоскости XY которой выполняется уклон граней, и уклоняемые грани **faces**.

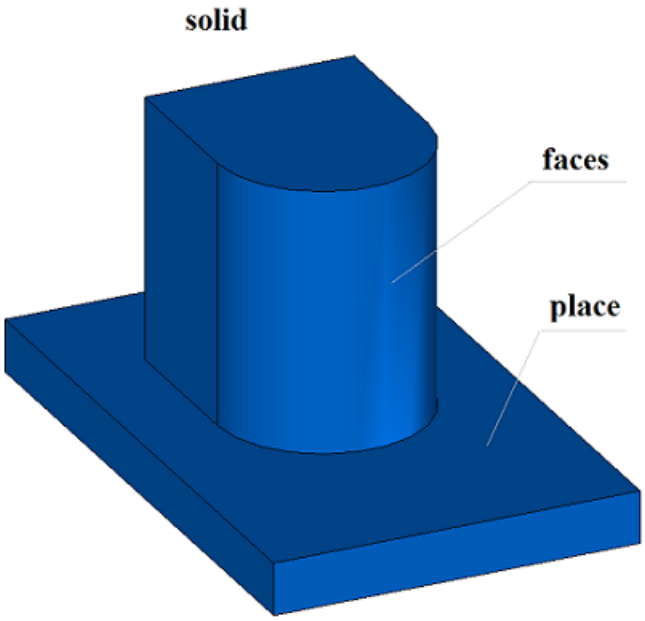


Рис. М.2.24.1.

На рис. М.2.24.2 приведен результат построения тела с уклоном указанных граней.

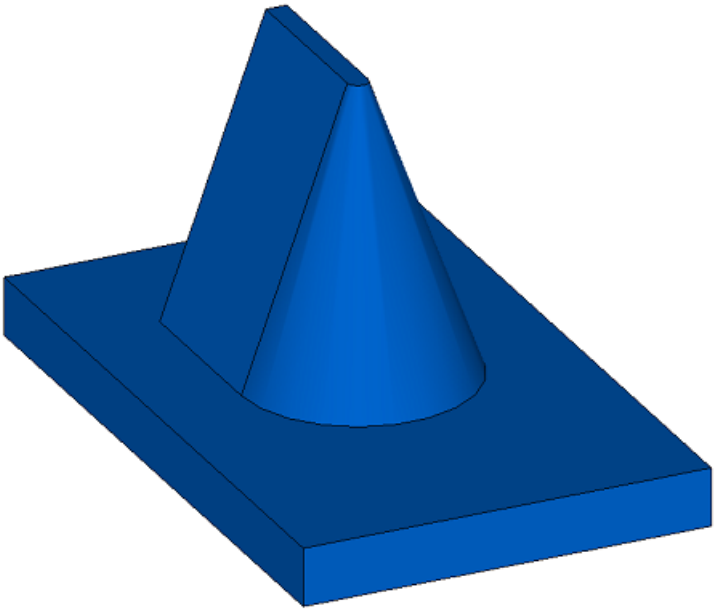


Рис. М.2.24.2.

Метод **DraftSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbDraftSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbDraftSolid объявлен в файле cr_draft_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет разбиение указанных граней тела командой меню «Создать->Тело->Обработкой граней->Уклонением граней».

М.2.25. Размножение тела

Метод
MbResultType
DuplicationSolid (const MbSolid & **solid**,
const DuplicationValues & *parameters*,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение копий исходного тела, трансформацию их по указанному закону и объединение в одно тело.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *parameters* – параметры построения,
- names – именователь граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_solid.h.

Параметр names обеспечивает именование граней построенного тела. Параметр *parameters* задает параметры построения. На рис. М.2.25.1 приведены данные, используемые при построении, и схема наследования параметров построения от абстрактного класса DuplicationValues.

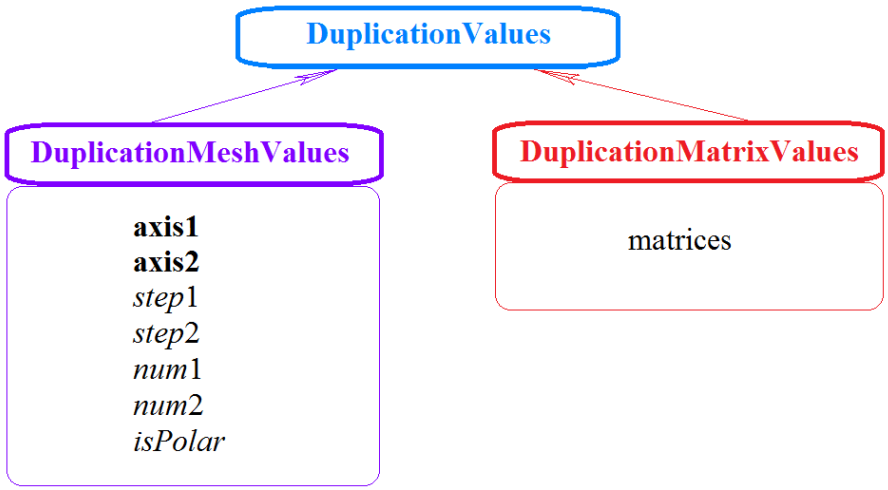


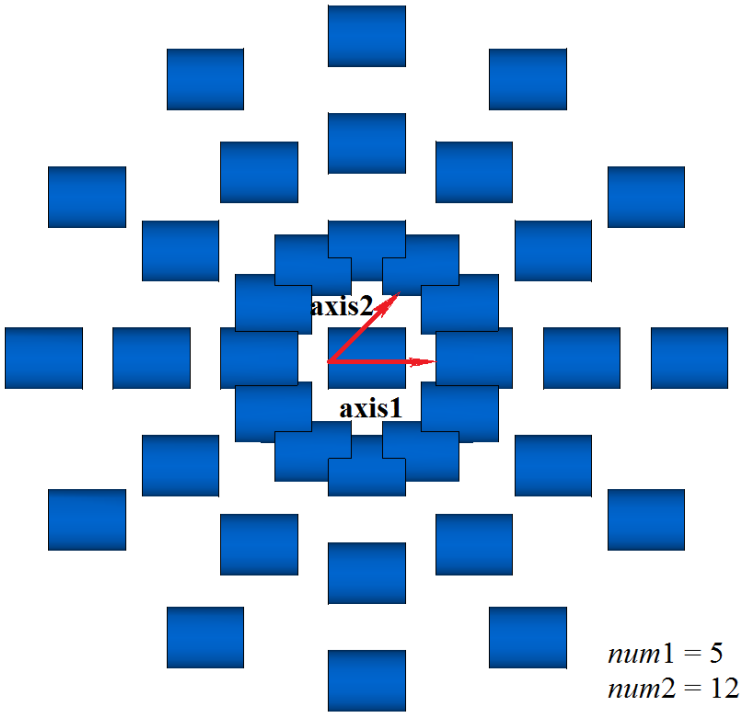
Рис. М.2.25.1.

Для размножения тела, копии которого располагаются по двумерной сетке, следует использовать параметры DuplicationMeshValues. Поддерживаются два типа размножения: по двум направлениям и по полярной сетке. Параметр *parameters.isPolar* определяет тип сетки. Если *parameters.isPolar*=false, то исходное тело и построенные копии располагаются в узлах двумерной сетки с осями *parameters.***axis1** и *parameters.***axis2**. Началом отсчета служит исходное тело. Вдоль оси *parameters.***axis1** располагаются *parameters.num*1 копий тела с шагом *parameters.step*1, вдоль оси *parameters.***axis2** располагаются *parameters.num*2 копий тела с шагом *parameters.step*2, включая исходное тело. Если *parameters.isPolar*=true, построенные копии располагаются в узлах полярной сетки. Началом отсчета служит исходное тело. Радиальное направление сетки определяется вектором *parameters.***axis1**, а ось вращения определяется векторным произведением *parameters.***axis1** и

parameters.**axis2**. Вдоль радиальных направлений располагаются *parameters.num*1 копий тела с шагом *parameters.step*1, на каждой окружности располагаются *parameters.num*2 копий тела с угловым шагом *parameters.step*2.

Для размножения тела, копии которого трансформированы по набору матриц, следует использовать параметры DuplicationMatrixValues. Множество матриц трансформации определено параметром *parameters*.matrices.

Если после построения копии или исходное тело пересекаются друг с другом, то выполняется булева операция объединения пересекшихся тел. На рис. М.2.25.2 приведен результат построения размноженного по полярной сетки тела.



DuplicationMeshValues::*isPolar* = true

Рис. М.2.25.2.

Метод **DuplicationSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbDuplicationSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbDuplicationSolid объявлен в файле cr_duplication_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет разбиение указанных граней тела командами меню «Создать->Тело->На базе тела->Размножением по сетке» и «Создать->Тело->На базе тела->Размножением матрицами».

М.2.26. Разделение оболочки на части по заданному набору ребер

Метод

```
MbResultType DivideShell( MbSolid             & solid,
                          MbeCopyMode           sameShell,
                    const MbDivideShellParams & params,
                          c3d::SolidSPtr      & resSolid );
```

выполняет разделение оболочки, которая находится в solid, по заданным в параметрах набору ребер.
Входными параметрами являются:

- **solid** – исходное тело;
- **sameShell** – вариант копирования исходного тела;
- **params** – объект, содержащий параметры операции.

Выходными параметрами являются:

- **resSolid** – тело, содержащее результат работы функции.

Метод возвращает код результата операции.

Класс `MbDivideShellParams` содержит входные данные для выполнения операции разделения оболочки. При создании объекта класса `MbDivideShellParams`, его можно сразу инициализировать вектором ребер, по которым будет производиться разделение.

Конструктор класса `MbDivideShellParams`

```
MbDivideShellParams( const c3d::EdgesSPtrVector & edges,
                     const MbSNameMaker         & operNames );
```

где,

- **edges -** вектор ребер, по которым будет производится разделение;
- **operNames** – именователь

В результате успешной работы функции в входное тело **solid** будет разделено и все полученные незамкнутые тела будут помещены в оболочку возвращаемого тела **resSolid**.

М.2.27. Разделение тела на отдельные части

Метод

```
size_t CreateParts( const MbSolid &          solid,
                          RPArray<MbSolid> & parts,
                    const MbSNameMaker &     names );
```

выполняет разделение исходного тела на отдельные части, если в теле содержатся топологически несвязанные элементы.

Входными параметрами являются:

- **solid** – исходное тело;
- **names** – именователь;

Выходными параметрами являются:

- **parts** – части тела.

Метод возвращает количество созданных частей.

М.3. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ДВУМЕРНЫХ КРИВЫХ

Двумерные кривые используются для описания области определения поверхностей, для работы с кривыми на поверхностях, для построения кривых пересечения поверхностей, для построения поверхностей сопряжения. При построении твердых тел двумерные кривые применяются в качестве входных параметров в виде элементов эскизов. Кроме того, двумерные кривые служат элементами плоских проекций геометрических моделей. Все двумерные кривые являются наследниками класса MbCurve и представлены в главе О.3. КРИВЫЕ ДВУМЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА. Кривые могут быть построены непосредственным вызовом соответствующих конструкторов или методами, приведёнными в данном параграфе.

М.3.1. Построение двумерной прямой линии и отрезка

Метод
MbResultType
Line (const MbCartPoint & ***point***1,
const MbCartPoint & ***point***2,
MbCurve *& ***result***)
выполняет построение двумерной прямой по двум несовпадающим точкам.

Входными параметрами метода являются:

- ***point***1 – первая точка, по которой проходит прямая,
- ***point***2 – вторая точка, по которой проходит прямая.

Выходным параметром метода является построенная кривая ***result***.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType. Метод объявлен в файле action_ curve.h.

Параметр ***point***1 определяет начальную точку прямой, соответствующую нулевому параметру прямой. Вектор, начинающийся в точке ***point***1 и оканчивающийся в точке ***point***2, определяет направление прямой, рис. М.3.1.1. Производная прямой линии имеет единичную длину.

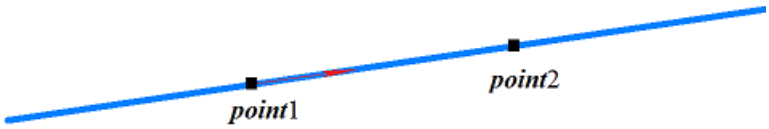


Рис. М.3.1.1.

Прямая линия описана в параграфе .3.2. Двумерная прямая MbLine.

Метод
MbResultType
Segment (const MbCartPoint & ***point***1,
const MbCartPoint& ***point***2,
MbCurve*& ***result***)
выполняет построение двумерного отрезка прямой по двум несовпадающим точкам.

Входными параметрами метода являются:

- ***point***1 – начальная точка отрезка,
- ***point***2 – конечная точка отрезка.

Выходным параметром метода является построенная кривая ***result***.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType. Метод объявлен в файле action_ curve.h.

Параметр ***point***1 определяет начальную точку отрезка прямой, соответствующую нулевому параметру кривой. Параметр ***point***2 определяет конечную точку отрезка прямой, соответствующую параметру кривой, равному единице, рис. М.3.1.2.

Рис. М.3.1.2.

Отрезок прямой описан в параграфе О.3.3. Двумерный отрезок прямой MbLineSegment.

М.3.2. Построение двумерной окружности, эллипса и их дуг

Метод
MbResultType
Arc (const MbCartPoint & ***centre***,
const SArray<MbCartPoint> & ***points***,
bool *closed*,
double *angle*,
double & *a*,
double & *b*,
MbCurve *& ***result***)
выполняет построение двумерной дуги эллипса, в частном случае метод выполняет построение двумерной дуги окружности.
Входными параметрами метода являются:

- ***centre*** – центр эллипса,
- ***points*** – множество точек, которое может быть пустым,
- *closed* – флаг циклической замкнутости кривой,
- *angle* – угол, определяющий размер дуги эллипса,
- *a* – длина первой полуоси эллипса (при непустом множестве ***points*** вычисляется),
- *b* – длина второй полуоси эллипса (при непустом множестве ***points*** вычисляется).

Выходными параметрами метода являются длины полуосей эллипса и построенная кривая **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType. Метод объявлен в файле action_ curve.h.

Кривая может быть построена как по заданным точкам, так и по скалярным параметрам. Параметр ***centre*** определяет центральную точку эллипса. Множество точек ***points*** может быть пустым, в этом случае должны быть ненулевыми длины полуосей эллипса *a* и *b*.

Если множество точек ***points*** содержит два элемента, то точки ***centre***, ***points***[0], ***points***[1] определяют плоскость расположения осей ***axisX*** и ***axisY*** локальной системы координат эллипса: ось ***axisX*** локальной системы координат эллипса направлена из центра в точку ***points***[0], ось ***axisY*** локальной системы координат эллипса ортогональна оси ***axisX*** и направлена из центра в сторону точки ***points***[1]. Расстояние между точками ***centre*** и ***points***[0] определяет длину первой полуоси эллипса *a*, а расстояние между точкой ***centre*** и проекцией точки ***points***[1] на ось ***axisY*** определяет длину второй полуоси эллипса *b*, рис. М.3.2.1.

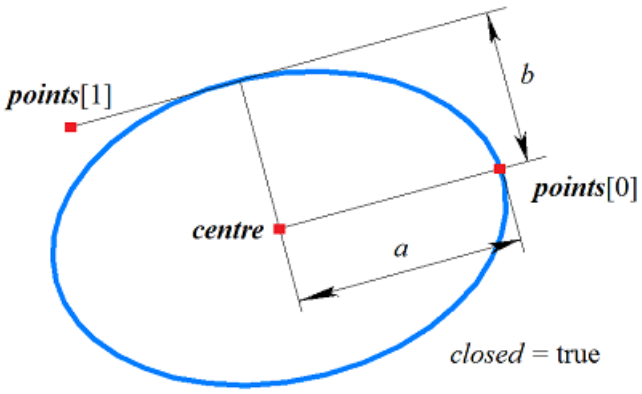


Рис. М.3.2.1.

Если множество точек ***points*** содержит один элемент, то будет построена окружность радиусом, равным расстоянию между точками ***centre*** и ***points***[0]. Ось ***axisX*** локальной системы координат окружности будет направлена из центра в точку ***points***[0], а ось ***axisY*** локальной системы координат будет ортогональна оси ***axisX***.

Если множество точек ***points*** содержит три элемента, то будет построен эллипс с центром в точке ***centre***, проходящий через точки ***points***[0], ***points***[1] и ***points***[2]. Положение осей локальной системы координат эллипса и длины полуосей эллипса будут вычислены по точкам ***centre***, ***points***[0], ***points***[1] и ***points***[2] , рис. М.3.2.2.

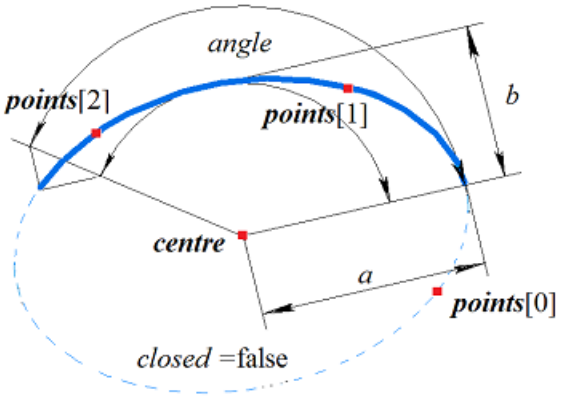


Рис. М.3.2.2.

Дуга эллипса описана в параграфе О.3.4. Двумерная дуга эллипса MbArc.

Если множество точек ***points*** пусто, то длины полуосей эллипса *a* и *b* являются входными параметрами, а оси ***axisX*** и ***axisY*** локальной системы координат эллипса совпадают с глобальными осями координат.

Параметр *closed* определяет циклическую замкнутость кривой. Если *closed*=false, то должен быть ненулевым параметр *angle*, который определяет угол раствора дуги эллипса в параметрических единицах.

В частном случае, когда *a*=*b*, рассматриваемый метод выполняет построение окружности (*closed*=true или *angle*=0) или дуги окружности (*closed*= false и *angle*>0 и *angle*<2π).

М.3.3. Построение двумерных кривых по контрольным точкам

Метод
MbResultType
SplineCurve (const SArray<MbCartPoint> & ***points***,
bool *closed*,
MbePlaneType *curveType*,
MbCurve *& ***result***)
выполняет построение двумерной кривой заданного типа по указанному множеству контрольных точек.

Входными параметрами метода являются:

- ***points*** – множество контрольных точек,
- *closed* – флаг циклической замкнутости кривой,
- *curveType* – тип кривой.

Выходным параметром метода является построенная кривая ***result***.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve.h.

Параметр ***points*** содержит контрольные точки кривой. Параметр *closed* определяет циклическую замкнутость построенной кривой. Параметры *curveType* определяют тип кривой, от которого зависит

форма кривой. Для разных типов создаваемой кривой требуется разное количество контрольных точек. В табл. М.3.3.1 приведено количество контрольных точек множества ***points***, необходимое для создания кривой типа *curveType*.

Таблица М.3.3.1.

curveType	**Тип кривой**	**Количество контрольных точек**
pt_LineSegment	отрезок прямой	2 точки
pt_Arc	дуга окружности	3 точки
pt_Polyline	ломаная	2 и более точек
pt_Nurbs	NURBS кривая	2 и более точек
pt_Hermit	сплайн Эрмита	2 и более точек
pt_Bezier	кривая Безье	2 и более точек
pt_CubicSpline	кубический сплайн	2 и более точек

Для типа *curveType*=pt_LineSegment будет построен отрезок прямой, начинающийся в точке ***points***[0] и оканчивающийся в точке ***points***[1]. Отрезок прямой описан в параграфе О.3.3. Двумерный отрезок прямой MbLineSegment.

Для типа *curveType*=pt_Arc при *closed*=false будет построена дуга окружности, начинающаяся в точке ***points***[0], проходящая через точку ***points***[1] и оканчивающаяся в точке ***points***[2], рис. М.3.3.1. При *closed*=true будет построена окружность, проходящая через точки ***points***[0], ***points***[1], ***points***[2]. Дуга окружности и эллипса описана в параграфе О.3.4. Двумерная дуга эллипса MbArc.

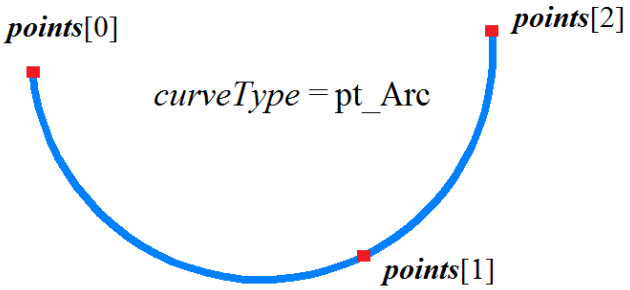


Рис. М.3.3.1.

Для типа *curveType*=pt_Polyline будет построена ломаная, проходящая через точки ***points***[0], ***points***[1],..., ***points***[*n*], рис. М.3.3.2. При *closed*=true будет построена циклически замкнутая ломаная, содержащая участок между точками ***points***[0] и ***points***[*n*]. Ломаная линия описана в параграфе О.3.5. Двумерная ломаная линия MbPolyline.

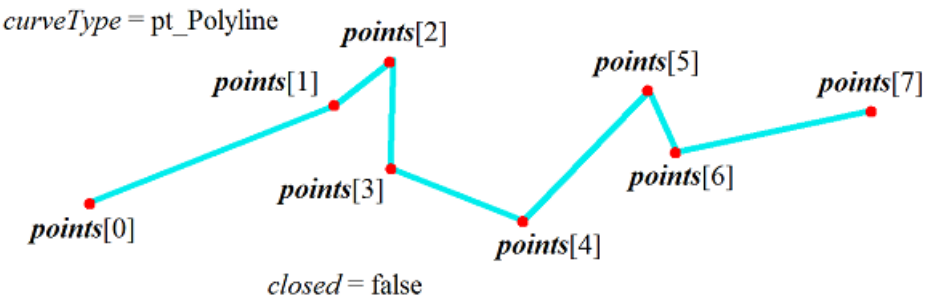


Рис. М.3.3.2.

Для типа *curveType*=pt_Nurbs будет построен неоднородный рациональный *B*-сплайн (NURBS) четвертого порядка, рис. М.3.3.3. Контрольные точки сплайна будут определены из условия прохождения сплайна через точки ***points***[0], ***points***[1],..., ***points***[*n*]. При *closed*=true будет построен циклически замкнутый сплайн. NURBS кривая описана в параграфе О.3.6. Двумерная NURBS-кривая MbNurbs.

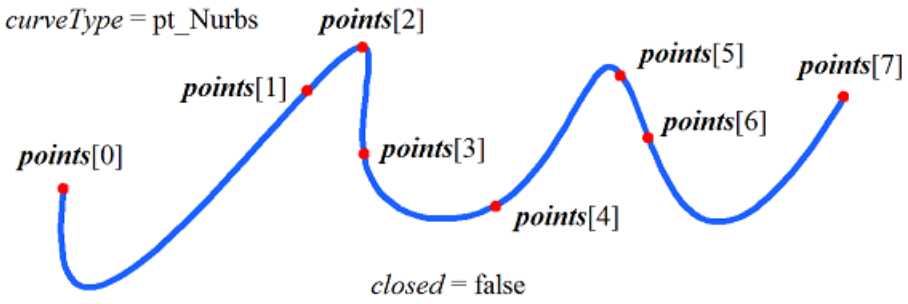


Рис. М.3.3.3.

Для типа *curveType*=pt_Hermit будет построена составная кривая, состоящая из гладко стыкующихся сплайнов Эрмита третьего порядка. Каждый из сплайнов Эрмита третьего порядка будет соединять соседние точки ***points***[*i*–1] и ***points***[*i*], рис. М.3.3.4. При *closed*=true будет построена циклически замкнутая кривая, содержащая сплайн Эрмита между точками ***points***[0] и ***points***[*n*]. Составной сплайн Эрмита третьей степени описан в параграфе О.3.7. Двумерная кривая Эрмита MbHermit.

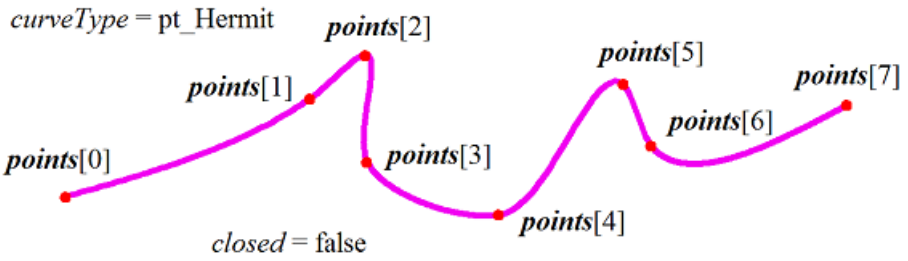


Рис. М.3.3.4.

Для типа *curveType*=pt_Bezier будет построена составная кривая, состоящая из гладко стыкующихся сплайнов Безье третьего порядка. Каждый из сплайнов Безье третьего порядка будет соединять соседние точки ***points***[*i*–1] и ***points***[*i*], рис. М.3.3.5. При *closed*=true будет построена циклически замкнутая кривая, содержащая сплайн Безье между точками ***points***[0] и ***points***[*n*]. Составная кривая Безье третьей степени описана в параграфе О.3.8. Двумерная составная кривая Безье MbBezier.

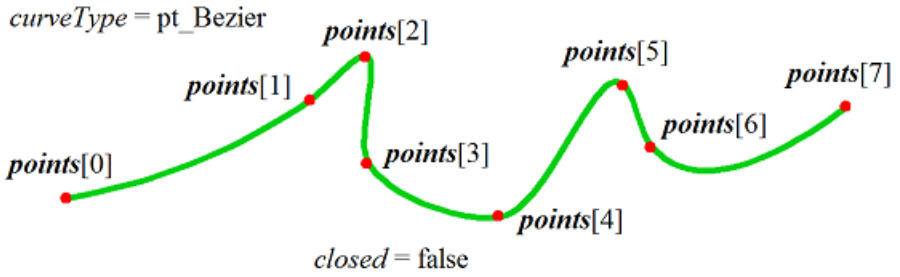


Рис. М.3.3.5.

Для типа *curveType*=pt_CubicSpline будет построен кубический сплайн, проходящий через точки ***points***[0], ***points***[1],..., ***points***[*n*], рис. М.3.3.6. При *closed*=true будет построена циклически замкнутая

кривая, содержащая участок между точками ***points***[0] и ***points***[*n*]. Кубический сплайн описан в параграфе О.3.9. Двумерная кубический сплайн MbCubicSpline.

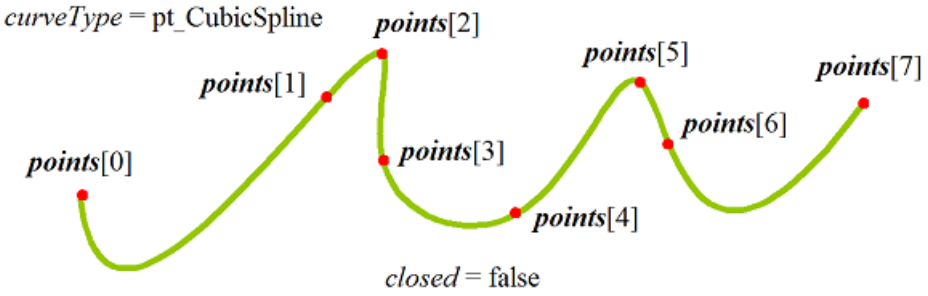


Рис. М.3.3.6.

Для сравнения на рис. М.3.3.7 приведены NURBS кривая, составной сплайн Эрмита, составная кривая Безье, кубический сплайн, построенные по одним и тем же контрольным точкам ***points***[0], ***points***[1],..., ***points***[*n*] имеющие одну и ту же степень.

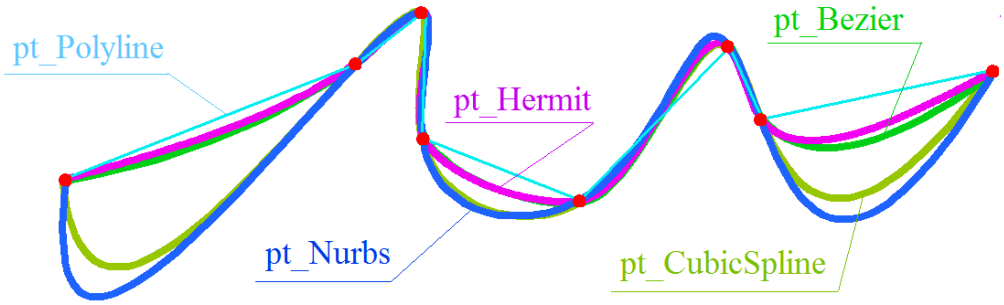


Рис. М.3.3.7.

Как можно видеть, кривые имеют различную форму.

М.3.4. Построение двумерной NURBS кривой

Метод
MbResultType
NurbsCurve (const SArray<MbCartPoint> & ***points***,
const SArray<double> & *weights*,
size_t degree,
const SArray<double> & *knots*,
bool *closed*,
MbCurve *& ***result***)
выполняет построение двумерной NURBS-кривой на заданном множестве контрольных точек.

Входными параметрами метода являются:

- ***points*** – множество контрольных точек,
- *weights* – множество весов контрольных точек,
- degree – порядок кривой (*B*-сплайнов),
- *knots* – множество параметрических узлов (узловой вектор),
- *closed* – флаг циклической замкнутости кривой.

Выходным параметром метода является построенная кривая ***result***.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve.h.

Рассматриваемый метод строит NURBS-кривую (кривую на основе *B*-сплайнов), которая описана в параграфе О.3.6. Двумерная NURBS-кривая MbNurbs. Множество весов *weights* должно быть согласовано с множеством контрольных точек points. Порядок degree кривой не должен превосходить количество контрольных точек. Параметр *closed* определяет циклическую замкнутость построенной кривой. Узловой вектор *knots* представляет собой неубывающую последовательность действительных чисел и определяет область определения параметра кривой и форму кривой. Для *closed*=false узловой вектор должен содержать число элементов, равное числу контрольных точек плюс порядок кривой. Чтобы незамкнутая NURBS-кривая проходила через крайние контрольные точки, необходимо, чтобы первые degree элементов узлового вектора *knots* были равны между собой и последние degree элементов узлового вектора *knots* были равны между собой. Для *closed*=true узловой вектор должен содержать число элементов, равное числу контрольных точек плюс удвоенный порядок кривой и минус единица. На рис. М.3.4.1 приведена замкнутая NURBS-кривая четвертого порядка.

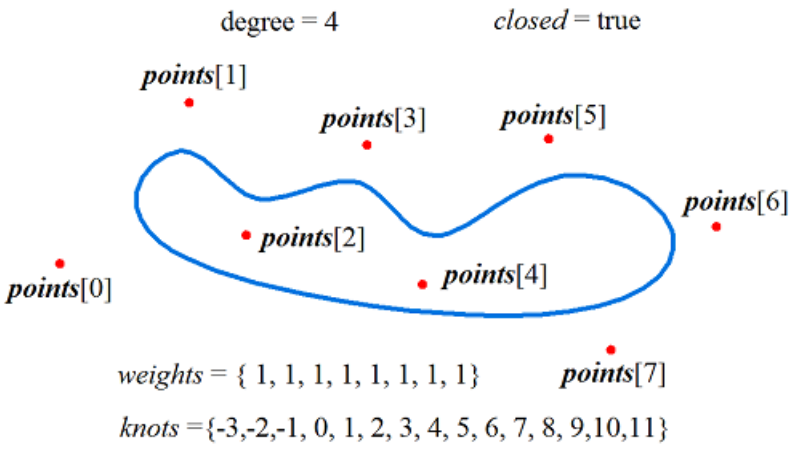


Рис. М.3.4.1.

На рис. М.3.4.2 приведена незамкнутая NURBS-кривая четвертого порядка.

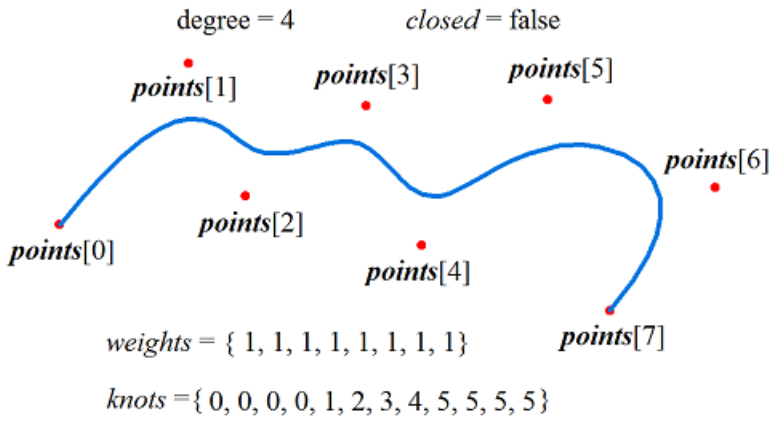


Рис. М.3.4.2.

На рис. М.3.4.3 приведены три замкнутые NURBS-кривые различного порядка, построенные по одним и тем же контрольным точкам.

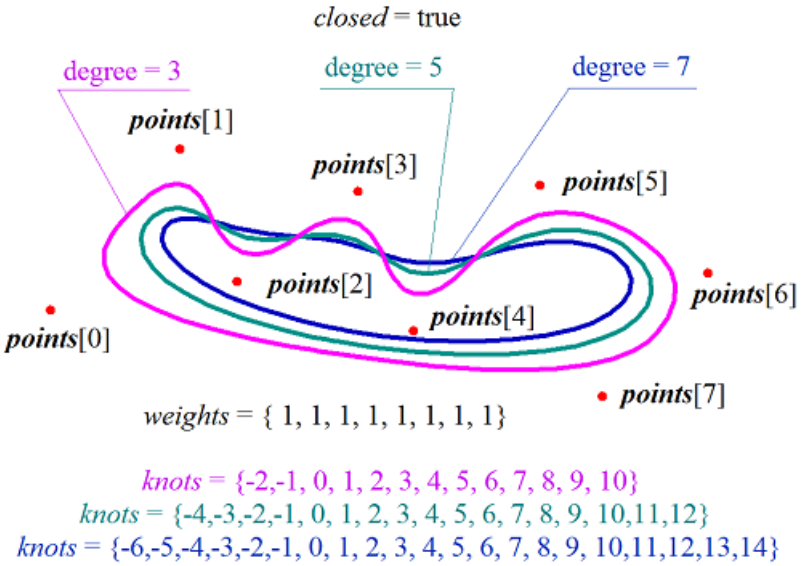


Рис. М.3.4.3.

На рис. М.3.4.4 приведены три незамкнутые NURBS-кривые различного порядка, построенные по одним и тем же контрольным точкам.

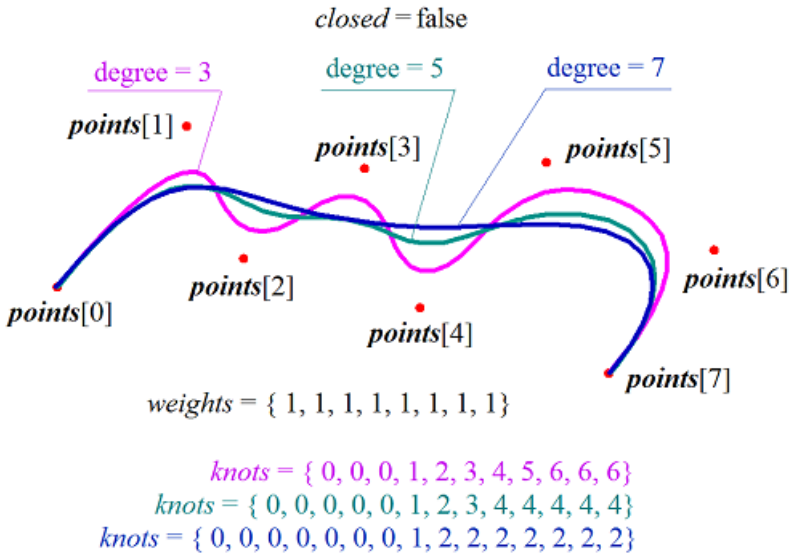


Рис. М.3.4.4.

На рис. М.3.4.5 приведены три незамкнутые NURBS-кривые четвертого порядка, имеющие различные значения весов контрольных точек.

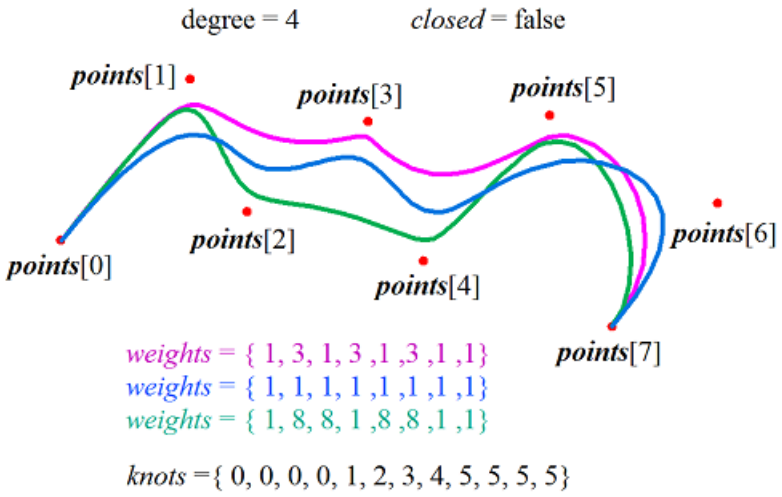


Рис. М.3.4.5.

На рис. М.3.4.6 приведена незамкнутая NURBS-кривая третьего порядка, по форме совпадающая с дугой окружности. Расстояние между контрольными точками ***points***[0] и ***points***[1] равно расстоянию между контрольными точками ***points***[1] и ***points***[2], а вес *weights*[1] средней контрольной точки кривой равен весу крайних контрольных точек, умноженному на косинус половины угла дуги.

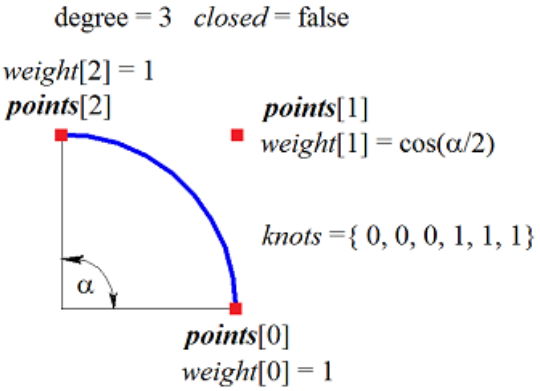


Рис. М.3.4.6.

Метод

MbResultType
NurbsCopy (const MbCurve & ***curve***,
MbCurve *& ***result***)
выполняет построение NURBS-копии заданной двумерной кривой.

Входным параметром метода является исходная кривая ***curve***.

Выходным параметром метода является построенная кривая ***result***.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve.h.

Рассматриваемый метод построит NURBS-кривую, форма которой копирует форму исходной кривой. Для большинства типов кривых NURBS-копия по форме полностью совпадает с исходной кривой. В случае невозможности точно воспроизвести форму исходной кривой NURBS-копия аппроксимирует исходную кривую с погрешностью, не превышающей 0,0001.

М.3.5. Построение выпуклой равносторонней двумерной ломаной

Метод

MbResultType
RegularPolygon (const MbCartPoint & ***centre***,
const MbCartPoint & ***point***,
size_t *vertexCount*,
bool *describe*,
MbCurve *& ***result***)

выполняет построение замкнутой двумерной ломаной линии, представляющей собой правильный многоугольник, вписанный в обозначенную окружность или описанный около окружности.

Входными параметрами метода являются:

- ***centre*** – центр окружности, описанной или вписанной в равносторонний многоугольник,
- ***point*** – точка на окружности,
- *vertexCount* – количество вершин многоугольника,
- *describe* – флаг описанной или вписанной окружности.

Выходным параметром метода является построенная кривая ***result***.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve.h.

Параметры ***centre*** и ***point*** определяют окружность, в которую будет вписан (*describe*=false) многоугольник с числом вершин *vertexCount* или вокруг которой будет описан (*describe*=true) многоугольник с числом вершин *vertexCount*. Центр окружности будет расположен в точке ***centre***, окружность пройдёт через точку ***point***. Параметр vertexCount определяет число вершин правильного многоугольника. Построенная кривая будет замкнутой ломаной линией, описанной в параграфе О.3.5. Двумерная ломаная линия MbPolyline. На рис. М.3.5.1 приведен вписанный в окружность правильный многоугольник, а на рис. М.3.5.2 приведен описанный вокруг окружности правильный многоугольник.

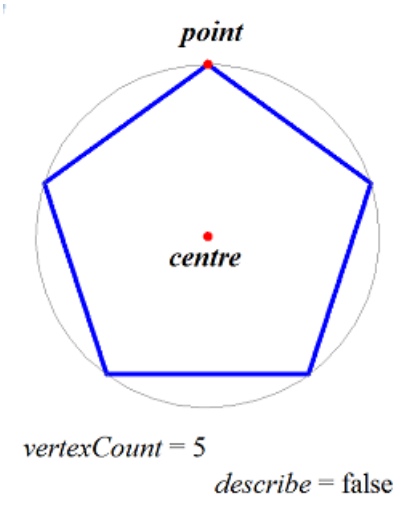


Рис. М.3.5.1.

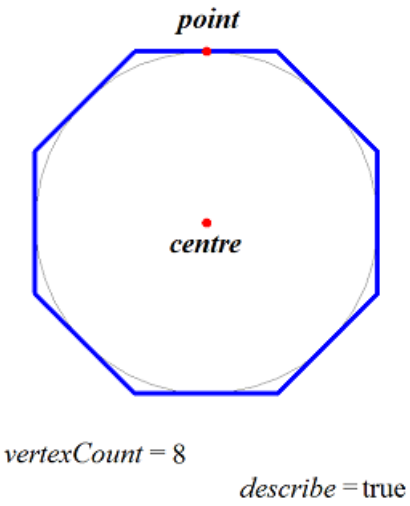


Рис. М.3.5.2.

При *vertexCount*<=1 рассматриваемый метод построит окружность с центром в точке ***centre***, проходящую через точку ***point***. При *vertexCount*=2 рассматриваемый метод построит прямоугольник с противоположными сторонами, параллельными глобальным осям координат и противоположными вершинами, располагающимися в точках ***centre*** и ***point***, рис. М.3.5.3.

Рис. М.3.5.3.

М.3.6. Построение двумерной косинусоиды

Метод
MbResultType
Cosinusoid (const MbCartPoint & ***point***0,
const MbCartPoint & ***point***1,
const MbCartPoint & ***point***2,
double *phase*,
double *waveLength*,
MbCurve *& ***result***)
выполняет построение косинусоиды (двумерной гармонической кривой).

Входными параметрами метода являются:

- ***point***0 – начало локальной системы координат,
- ***point***1 – точка на оси X локальной системы координат,
- ***point***2 – точка, определяющая ось Y локальной системы координат,
- *phase* – сдвиг фазы гармонической кривой,
- *waveLength* – длина волны гармонической кривой.

Выходным параметром метода является построенная кривая ***result***.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve.h.

Точки ***point***0, ***point***1 и ***point***2 определяют локальную систему координат косинусоиды. Начало локальной системы координат косинусоиды будет расположено в точке ***point***0, ось ***axisX*** локальной системы координат будет направлена из точки ***point***0 в точку ***point***1, ось ***axisY*** локальной системы координат будет ортогональна оси ***axisX*** и направлена из точки ***point***0 в сторону точки ***point***2. Точки ***point***0, ***point***1 и ***point***2 не должны совпадать или лежать на одной прямой. Двумерная косинусоида описана в параграфе О.3.14. Двумерная косинусоида MbCosinusoid. Амплитуда косинусоиды равна длине проекции точки ***point***2 на ось ***axisY***. Длина волны косинусоиды равна *waveLength*. Число волн косинусоиды определяется расстоянием между точками ***point***0 и ***point***1. Параметр *phase* определяет сдвиг фазы косинусоиды, рис. М.3.6.1.

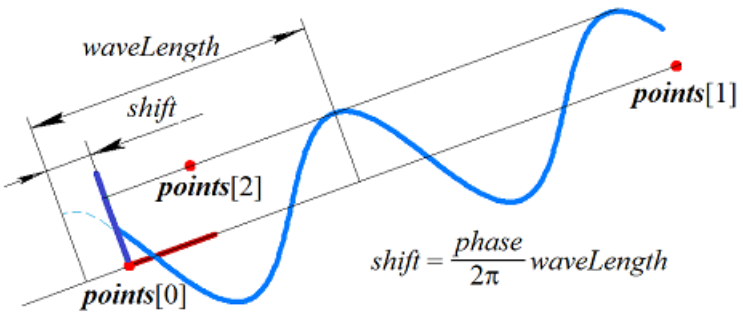


Рис. М.3.6.1.

М.3.7. Построение двумерной составной кривой

Метод
MbResultType
CreateContour (MbCurve & ***curve***,
MbContour *& ***result***)
выполняет построение составной кривой на базе одной исходной кривой.

Входным параметром метода является исходная кривая ***curve***.

Выходным параметром метода является построенная кривая ***result***.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve.h.

Метод создает составную кривую ***result*** на базе исходной кривой ***curve***. Если исходная кривая ***curve*** является составной кривой, то в кривую ***result*** будут положены составляющие элементы исходной кривой. Двумерная составная кривая описана в параграфе О.3.17. Двумерный контур MbContour.

Метод
MbResultType
AddCurveToContour (MbCurve & ***curve***,
MbContour & ***contour***,
bool *toEnd*)
модифицирует составную кривую путём добавления кривой.

Входными параметрами метода являются:

- ***curve*** – добавляемая кривая,
- ***contour*** – модифицируемая составная кривая,
- *toEnd* – флаг места добавления кривой.

Выходным параметром метода является модифицируемая кривая ***contour***.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve.h.

Метод модифицирует составную кривую ***contour*** путём добавления кривой ***curve*** в начало или конец составной кривой. Если *toEnd*=true, то кривая ***curve*** будет добавлена в конец составной кривой ***contour***, если *toEnd*=false, то кривая ***curve*** будет добавлена в начало составной кривой ***contour***. Точки стыковки модифицируемой кривой и добавляемой кривой должны совпадать, рис. М.3.7.1.

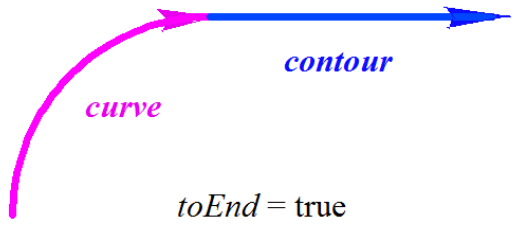


Рис. М.3.7.1.

Если добавляемая кривая ***curve*** является составной кривой, то в кривую ***contour*** будут добавлены составляющие элементы добавляемой кривой.

М.3.8. Построение кривых пересечения поверхности и плоскости

Метод
void
SurfaceSection (const MbSurface & **surface**,
const MbPlacement3D & **place**,

RPArray<MbCurve > & ***result***)

выполняет построение кривых пересечения поверхности с плоскостью.

Входными параметрами метода являются:

- **surface** – поверхность,
- **place** – локальная система координат плоскости.

Выходным параметром метода является множество построенных кривых ***result***.

Метод не имеет возвращаемого значения.

Метод объявлен в файле action_ curve.h.

Метод строит пересечение поверхности **surface** с плоскостью XY локальной системы координат **place**. Кривые ***result*** строятся в плоскости XY локальной системы координат **place**. На рис. М.3.8.1 приведен пример построения двумерных кривых пересечения поверхности тора и плоскости XY локальной системы координат.

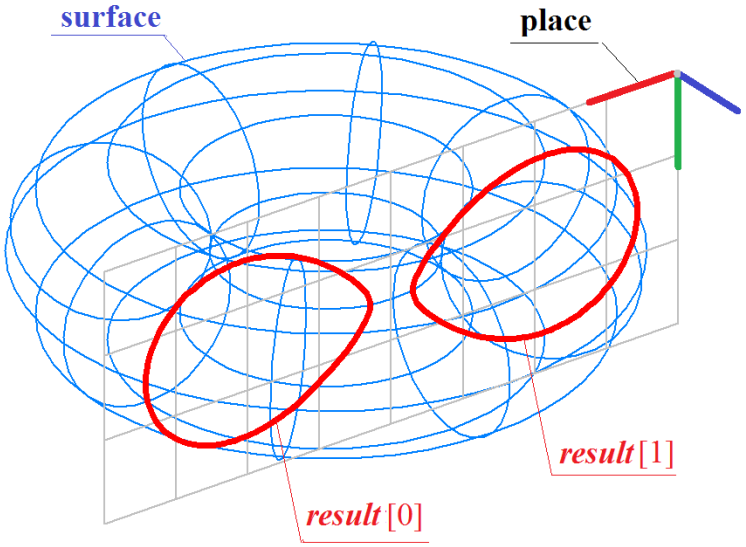


Рис. М.3.8.1.

М.3.9. Построение двумерной кривой ребра грани

Метод

MbResultType

FaceBoundSegment (const MbFace & **face**,
size_t loopIndex,
size_t edgeIndex,
const MbSurface & **surface**,
VERSION version,
MbCurve *& ***result***)

выполняет построение проекции ребра грани на поверхность.

Входными параметрами метода являются:

- **face** – грань,
- loopIndex – индекс цикла в грани, в котором расположено проецируемое ребро,
- edgeIndex – индекс ребра в цикле,
- **surface** – поверхность проецирования,
- version – версия построения.

Выходным параметром метода является построенная кривая ***result***.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve.h.

Метод строит проекцию ребра грани **face** на поверхность **surface**. Ребро в грани определено индексом цикла грани loopIndex и индексом ребра в цикле. Кривая ***result*** строится в пространстве

параметров поверхности **surface**. На рис. М.3.9.1 приведен пример построения проекции ребра грани на заданную поверхность.

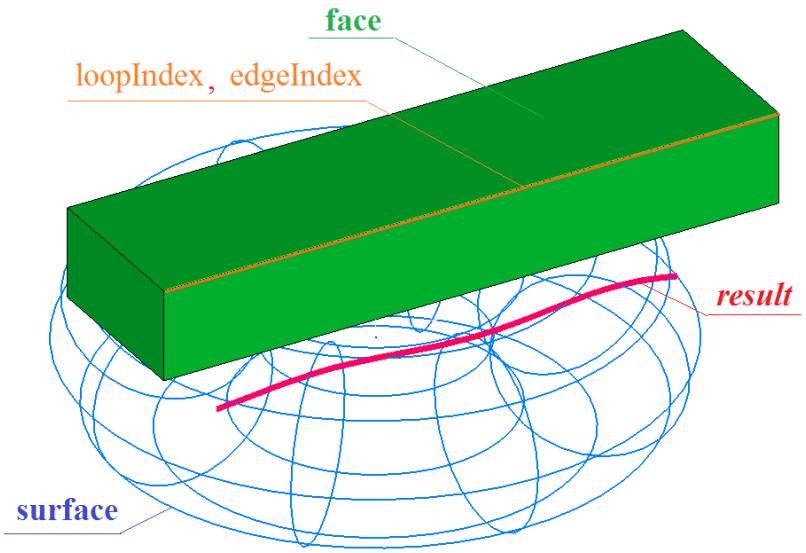


Рис. М.3.9.1.

М.3.10. Построение проекции кривой на поверхность

Метод
MbResultType
SurfaceBoundContour (const MbSurface & **surface**,
const MbCurve3D & **curve**,
VERSION version,
MbContour *& ***result***)
выполняет построение двумерной кривой в пространстве параметров поверхности для пространственной кривой, лежащей на этой поверхности.

Входными параметрами метода являются:

- **surface** – поверхность,
- **curve** – пространственная кривая,
- version – версия построения.

Выходным параметром метода является построенная составная кривая ***result***.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve.h.

Метод строит проекцию пространственной кривой **curve** на поверхность **surface**. Пространственная кривая должна располагаться на поверхности **surface**. Кривая ***result*** строится в пространстве параметров поверхности **surface**. На рис. М.3.10.1 приведен пример построения проекции пространственной кривой на заданную поверхность.

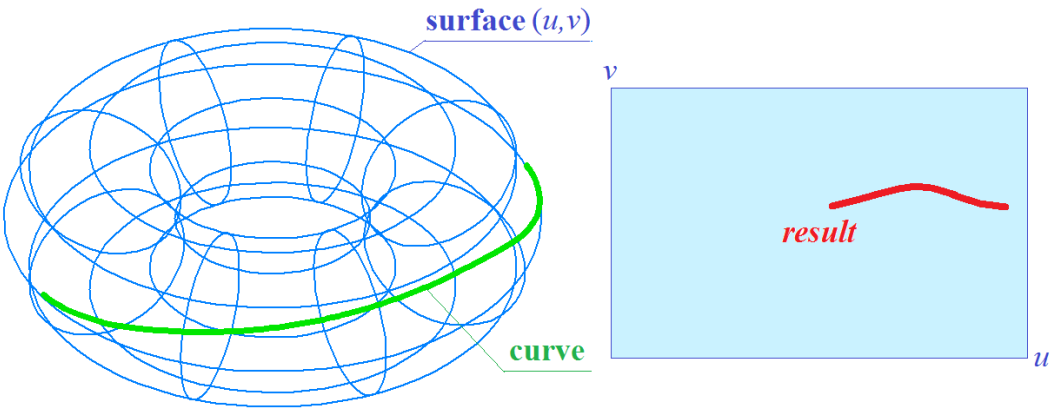


Рис. M.3.10.1.

М.4. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ КРИВЫХ

Кривые служат строительным материалом для построения поверхностей. По кривым выполняется стыковка поверхностей друг с другом. На базе кривых строятся рёбра, которые используются в твёрдотельной и каркасной моделях. В определенных случаях кривые выступают в роли опорных объектов для позиционирования других элементов геометрической модели. Все кривые являются наследниками класса MbCurve3D и представлены в главе О.4. КРИВЫЕ. Кривые могут быть построены непосредственным вызовом соответствующих конструкторов или методами, приведёнными в данном параграфе.

М.4.1. Построение прямой линии и отрезка

Метод
MbResultType
Line (const MbCartPoint3D & **point**1,
const MbCartPoint3D & **point**2,
MbCurve3D *& **result**)
выполняет построение прямой по двум несовпадающим точкам.

Входными параметрами метода являются:

- **point**1 – первая точка, по которой проходит прямая,
- **point**2 – вторая точка, по которой проходит прямая.

Выходным параметром метода является построенная кривая **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve3d.h.

Параметр **point**1 определяет начальную точку прямой, соответствующую нулевому параметру прямой. Вектор, начинающийся в точке **point**1 и оканчивающийся в точке **point**2, определяет направление прямой, рис. М.4.1.1. Производная прямой линии имеет единичную длину.

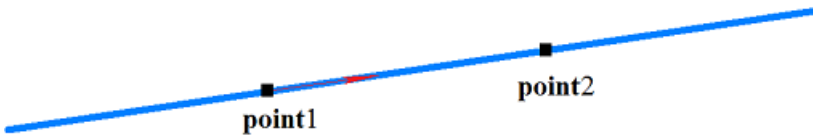


Рис. М.4.1.1.

Прямая линия описана в параграфе О.4.2. Прямая линия MbLine3D.

Метод
MbResultType
Segment (const MbCartPoint3D & **point**1,
const MbCartPoint3D & **point**2,
MbCurve3D *& **result**)
выполняет построение отрезка прямой по двум несовпадающим точкам.

Входными параметрами метода являются:

- **point**1 – начальная точка отрезка,
- **point**2 – конечная точка отрезка.

Выходным параметром метода является построенная кривая **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve3d.h.

Параметр **point**1 определяет начальную точку отрезка прямой, соответствующую нулевому параметру кривой. Параметр **point**2 определяет конечную точку отрезка прямой, соответствующую параметру кривой, равному единице, рис. М.4.1.2.

Рис. М.4.1.2.

Отрезок прямой описан в параграфе О.4.3. Отрезок прямой MbLineSegment3D.

М.4.2. Построение окружности, эллипса и их дуг

Метод
MbResultType
Arc (const MbCartPoint3D & **centre**,
const SArray<MbCartPoint3D> & **points**,
bool *closed*,
double *angle*,
double & *a*,
double & *b*,
MbCurve3D *& **result**)
выполняет построение дуги эллипса, в частном случае метод выполняет построение дуги окружности.

Входными параметрами метода являются:

- **centre** – центр эллипса,
- **points** – множество точек, которое может быть пустым,
- *closed* – флаг циклической замкнутости кривой,
- *angle* – угол, определяющий размер дуги эллипса,
- *a* – длина первой полуоси эллипса (при непустом множестве **points** вычисляется),
- *b* – длина второй полуоси эллипса (при непустом множестве **points** вычисляется).

Выходными параметрами метода являются длины полуосей эллипса и построенная кривая **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType. Метод объявлен в файле action_ curve3d.h.

Кривая может быть построена как по заданным точкам, так и по скалярным параметрам. Параметр **centre** определяет центральную точку эллипса. Множество точек **points** может быть пустым, в этом случае должны быть ненулевыми длины полуосей эллипса *a* и *b*.

Если множество точек **points** содержит два элемента, то точки **centre**, **points**[0], **points**[1] определяют плоскость расположения осей **axisX** и **axisY** локальной системы координат эллипса: ось **axisX** локальной системы координат эллипса направлена из центра в точку **points**[0], ось **axisY** локальной системы координат эллипса ортогональна оси **axisX** и направлена из центра в сторону точки **points**[1]. Расстояние между точками **centre** и **points**[0] определяет длину первой полуоси эллипса *a*, а расстояние между точкой **centre** и проекцией точки **points**[1] на ось **axisY** определяет длину второй полуоси эллипса *b*, рис. М.4.2.1.

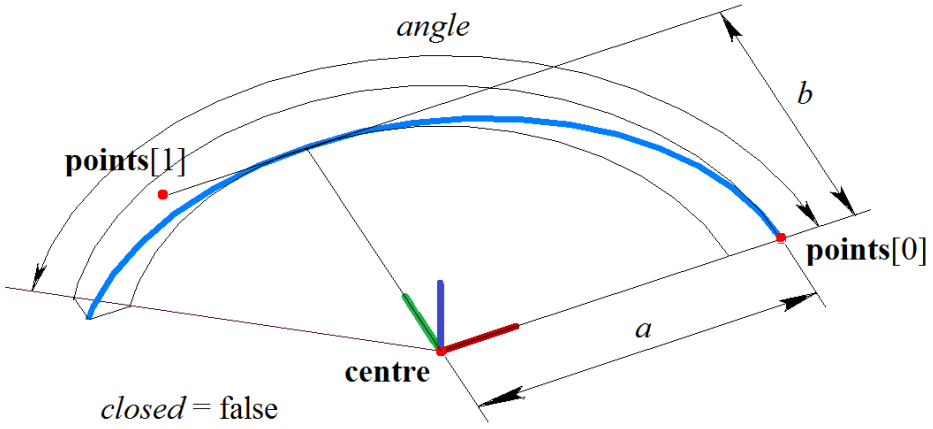


Рис. М.4.2.1.

Дуга эллипса описана в параграфе О.4.4. Дуга эллипса MbArc3D.

Если множество точек **points** пусто, то длины полуосей эллипса *a* и *b* являются входными параметрами, а оси **axisX**, **axisY** и **axisZ** локальной системы координат эллипса совпадают с глобальными осями координат.

Параметр *closed* определяет циклическую замкнутость кривой. Если *closed*=false, то должен быть ненулевым параметр *angle*, который определяет угол раствора дуги эллипса в параметрических единицах.

В частном случае, когда *a*=*b*, рассматриваемый метод выполняет построение окружности (*closed*=true или *angle*=0) или дуги окружности (*closed*= false и *angle*>0 и *angle*<2π).

М.4.3. Построение кривых по контрольным точкам

Метод
MbResultType
SplineCurve (const SArray<MbCartPoint3D> & **points**,
bool *closed,*
MbeSpaceType *curveType*,
MbCurve3D *& **result**)
выполняет построение кривой заданного типа по указанному множеству контрольных точек.

Входными параметрами метода являются:

- **points** – множество контрольных точек,
- *closed* – флаг циклической замкнутости кривой,
- *curveType* – тип кривой.

Выходным параметром метода является построенная кривая **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve3d.h.

Параметр **points** содержит контрольные точки кривой. Параметр *closed* определяет циклическую замкнутость построенной кривой. Параметры *curveType* определяют тип кривой, от которого зависит форма кривой. Для разных типов создаваемой кривой требуется разное количество контрольных точек. В табл. М.4.3.1 приведено количество контрольных точек множества **points**, необходимое для создания кривой типа *curveType*.

Таблица М.4.3.1.

curveType	**Тип кривой**	**Количество контрольных точек**
pt_LineSegment	отрезок прямой	2 точки
pt_Arc	дуга окружности	3 точки
pt_Polyline	ломаная	2 и более точек
pt_Nurbs	NURBS кривая	2 и более точек
pt_Hermit	сплайн Эрмита	2 и более точек
pt_Bezier	кривая Безье	2 и более точек
pt_CubicSpline	кубический сплайн	2 и более точек

Для типа *curveType*=st_LineSegment3D будет построен отрезок прямой, начинающийся в точке **points**[0] и оканчивающийся в точке **points**[1]. Отрезок прямой описан в параграфе О.4.3. Отрезок прямой MbLineSegment3D.

Для типа *curveType*=st_Arc3D при *closed*=false будет построена дуга окружности, начинающаяся в точке **points**[0], проходящая через точку **points**[1] и оканчивающаяся в точке **points**[2], рис. М.4.3.1.

При *closed*=true будет построена окружность, проходящая через точки **points**[0], **points**[1], **points**[2]. Дуга окружности и эллипса описана в параграфе О.4.4. Дуга эллипса MbArc3D.

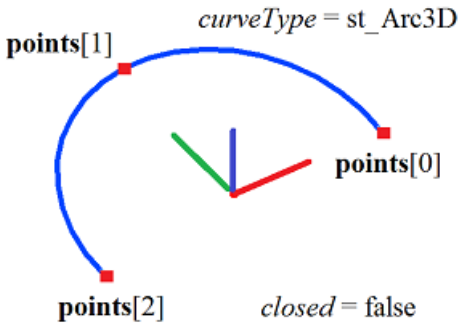


Рис. М.4.3.1.

Для типа *curveType*=st_Polyline3D будет построена ломаная, проходящая через точки **points**[0], **points**[1],..., **points**[*n*], рис. М.4.3.2. При *closed*=true будет построена циклически замкнутая ломаная, содержащая участок между точками **points**[0] и **points**[*n*]. Ломаная линия описана в параграфе О.4.5. Ломаная линия MbPolyline3D.

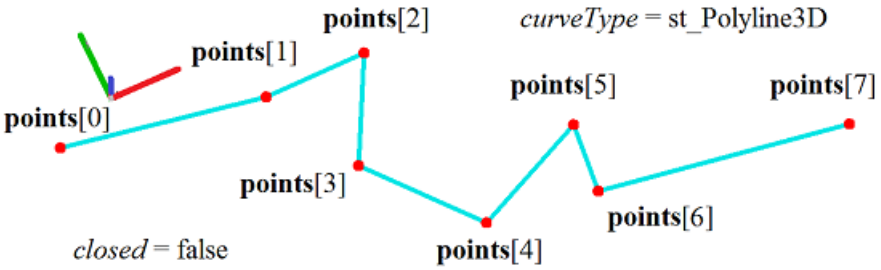


Рис. М.4.3.2.

Для типа *curveType*=st_Nurbs3D будет построен неоднородный рациональный *B*-сплайн (NURBS) четвертого порядка, рис. М.4.3.3. Контрольные точки сплайна будут определены из условия прохождения сплайна через точки **points**[0], **points**[1],..., **points**[*n*]. При *closed*=true будет построен циклически замкнутый сплайн. NURBS-кривая описана в параграфе О.4.6. NURBS-кривая MbNurbs3D.

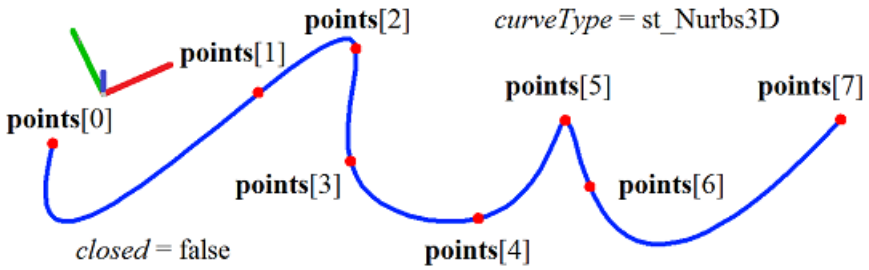


Рис. М.4.3.3.

Для типа *curveType*=st_Hermit3D будет построена составная кривая, состоящая из гладко стыкующихся сплайнов Эрмита третьего порядка. Каждый из сплайнов Эрмита третьего порядка будет соединять соседние точки **points**[*i*–1] и **points**[*i*], рис. М.4.3.4. При *closed*=true будет построена циклически замкнутая кривая, содержащая сплайн Эрмита между точками **points**[0] и **points**[*n*]. Составной сплайн Эрмита третьей степени описан в параграфе О.4.7. Кривая Эрмита MbHermit3D.

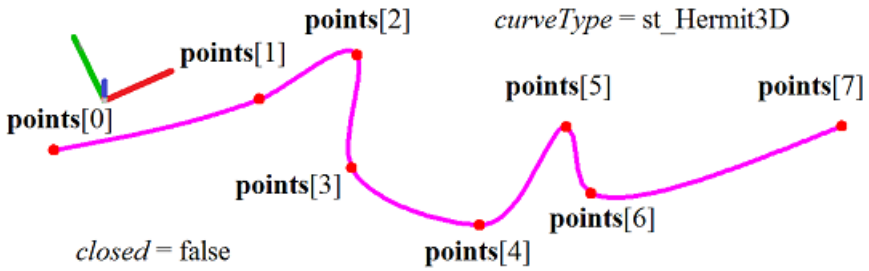


Рис. М.4.3.4.

Для типа *curveType*=st_Bezier3D будет построена составная кривая, состоящая из гладко стыкующихся сплайнов Безье третьего порядка. Каждый из сплайнов Безье третьего порядка будет соединять соседние точки **points**[*i*–1] и **points**[*i*], рис. М.4.3.5. При *closed*=true будет построена циклически замкнутая кривая, содержащая сплайн Безье между точками **points**[0] и **points**[*n*]. Составная кривая Безье третьей степени описана в параграфе О.4.8. Составная кривая Безье MbBezier3D.

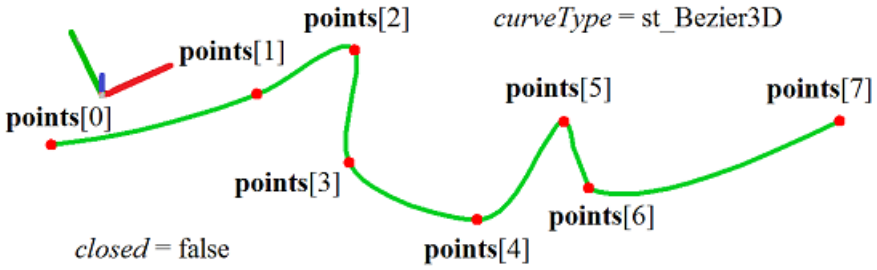


Рис. М.4.3.5.

Для типа *curveType*=st_CubicSpline3D будет построен кубический сплайн, проходящий через точки **points**[0], **points**[1],..., **points**[*n*], рис. М.4.3.6. При *closed*=true будет построена циклически замкнутая кривая, содержащая участок между точками **points**[0] и **points**[*n*]. Кубический сплайн описан в параграфе О.4.9. Кубический сплайн MbCubicSpline3D.

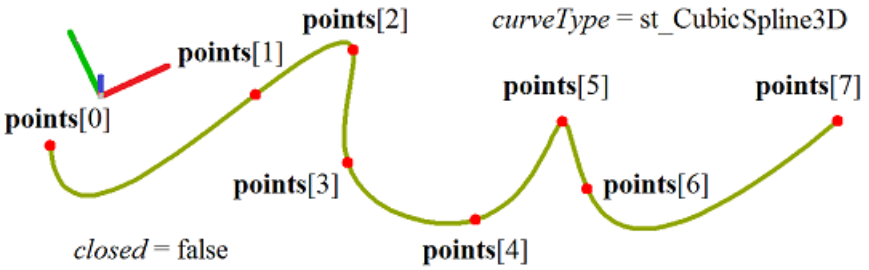


Рис. М.4.3.6.

Для сравнения на рис. М.4.3.7 приведены NURBS кривая, составной сплайн Эрмита, составная кривая Безье, кубический сплайн, построенные по одним и тем же контрольным точкам **points**[0], **points**[1],..., **points**[*n*] имеющие одну и ту же степень.

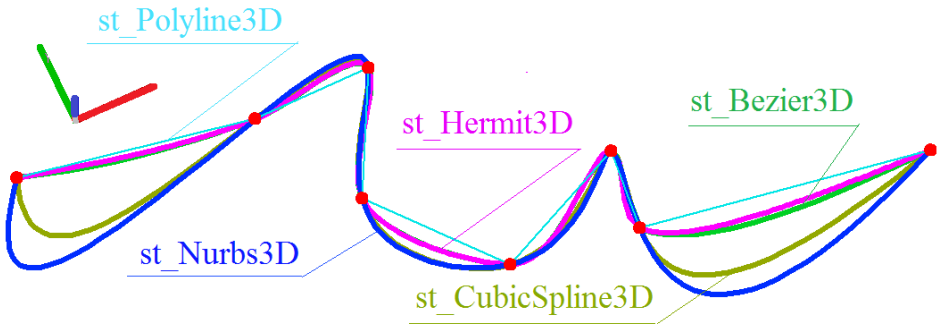


Рис. М.4.3.7.

Как можно видеть, кривые имеют различную форму.

М.4.4. Построение NURBS кривой

Метод
MbResultType
NurbsCurve (const SArray<MbCartPoint3D> & **points**,
const SArray<double> & *weights*,
size_t degree,
const SArray<double> & *knots*,
bool *closed*,
MbCurve3D *& **result**)
выполняет построение NURBS-кривой на заданном множестве контрольных точек.

Входными параметрами метода являются:

- **points** – множество контрольных точек,
- *weights* – множество весов контрольных точек,
- degree – порядок кривой (*B*-сплайнов),
- *knots* – множество параметрических узлов (узловой вектор),
- *closed* – флаг циклической замкнутости кривой.

Выходным параметром метода является построенная кривая **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve3d.h.

Рассматриваемый метод строит NURBS-кривую (кривую на основе *B*-сплайнов), которая описана в параграфе О.4.6. NURBS-кривая MbNurbs3D. Множество весов *weights* должно быть согласовано с множеством контрольных точек points. Порядок degree кривой не должен превосходить количество контрольных точек. Параметр *closed* определяет циклическую замкнутость построенной кривой. Узловой вектор *knots* представляет собой неубывающую последовательность действительных чисел и определяет область определения параметра кривой и форму кривой. Для *closed*=false узловой вектор должен содержать число элементов, равное числу контрольных точек плюс порядок кривой. Чтобы незамкнутая NURBS-кривая проходила через крайние контрольные точки, необходимо, чтобы первые degree элементов узлового вектора *knots* были равны между собой и последние degree элементов узлового вектора *knots* были равны между собой. Для *closed*=true узловой вектор должен содержать число элементов, равное числу контрольных точек плюс удвоенный порядок кривой и минус единица. На рис. М.4.4.1 приведена замкнутая NURBS-кривая четвертого порядка с равноотстоящими значениями узлов.

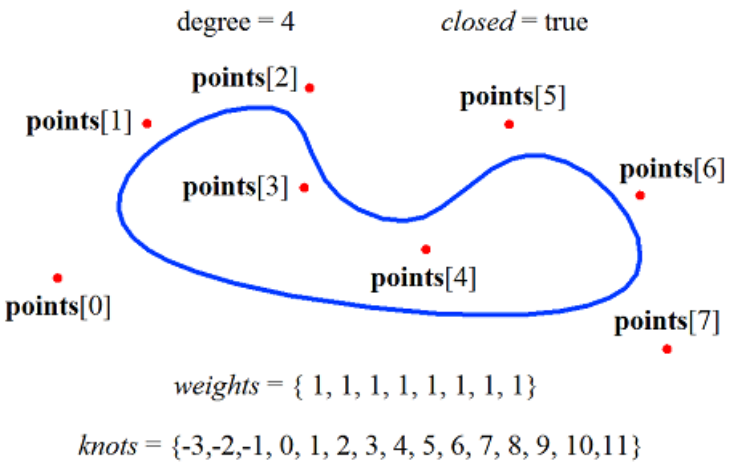


Рис. М.4.4.1.

На рис. М.4.4.2 приведены две незамкнутые NURBS-кривые четвертого порядка. Первая кривая имеет равноотстоящие значения узлов и совпадает с частью кривой, приведенной на рис. М.4.4.1. Вторая кривая имеет равные между собой первые degree элементов и последние degree элементов узлового вектора.

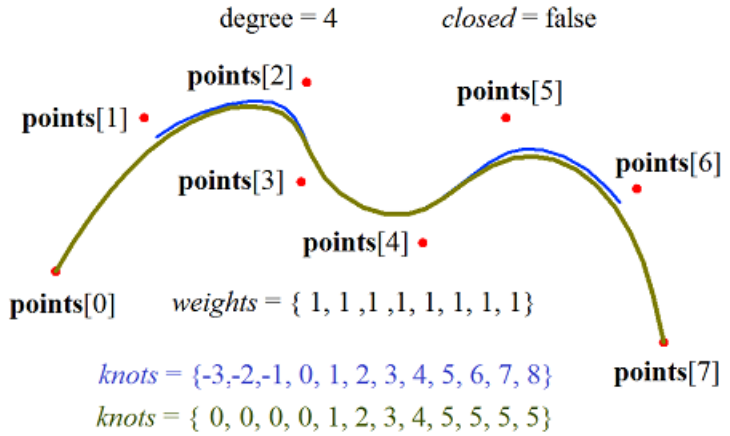


Рис. М.4.4.2.

На рис. М.4.4.3 приведены три незамкнутые NURBS-кривые четвертого порядка, имеющие различные значения весов *weights*[2] и *weights*[4] контрольных точек **points**[2] и **points**[4].

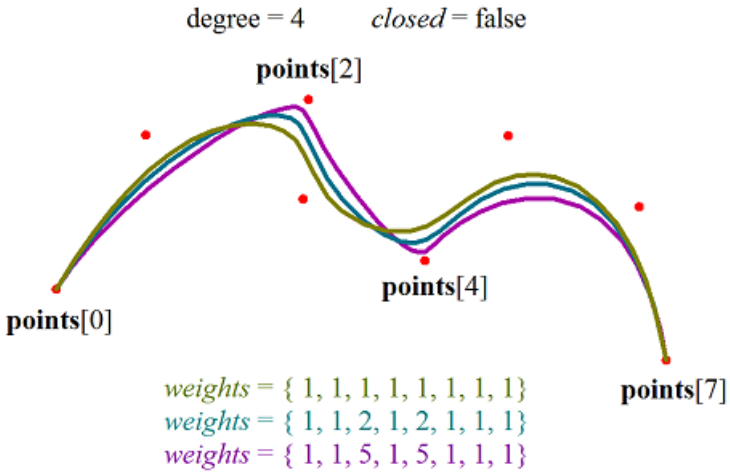


Рис. М.4.4.3.

На рис. М.4.4.4 приведены три незамкнутые NURBS-кривые различного порядка, построенные по одним и тем же контрольным точкам.

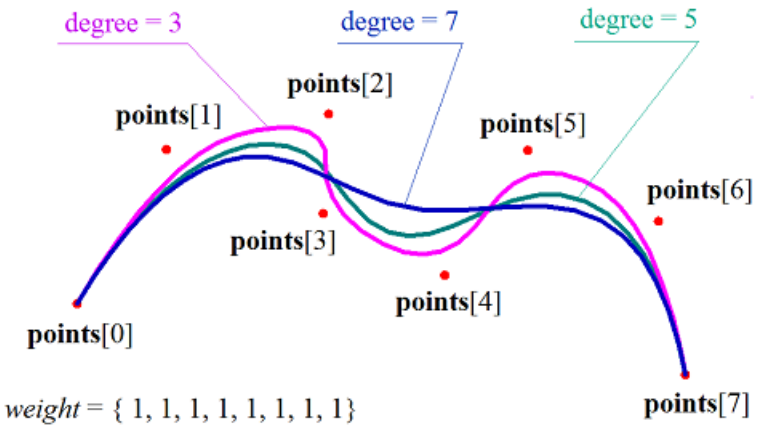


Рис. М.4.4.4.

На рис. М.4.4.5 приведена незамкнутая NURBS-кривая третьего порядка, по форме совпадающая с дугой окружности. Расстояние между контрольными точками **points**[0] и **points**[1] равно расстоянию между контрольными точками **points**[1] и **points**[2], а вес *weights*[1] средней контрольной точки кривой равен весу крайних контрольных точек, умноженному на косинус половины угла дуги.

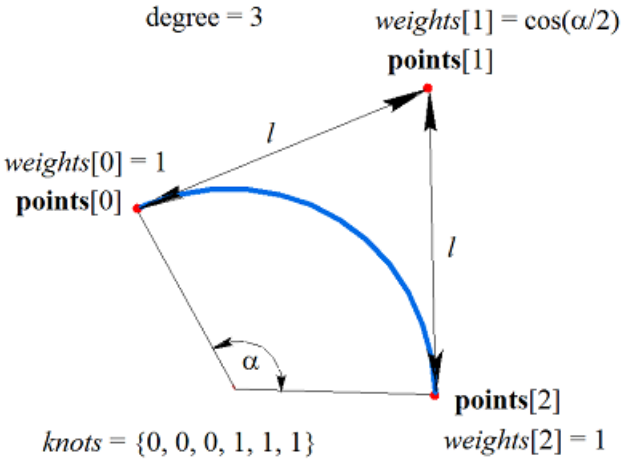


Рис. М.4.4.5.

Метод
MbResultType
NurbsCopy (const MbCurve3D & **curve**,
MbCurve3D *& **result**)
выполняет построение NURBS-копии заданной кривой.

Входным параметром метода является исходная кривая **curve**.

Выходным параметром метода является построенная кривая **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve3d.h.

Рассматриваемый метод построит NURBS-кривую, форма которой копирует форму исходной кривой. Для большинства типов кривых NURBS-копия по форме полностью совпадает с исходной кривой. В случае невозможности точно воспроизвести форму исходной кривой NURBS-копия аппроксимирует исходную кривую с погрешностью, не превышающей 0,0001.

М.4.5. Построение выпуклой равносторонней ломаной

Метод
MbResultType
RegularPolygon (const MbCartPoint3D & **centre**,
const MbCartPoint3D & **point**,
const MbVector3D & **axisZ**,
size_t *vertexCount*,
bool *describe*,
MbCurve3D *& **result**)

выполняет построение замкнутой ломаной линии, представляющей собой правильный многоугольник, вписанный в обозначенную окружность или описанный около окружности.

Входными параметрами метода являются:

- **centre** – центр окружности, описанной или вписанной в равносторонний многоугольник,
- **point** – точка на окружности,
- **axisZ** – вектор, перпендикулярный плоскости окружности,
- *vertexCount* – количество вершин многоугольника,
- *describe* – флаг описанной или вписанной окружности.

Выходным параметром метода является построенная кривая **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve3d.h.

Параметры **centre**, **point** и **axisZ** определяют окружность, в которую будет вписан (*describe*=false) многоугольник с числом вершин *vertexCount* или вокруг которой будет описан (*describe*=true) многоугольник с числом вершин *vertexCount*. Центр окружности будет расположен в точке **centre**, окружность пройдёт через точку **point**, ось окружности будет параллельна вектору **axisZ**. Параметр *vertexCount* определяет число вершин правильного многоугольника. Построенная кривая будет замкнутой ломаной линией, описанной в параграфе О.4.5. Ломаная линия MbPolyline3D. На рис. М.4.5.1 приведен вписанный в окружность правильный многоугольник, а на рис. М.4.5.2 приведен описанный вокруг окружности правильный многоугольник.

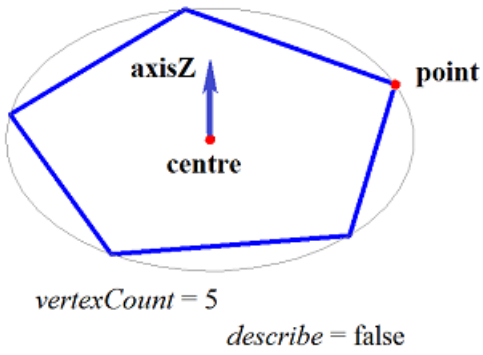


Рис. М.4.5.1.

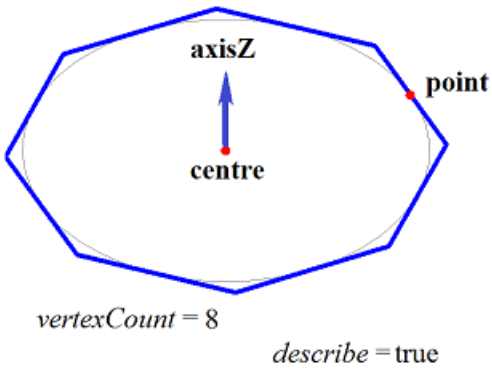


Рис. М.4.5.2.

При *vertexCount*<=1 рассматриваемый метод построит окружность с центром в точке **centre**, проходящую через точку **point**. При *vertexCount*=2 рассматриваемый метод построит ломаную линию с одним участком, начинающуюся в точке **centre** и оканчивающуюся в точке **point**.

М.4.6. Построение спиралей

Метод
MbResultType

SpiralCurve (const MbPlacement3D & **place**,
double *radius*,
double *step*,
MbCurve & ***lawCurve***,
bool *spiralAxis*,
MbCurve3D *& **result**)
выполняет построение спирали переменного радиуса или спирали с искривлённой осью.

Входными параметрами метода являются:

- **place** – локальная система координат спирали,
- *radius* – радиус спирали,
- *step* – шаг спирали,
- ***lawCurve*** – формообразующая двумерная кривая,
- *spiralAxis* – режим формообразования.

Выходным параметром метода является построенная кривая **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve3d.h.

Если *spiralAxis*=false, то ***lawCurve*** определяет изменение радиуса спирали. В данном случае ось спирали совпадает с осью **axisZ** локальной системы координат **place**, кривая ***lawCurve*** будет помещена в плоскость ZX локальной системы координат спирали и опишет закон изменения радиуса спирали. Первая координата (*x*) каждой двумерной точки кривой ***lawCurve*** будет откладываться по оси **axisZ** локальной системы координат спирали, вторая координата (*y*) каждой двумерной точки кривой ***lawCurve*** будет откладываться по оси **axisX** локальной системы координат спирали, рис. М.4.6.1.

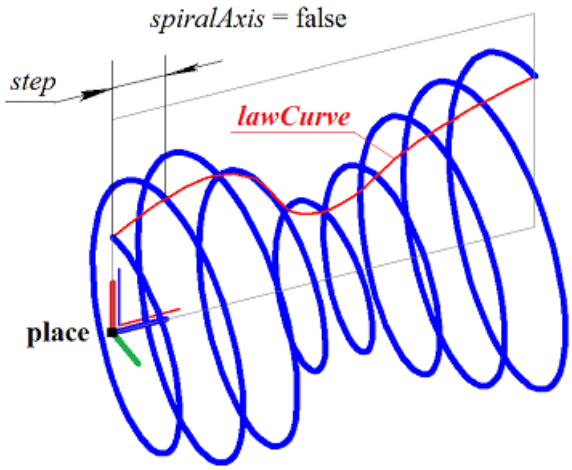


Рис. М.4.6.1.

Вторая координата (*y*) двумерной кривой ***lawCurve*** определит радиус спирали как функцию первой координаты (*x*) кривой. Вторая координата (*y*) каждой двумерной точки кривой ***lawCurve*** должна быть больше нуля, чтобы кривая ***lawCurve*** не пересекала ось **axisZ**. Спираль переменного радиуса описана в параграфе О.4.15. Спираль переменного радиуса MbCurveSpiral. Параметр *step* описывает шаг спирали, параметр *radius* не используется.

Если *spiralAxis*=true, то ***lawCurve*** определяет ось спирали. В данном случае кривая ***lawCurve*** будет помещена в плоскость ZX локальной системы координат спирали и опишет ось спирали. Первая координата (*x*) каждой двумерной точки кривой ***lawCurve*** будет откладываться по оси **axisZ** локальной системы координат спирали, вторая координата (*y*) каждой двумерной точки кривой ***lawCurve*** будет откладываться по оси **axisX** локальной системы координат спирали, рис. М.4.6.2.

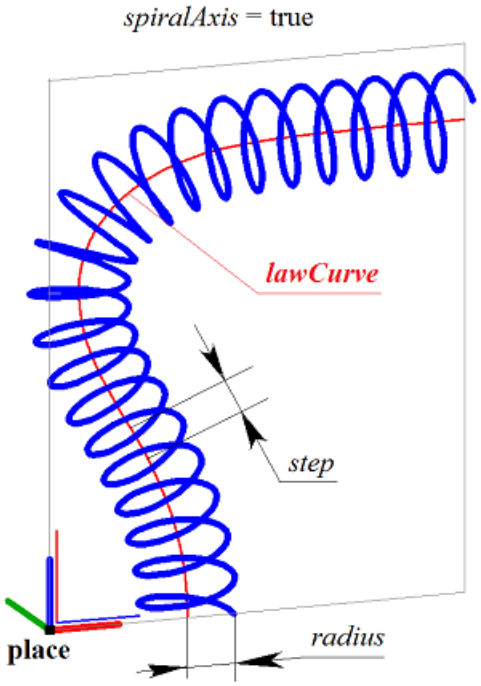


Рис. М.4.6.2.

Радиус кривизны двумерной кривой ***lawCurve*** в каждой точке должен быть больше радиуса спирали *radius*, чтобы спираль не пересекала сама себя. Спираль с криволинейной осью описана в параграфе О.4.16. Спираль с криволинейной плоской осью MbCrookedSpiral. Параметр *step* описывает шаг спирали вдоль её оси.

Метод

MbResultType

SpiralCurve (const MbCartPoint3D & **point**0,
const MbCartPoint3D & **point**1,
const MbCartPoint3D & **point**2,
double *radius*,
double *step*,
double *angle*,
MbCurve * ***lawCurve***,
bool *spiralAxis*,
MbCurve3D *& **result**)

выполняет построение или конической спирали, или спирали переменного радиуса, или спирали с криволинейной осью.

Входными параметрами метода являются:

- **point**0 – начало локальной системы координат спирали,
- **point**1 – точка на оси Z локальной системы координат спирали,
- **point**2 – точка, определяющая ось X локальной системы координат спирали,
- *radius* – радиус спирали,
- *step* – шаг спирали,
- *angle* – угол конической спирали,
- ***lawCurve*** – формообразующая двумерная кривая, может быть нулём,
- *spiralAxis* – режим формообразования.

Выходным параметром метода является построенная кривая **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve3d.h.

Точки **point**0, **point**1 и **point**2 определяют локальную систему координат спирали. Начало локальной системы координат спирали будет расположено в точке **point**0, ось **axisZ** локальной системы координат будет направлена из точки **point**0 в точку **point**1, ось **axisX** локальной системы

координат будет ортогональна оси **axisZ** и направлена из точки **point**0 в сторону точки **point**2. Точки **point**0, **point**1 и **point**2 не должны совпадать или лежать на одной прямой.

Если ***lawCurve***=0, то метод построит коническую спираль с осью **axisZ** локальной системы координат, с шагом спирали *step*, углом конусности *angle*. Радиус в начале спирали будет равен *radius*, рис. М.4.6.3.

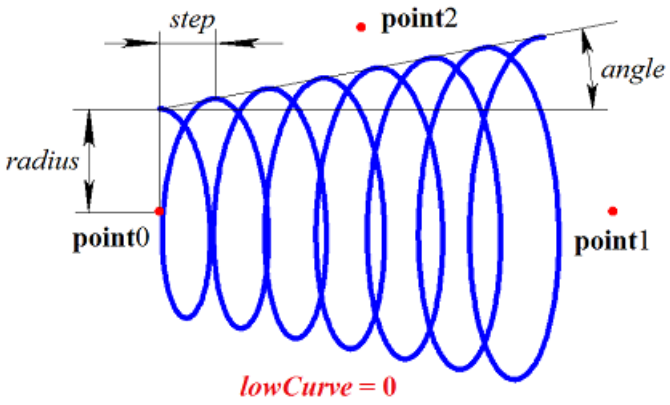


Рис. М.4.6.3.

При *angle*=0 будет построена цилиндрическая спираль. Параметр *spiralAxis* не будет использован.

Если ***lawCurve*** не равна нулю и *spiralAxis*=false, то метод построит спираль переменного радиуса описанным выше образом в локальной системе координат, определённой точками **point**0, **point**1 и **point**2, приведенную на рис. М.4.6.1. Параметр ***lawCurve*** определит изменение радиуса спирали.

Если ***lawCurve*** не равна нулю и *spiralAxis*=true, метод построит спираль с криволинейной осью описанным выше образом в локальной системе координат, определённой точками **point**0, **point**1 и **point**2, приведенную на рис. М.4.6.2. Параметр то ***lawCurve*** определит ось спирали.

М.4.7. Построение составной кривой

Метод
MbResultType
CreateContour (MbCurve3D & **curve**,
MbContour3D *& **result**)
выполняет построение составной кривой на базе одной исходной кривой.

Входным параметром метода является исходная кривая **curve**.

Выходным параметром метода является построенная кривая **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve3d.h.

Метод создает составную кривую **result** на базе исходной кривой **curve**. Если исходная кривая **curve** является составной кривой, то в кривую **result** будут положены составляющие элементы исходной кривой. Составная кривая описана в параграфе О.4.18. Контур MbContour3D.

Метод
MbResultType
AddCurveToContour (MbCurve3D & **curve**,
MbCurve3D & **contour**,
bool *toEnd*)
модифицирует составную кривую путём добавления кривой.

Входными параметрами метода являются:

- **curve** – добавляемая кривая,
- **contour** – модифицируемая составная кривая,
- *toEnd* – флаг места добавления кривой.

Выходным параметром метода является модифицируемая кривая **contour**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve.h.

Метод модифицирует составную кривую **contour** путём добавления кривой **curve** в начало или конец составной кривой. Если toEnd=true, то кривая **curve** будет добавлена в конец составной кривой **contour**, если toEnd=false, то кривая **curve** будет добавлена в начало составной кривой **contour**. Точки стыковки модифицируемой кривой и добавляемой кривой должны совпадать, рис. М.4.7.1.

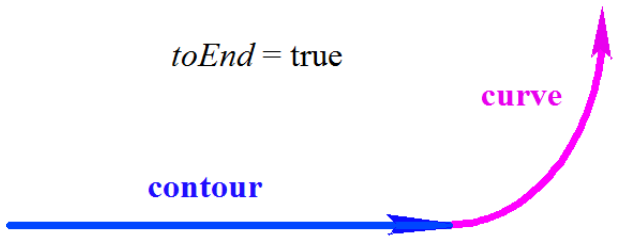


Рис. М.4.7.1.

Если добавляемая кривая **curve** является составной кривой, то в кривую **contour** будут добавлены составляющие элементы добавляемой кривой.

Метод

MbResultType

CreateContours (RPArray<MbCurve3D> & **curves**,
double *epsilon*,
RPArray<MbContour3D> & **result**,
bool *onlySmoothConnected* = false)

выполняет построения составных кривых из множества исходных кривых.

Входными параметрами метода являются:

- **curves** – множество исходных кривых,
- *epsilon* – радиус захвата для стыковки исходных кривых,
- *onlySmoothConnected* – флаг использования только гладкой стыковки исходных кривых.

Выходным параметром метода является множество построенных кривых **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve3d.h.

Метод на базе исходных кривых **curves** создает составные кривые и складывает их в множество **result**. Если флаг *onlySmoothConnected*=true, то все построенные составные кривые будут гладкими, то есть в точках стыковки кривые будут иметь одинаково направленные касательные, но длина производной в точках стыковки может меняться скачком. Если какая-либо исходная кривая множества **curves** является составной кривой, то в составную кривую будут добавлены составляющие элементы такой исходной кривой.

М.4.8. Построение каркаса

Метод

MbResultType

WireFrame (const MbCurve3D & **curve**,
const MbName & name,
SimpleName mainName,
MbWireFrame *& **result**)

создаёт каркас на базе кривой.

Входными параметрами метода являются:

- **curve** – исходная кривая,
- name – имя кривой,
- mainName – главное имя каркаса.

Выходным параметром метода является построенный каркас **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve3d.h.

Метод на базе кривой **curve** создаёт ребро MbEdge, которое служит элементом каркаса **result**. Каркас MbWireFrame описан в параграфе О.8.3. Проволочный каркас MbWireFrame.

Метод

MbResultType

WireFrame (const RPArray<MbCurve3D> & **curves**,
const RPArray<MbName> & names,
SimpleName mainName,
MbWireFrame *& **result**)

создаёт каркас на базе множества кривых.

Входными параметрами метода являются:

- **curves** – множество кривых,
- names – множество имён кривых,
- mainName – главное имя каркаса.

Выходным параметром метода является построенный каркас **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_ curve3d.h.

Метод на базе каждой кривой множества **curve** создаёт ребро MbEdge, далее из рёбер создается каркас **result**. Ребра каркаса стыкуются в вершинах, каждое ребро и каждая вершина наделены атрибутами. Каркас предоставляет информацию о стыкующихся в общих вершинах ребрах, каркас наделён атрибутами и журналом построения. Каркас MbWireFrame описан в параграфе О.8.3. Проволочный каркас MbWireFrame.

М.4.9. Построение проекции кривой на поверхность

Метод

MbResultType

CurveProjection (constMbSurface & **surface**,
const MbCurve3D & **curve**,
MbVector3D * **direction**,
bool *createExact*,
bool *truncateByBounds*,
RPArray<MbCurve3D> & **result**,
VERSION version = Math::DefaultMathVersion());

выполняет построение проекций кривой на заданную поверхность при нормальном проецировании или при параллельном проецировании.

Входными параметрами метода являются:

- **surface** – поверхность, на которую выполняется проецирование,
- **curve** – проецируемая кривая,
- **direction** – вектор направления проецирования, может быть ноль,
- *createExact* – флаг точности построенных кривых,
- *truncateByBounds* – флаг обрезки проекций границами поверхности,
- version – версия построения.

Выходным параметром метода является множество построенных кривых **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface_curve.h.

Если **direction**=0, то метод создает нормальную проекцию кривой **curve** на поверхность **surface**, при которой вектор, построенный из точки проекции к соответствующей точке проецируемой кривой, направлен по нормали к поверхности.

Если задан вектор **direction**, то метод создает параллельную проекцию кривой **curve** на поверхность **surface**, при которой вектор, построенный из точки проекции к соответствующей точке проецируемой кривой, параллелен вектору **direction**.

Кривые **result** являются кривыми на поверхности MbSurfaceCurve, представленными в параграфе О.4.20. Кривая на поверхности MbSurfaceCurve. Если *createExact*=false, то в общем случае двумерные кривые, фигурирующие в кривых на поверхности **result**, будут сплайновыми кривыми, проходящими через конечное число точек, являющихся проекциями отдельных точек проецируемой кривой. Если *createExact*=true, то в общем случае двумерные кривые, фигурирующие в кривых на поверхности **result**, будут проекционными кривыми MbProjCurve, которые точно описывают проекции пространственных кривых на поверхность. В частных случаях кривые **result** точно представляют проекцию кривой **curve**. Если задан вектор **direction**, то считается, что параметр *createExact*=false.

Если параметр *truncateByBounds*=false, то кривые **result** расположены внутри параметрического прямоугольника, охватывающего область определения параметров поверхности **surface**. В случаях, когда область определения параметров поверхности не совпадает с охватывающим её габаритным прямоугольником, кривые **result** могут выходить за края поверхности **surface**.

Если параметр *truncateByBounds*=true, то кривые **result** полностью расположены внутри поверхности **surface**. На рис. М.4.9.1 приведена нормальная проекция кривой на поверхность.

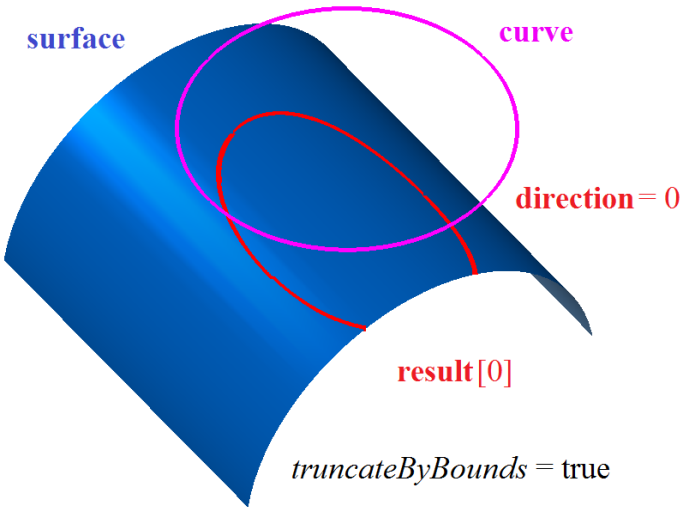


Рис. М.4.9.1.

Если параметр *truncateByBounds*=false, то кривые **result** могут выходить за пределы поверхности **surface**. На рис. М.4.9.2 приведена параллельная проекция кривой на поверхность.

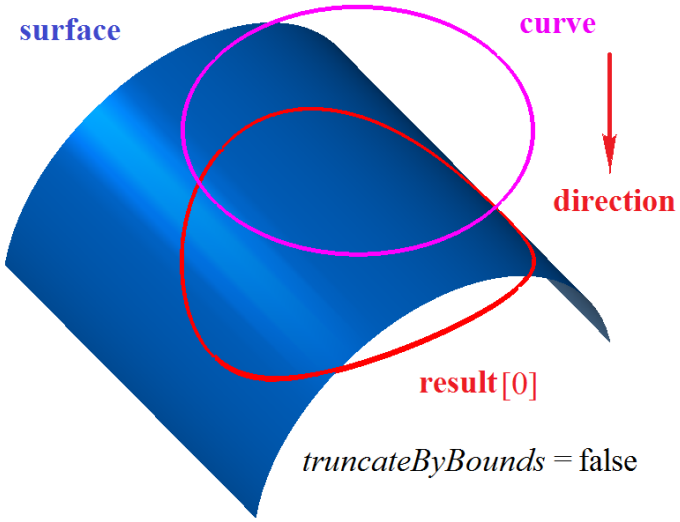


Рис. М.4.9.2.

М.4.10. Построение кривых пересечения поверхностей

Метод
MbResultType
IntersectionCurve (constMbSurface & **surface**1,
constMbSurface & **surface**2,
const MbSNameMaker & names,
MbWireFrame *& **result**)
выполняет построение кривых пересечения двух поверхностей.

Входными параметрами метода являются:

- **surface**1 – первая поверхность,
- **surface**2 – вторая поверхность,
- names – именователь элементов результата построения.

Выходным параметром метода является построенный каркас **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface_curve.h.

Две поверхности могут пересекаться по нескольким кривым. Рассматриваемый метод строит все кривые пересечения и объединяет их в каркас. Кривые каркаса являются кривыми пересечения поверхностей MbSurfaceIntersectionCurve, описанными в параграфе О.4.24. Кривая пересечения поверхностей MbSurfaceIntersectionCurve. Параметр names обеспечивает именование рёбер построенного каркаса. На рис. М.4.10.1 приведен результат пересечения поверхностей.

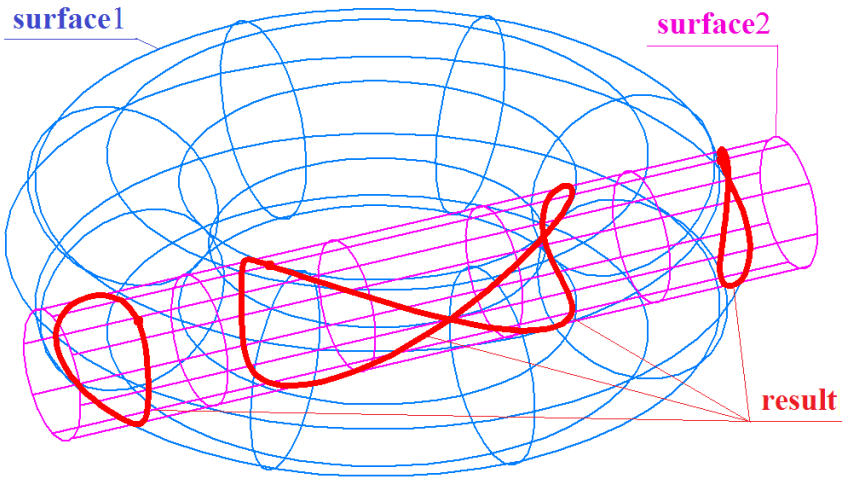


Рис. М.4.10.1.

М.4.11. Построение силуэтных кривых

Метод
MbResultType
SilhouetteCurve (const MbFace & **face**,
const MbVector3D & **eye**,
bool *perspective*,
RPArray<MbCurve3D> & **result**)
выполняет построение силуэтных кривых грани при параллельном или перспективном проецировании.

Входными параметрами метода являются:

- **face** – грань,
- **eye** – направление взгляда или вектор точки наблюдения,
- *perspective* – флаг перспективного проецирования.

Выходным параметром метода является множество построенных кривых **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface_curve.h.

Силуэтные кривые лежат на грани и отделяют видимую из точки наблюдения часть грани от её невидимой части. Для грани может существовать несколько силуэтных кривых. Для разных направлений взгляда и разных точек наблюдения набор силуэтных кривых разный.

Если *perspective*=false, то вектор **eye** определяет направления взгляда, которое постоянно для всех точек грани. Если *perspective*=true, то вектор **eye** определяет положение точки наблюдения, а не направление взгляда, так как направление взгляда для разных точек грани будет разным. Для параллельных проекций грани строятся силуэтные кривые с *perspective*=false. Для перспективных проекций грани строятся силуэтные кривые с *perspective*=true.

В частных случаях силуэтные кривые могут совпадать с краями грани. Силуэтные кривые, совпадающие с краями грани, не строятся, так как они совпадут с ребрами грани.

На рис. М.4.11.1 приведен пример силуэтных кривых грани при параллельном проецировании.

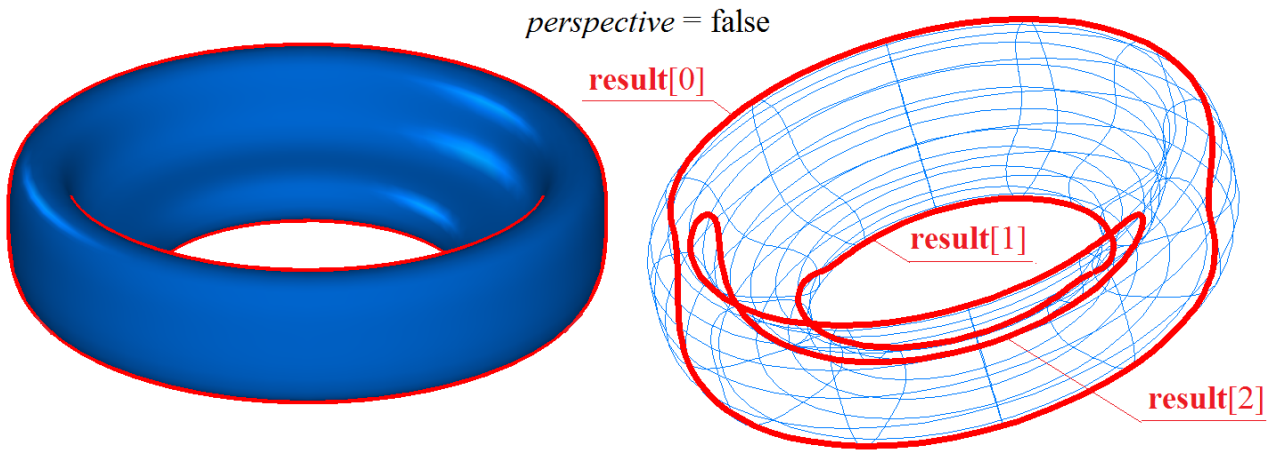


Рис. М.4.11.1.

На рис. М.4.11.2 приведена пример силуэтных кривых грани при перспективном проецировании с точкой наблюдения вблизи грани.

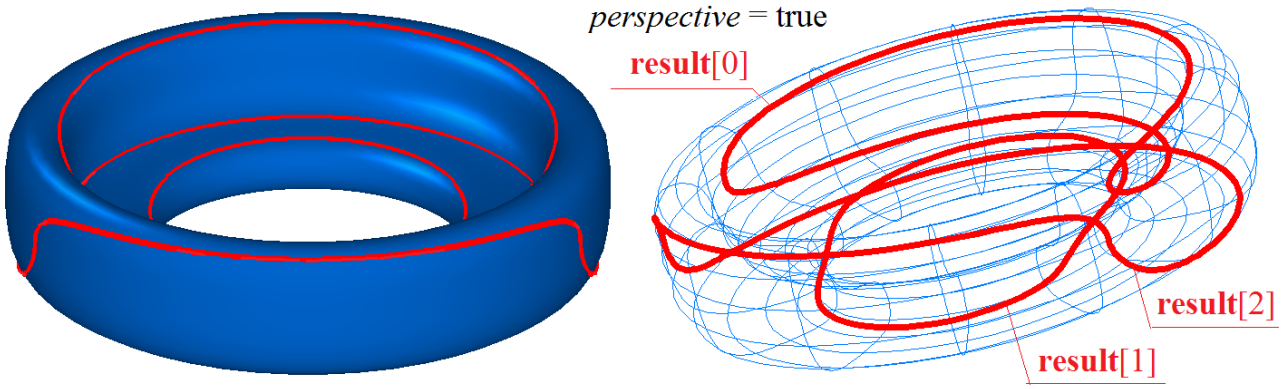


Рис. М.4.11.2.

Силуэтная кривая описана в параграфе О.4.21. Силуэтная кривая MbSilhouetteCurve.

Метод

MbResultType

SilhouetteCurve (const MbFace & **face**,
const MbAxis3D& **axis**,
RPArray<MbCurve3D> & **result**)

выполняет построение силуэтных кривых грани при её вращении вокруг заданной оси.

Входными параметрами метода являются:

- **face** – грань,
- **axis** – ось вращения.

Выходным параметром метода является множество построенных кривых **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface_curve.h.

Для построения токарного сечения требуется строить набор силуэтных кривых вращения грани. При вращении грани вокруг оси можно считать, что направление взгляда для точек грани ортогонально оси вращения и отрезку, соединяющему точку грани и проекцию этой точки на ось.

В частных случаях силуэтные кривые вращения могут совпадать с краями грани. Силуэтные кривые, совпадающие с краями грани, не строятся, так как они совпадут с ребрами грани.

На рис. М.4.11.3 приведен пример силуэтных кривых при вращении грани вокруг оси.

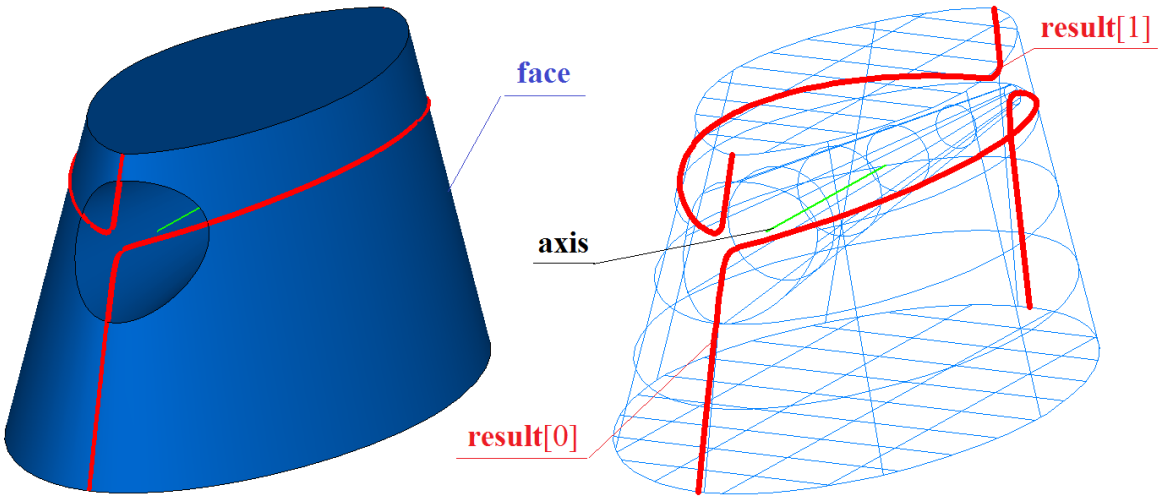


Рис. М.4.11.3.

М.4.12. Построение кривой сопряжения кривых

Метод
MbResultType
FilletCurve (const MbCurve3D & **curve**1,
double & *t*1,
double & *w*1,
const MbCurve3D & **curve**2,
double & *t*2,
double & *w*2,
double & *radius*,
bool *sense*,
bool & *unchanged*,
const MbeConnectingType *type*,
const MbSNameMaker & names,
MbElementarySurface *& **surface**,
MbWireFrame *& **result**)
выполняет построение кривой, гладко соединяющей две кривые и лежащей на цилиндрической поверхности, касающейся соединяемых кривых.

Входными параметрами метода являются:

- **curve**1 – первая кривая,
- *t*1 – параметр точки сопряжения первой кривой,
- *w*1 – параметр крайней точки первой кривой.
- **curve**2 – вторая кривая,
- *t*2 – параметр точки сопряжения второй кривой,
- *w*2 – параметр крайней точки второй кривой,
- *radius* – радиус сопряжения,
- *sense* – направление построенного сопряжения,
- *type* – способ сопряжения,
- names – именователь построенного сопряжения.

Выходными параметрами метода являются построенный каркас **result**, цилиндрическая поверхность **surface**, касающаяся кривых, параметры *t*1 и *t*2 точек сопряжения кривых, параметры *w*1 и *w*2 крайних точек сопрягаемых кривых, радиус *radius* сопряжения, флаг *unchanged* частного случая построенного сопряжения.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface_curve.h.

Метод даёт возможность выполнить сопряжение двух кривых пятью способами. При *type*=ft_Fillet будет построена кривая на цилиндрической поверхности (в частном случае дуга окружности), касающейся в точках сопряжения кривых **curve**1 и **curve**2. Для способа *type*=ft_Fillet *radius* может быть как входным, так и выходным параметром. Если *radius* является входным параметром (больше нуля), то параметры *t*1 и *t*2 будут рассчитаны, если *radius* не задан (равен нулю), то *t*1 и *t*2 должны быть входными параметрами. В данном способе возвращаемым параметром будет цилиндрическая поверхность **surface**, на которой построена кривая сопряжения.

Если кривые **curve**1 и **curve**2 являются кривыми на общей поверхности, то они могут быть сопряжены кривой пересечения общей поверхности с цилиндрической поверхностью. В этом случае параметр *type*=ft_OnSurface. Параметр *radius* может устанавливать радиус цилиндрической поверхности.

При *type*=ft_Spline будет построена NURBS-кривая, сопрягающая кривую **curve**1 в точке с параметром *t*1 и кривую **curve**2 в точке с параметром *t*2. Параметр *radius* может устанавливать натяжение NURBS-кривой в точках сопряжения.

При *type*=ft_Double кривые **curve**1 и **curve**2 будут сопряжены двумя дугами радиуса *radius*. Точки сопряжения будут располагаться на краях кривых. При необходимости между дугами может быть вставлен отрезок прямой.

При *type*=ft_Bridge кривые **curve**1 и **curve**2 будут сопряжены соединительной кривой MbBridgeCurve3D, представленной в параграфе О.4.17. Соединительная кривая MbBridgeCurve3D. Соединительная кривая представляет собой кубический сплайн Эрмита, построенный по двум крайним точкам и производным кривой в этих точках. В этом случае параметр *radius* не используется, а *t*1 и *t*2 должны быть входными параметрами.

Параметр *t*1 определяет точку параметрической области кривой **curve**1, в которой кривая **curve**1 сопрягается с построенной кривой. Для циклически замкнутой кривой **curve**1 параметр *w*1 совпадает с *t*1. Для незамкнутой кривой параметр *w*1 в совокупности с параметром *t*1 определяет участок кривой **curve**1, гладко переходящий в построенную кривую. Параметры *t*1 и *w*1 могут использоваться для усечения кривой **curve**1.

Параметр *t*2 определяет точку параметрической области кривой **curve**2, в которой кривая **curve**2 сопрягается с построенной кривой. Для циклически замкнутой кривой **curve**2 параметр *w*2 совпадает с *t*2. Для незамкнутой кривой параметр *w*2 в совокупности с параметром *t*2 определяет участок кривой **curve**2, гладко переходящий в построенную кривую. Параметры *t*2 и *w*2 могут использоваться для усечения кривой **curve**2.

Параметр *radius* определяет радиус кривой сопряжения (для случаев не равенства *type* значениям ft_Spline и ft_Bridge). Если *radius* больше нуля, то он является входным параметром. В этом случае будут найдены значения параметров *t*1 и *t*2 точек сопряжения. Если *radius* меньше или равен нулю, то он является выходным параметром. В этом случае должны быть заданы значения *t*1 и *t*2 параметров точек на сопрягаемых кривых.

Параметр *sense* определяет направление построенной кривой. При *sense*=true построенная кривая направлена от **curve**1 к **curve**2. При *sense*=false построенная кривая направлена от **curve**2 к **curve**1.

Параметр *unchanged* сообщает о изменениях в построенной кривой. Если *unchanged*=true, то была построена дуга окружности указанного радиуса. В общем случае возвращается значение *unchanged*=false.

Параметр names обеспечивает именование рёбер построенного каркаса.

На рис. М.4.12.1 приведен пример скругления кривых для способа *type*=ft_Fillet.

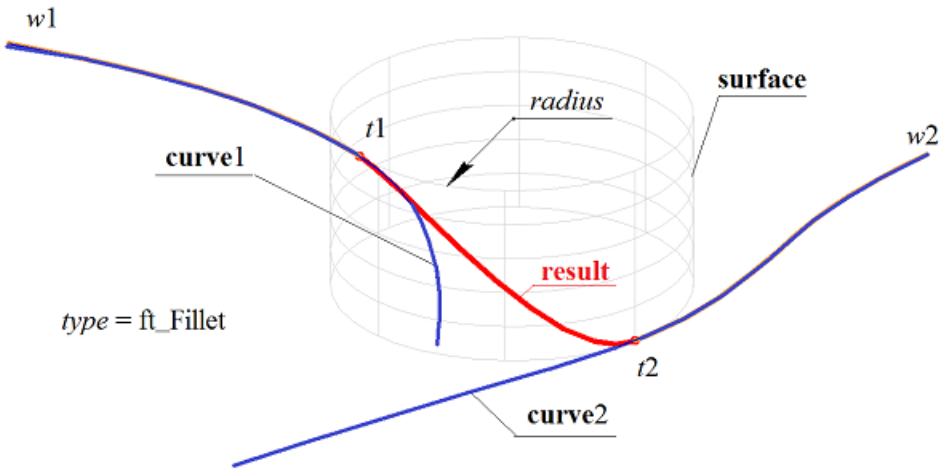


Рис. М.4.12.1.

На рис. М.4.12.2 приведен пример скругления кривых для способа *type*=ft_Double.

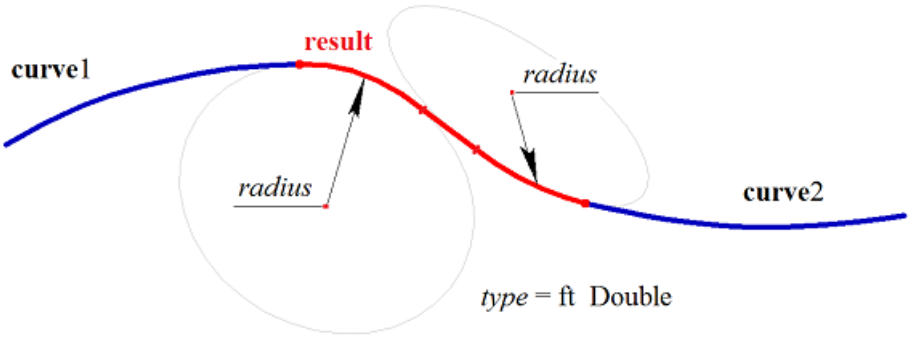


Рис. М.4.12.2.

На рис. М.4.12.3 приведен пример скругления кривых для способа *type*=ft_OnSurface.

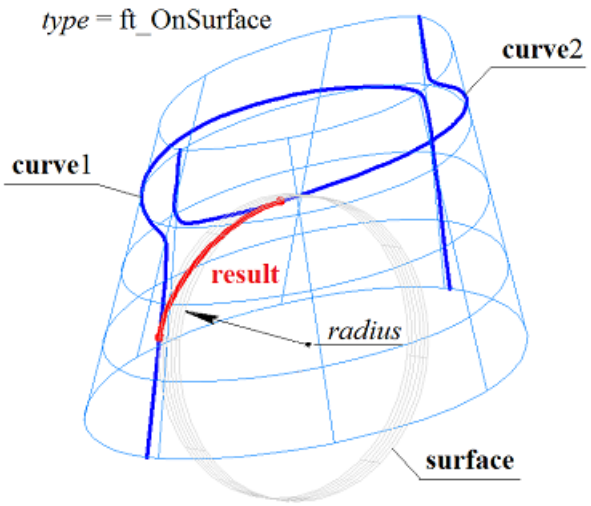


Рис. М.4.12.3.

Метод **FilletCurve** добавляет в журнал построенного каркаса строитель MbConnectingCurveCreator, который содержит все необходимые данные для построения сопряжения. Строитель MbConnectingCurveCreator объявлен в файле cr_connecting_curve.h.

М.5. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Поверхности описывают форму моделируемых объектов. На базе поверхностей строятся грани, из которых состоят твёрдые тела. В определенных случаях поверхности выступают в роли вспомогательных объектов для построения элементов геометрической модели. Все поверхности являются наследниками класса MbSurface и представлены в главе О.5. ПОВЕРХНОСТИ. Поверхности могут быть построены непосредственным вызовом соответствующих конструкторов или методами, приведёнными в данном параграфе.

М.5.1. Построение элементарной поверхности

Метод

MbResultType

ElementarySurface (const MbCartPoint3D & **point**0,
const MbCartPoint3D & **point**1,
const MbCartPoint3D & **point**2,
MbeSpaceType *surfaceType*,
MbSurface *& **result**)

выполняет построение элементарной поверхности.

Входными параметрами метода являются:

- **point**0 – точка, определяющая начало локальной системы координат поверхности,
- **point**1 – точка, определяющая направление оси локальной системы и радиус поверхности,
- **point**2 – точка, определяющая направление оси локальной системы,
- *surfaceType* – тип поверхности.

Выходным параметром метода является построенная поверхность **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface.h.

Параметр *surfaceType* определяет тип создаваемой поверхности. Контрольные точки **point**0, **point**1 и **point**2 определяют локальную систему координат и размеры элементарной поверхности. Точка **point**0 определяет начало локальной системы координат. В табл. М.5.1.1 приведены тип поверхности и ось локальной системы координат и величину, которую определяет точка **point**1 для создания поверхности типа *surfaceType*.

Таблица М.5.1.1.

surfaceType	**Тип поверхности**	Точка **point**1 определяет ось
st_Plane	плоскость	**axisX**
st_CylinderSurface	цилиндрическая поверхность	**axisZ**, высоту
st_ConeSurface	коническая поверхность	**axisZ**, высоту
st_SphereSurface	сферическая поверхность	**axisZ**
st_TorusSurface	поверхность тора	**AxisX**, больший радиус

Точка **point**1 определяет высоту цилиндра, высоту конуса, больший радиус тора. Точка **point**2 определяет радиус цилиндра, радиус конуса и угол конусности, радиус сферы, малый радиус тора.

При построении плоскости точки **point**0, **point**1 и **point**2 определяют локальную систему координат плоскости с началом в точке **point**0. Ось **axisX** локальной системы координат плоскости направлена из точки **point**0 в точку **point**1, ось **axisY** локальной системы координат плоскости ортогональна оси **axisX** и направлена в сторону точки **point**2. Область определения первого параметра равна удвоенному расстоянию между точками **point**0 и **point**1. Область определения

второго параметра равна удвоенному расстоянию между точками **point**0 и проекцией на ось **axisY** точки **point**2, рис. М.5.1.1.

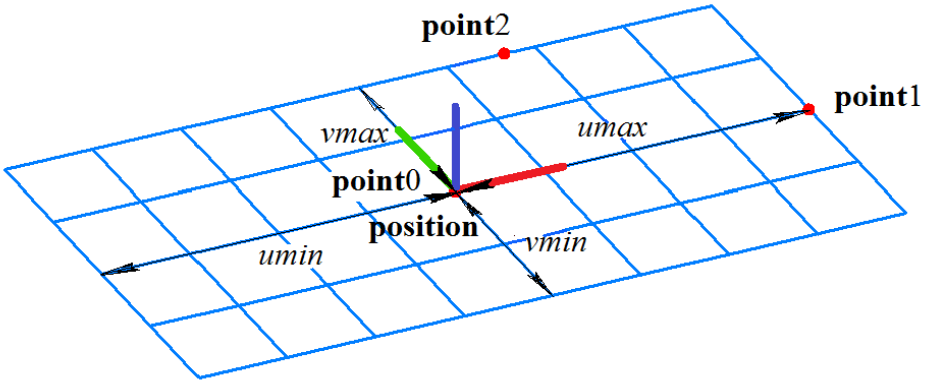


Рис. М.5.1.1.

При построении цилиндрической поверхности точка **point**0 определяет центр нижнего основания цилиндра, в котором располагается начало локальной системы координат. Точка **point**1 определяет центр верхнего основания цилиндра. Ось **axisZ** локальной системы координат поверхности направлена из точки **point**0 в точку **point**1. Точка **point**2 вместе с предыдущими точками определяет плоскость расположения осей **axisX** и **axisZ** локальной системы координат поверхности. Расстояние между точками **point**0 и **point**1 определяет высоту цилиндрической поверхности, расстояние от оси **axisZ** до точки **point**2 определяет радиус цилиндрической поверхности, рис. М.5.1.2.

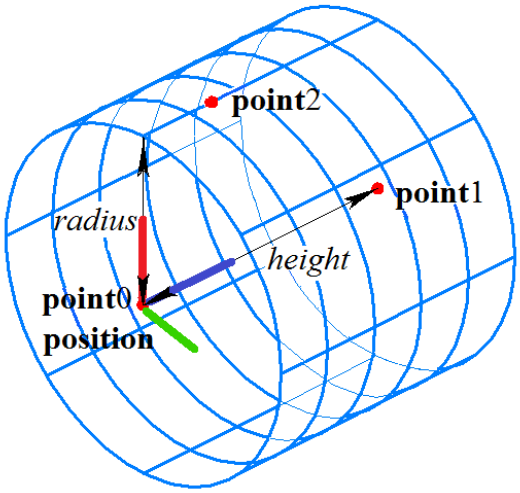


Рис. М.5.1.2.

Цилиндрическая поверхность описана в параграфе О.5.3. Цилиндрическая поверхность MbCylinderSurface.

При построении конической поверхности точка **point**0 определяет вершину конуса, в которой располагается начало локальной системы координат. Точка **point**1 определяет центр основания конуса и направление оси **axisZ** локальной системы координат конуса. Точка **point**2 вместе с предыдущими точками определяет плоскость расположения осей **axisX** и **axisZ** локальной системы координат поверхности. Расстояние между точками **point**0 и **point**1 определяет высоту конической поверхности. Точка **point**2 определяет угол конусности, из условия, что точка **point**2 лежит на конической поверхности, рис. М.5.1.3.

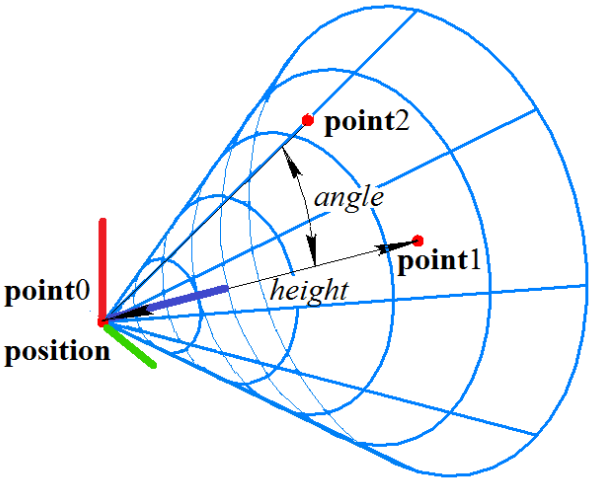


Рис. М.5.1.3.

Коническая поверхность описана в параграфе О.5.4. Коническая поверхность MbConeSurface.

При построении сферической поверхности точка **point**0 определяет центр сферы, в котором располагается начало локальной системы координат. Ось **axisZ** локальной системы координат поверхности направлена из точки **point**0 в точку **point**1. Точка **point**2 вместе с предыдущими точками определяет плоскость расположения осей **axisX** и **axisZ** локальной системы координат поверхности. Расстояние между точками **point**0 и **point**2 определяет радиус сферической поверхности, рис. М.5.1.4.

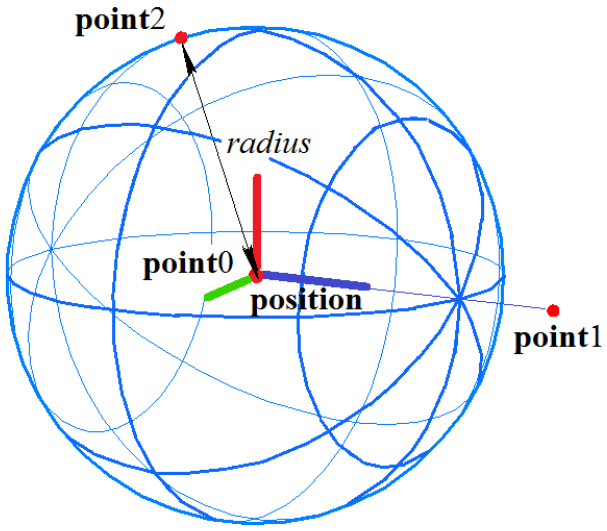


Рис. М.5.1.4.

Сферическая поверхность описана в параграфе О.5.5. Сферическая поверхность MbSphereSurface.

При построении поверхности тора точка **point**0 определяет центр тора, в котором располагается начало локальной системы координат. Ось **axisX** локальной системы координат поверхности направлена из точки **point**0 в точку **point**1. Точка **point**2 вместе с предыдущими точками определяют плоскость, в которой располагаются оси **axisX** и **axisZ** локальной системы координат поверхности. Расстояние между точками **point**0 и **point**1 определяет больший радиус тора, расстояние между точками **point**1 и **point**2 определяет меньший радиус тора, рис. М.5.1.5.

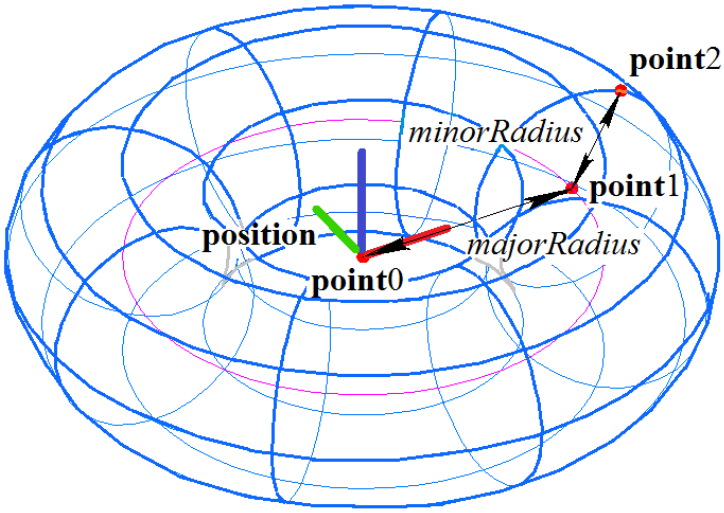


Рис. М.5.1.5.

Поверхность тора описана в параграфе О.5.6. Поверхность тора MbTorusSurface.

Тестовое приложение test.exe выполняет построение элементарной поверхности по заданным точкам командой меню «Создать->Поверхность->Элементарную->».

М.5.2. Построение NURBS поверхности

Метод
MbResultType
SplineSurface (const MbCartPoint3D & **pUMinVMin**,
const MbCartPoint3D & **pUMaxVMin**,
const MbCartPoint3D & **pUMaxVMax**,
const MbCartPoint3D & **pUMinVMax**,
size_t uCount,
size_t vCount,
size_t uDegree,
size_t vDegree,
MbSurface *& **result**)
выполняет построение плоской NURBS поверхности по угловым контрольным точкам.

Входными параметрами метода являются:

- **pUMinVMin** – левая нижняя угловая точка поверхности,
- **pUMaxVMin** – правая нижняя угловая точка поверхности,
- **pUMaxVMax** – правая верхняя угловая точка поверхности,
- **pUMinVMax** – левая верхняя угловая точка поверхности,
- uCount – количество контрольных точек вдоль первого параметра (по горизонтали),
- vCount – количество контрольных точек вдоль второго параметра (по вертикали),
- uDegree – порядок B–сплайнов вдоль первого параметра,
- vDegree – порядок B–сплайнов вдоль второго параметра.

Выходным параметром метода является построенная поверхность **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface.h.

Рассматриваемый метод строит NURBS-поверхность, контрольные точки которой расположены в узлах четырехугольной таблицы с uCount колонками и vCount строками. Порядок *B*-сплайнов поверхности по первому параметру равен uDegree, порядок *B*-сплайнов поверхности по второму параметру равен vDegree. Контрольные точки поверхности будут насчитаны из условия равномерного расположения и совпадения угловых точек с точками **pUMinVMin**, **pUMaxVMin**, **pUMaxVMax**, **pUMinVMax**, рис. М.5.2.1.

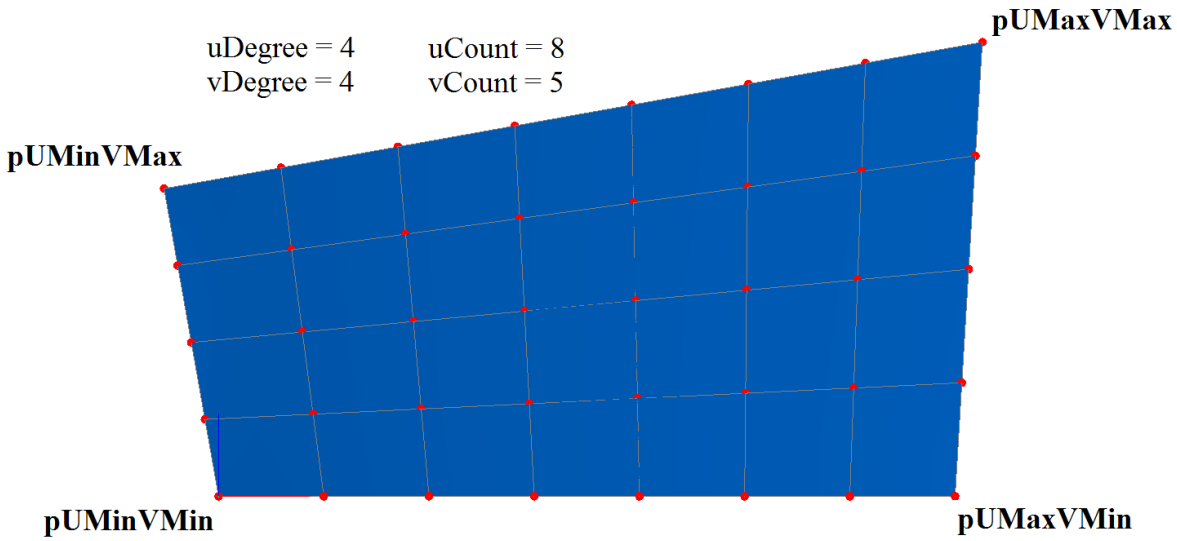


Рис. М.5.2.1.

Веса всех контрольных точек равны единице. Построенная поверхность предназначена для дальнейшей модификации. Для параметров метода должны выполняться равенства: uCount≥uDegree и vCount≥vDegree. NURBS-поверхность описана в параграфе О.5.22. NURBS-поверхность MbSplineSurface.

Метод

MbResultType

SplineSurface (const SArray<MbCartPoint3D> & **points**,
const SArray<double> & *weights*,
size_t uCount,
size_t vCount,
size_t uDegree,
const SArray<double> & *uKnots*,
bool *uClosed*,
size_t vDegree,
const SArray<double> & *vKnots*,
bool *vClosed*,
MbSurface *& **result**)

выполняет построение NURBS поверхности по контрольным точкам и их весам.

Входными параметрами метода являются:

- **points** – множество контрольных точек, условно расположенных в виде vCount строк по uCount точек в каждой строке,
- *weights* – множество весов контрольных точек, согласованное с множеством контрольных точек,
- uCount – количество контрольных точек вдоль первого параметра (в каждой строке),
- vCount – количество контрольных точек вдоль второго параметра (количество строк),
- uDegree – порядок B–сплайнов вдоль первого параметра,
- *uKnots* – узловой вектор первого параметра,
- *uClosed* – циклическая замкнутость поверхности по первому параметру,
- vDegree – порядок B–сплайнов вдоль второго параметра.
- *vKnots* – узловой вектор второго параметра,
- *vClosed* – циклическая замкнутость поверхности по второму параметру.

Выходным параметром метода является построенная поверхность **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface.h.

Рассматриваемый метод строит NURBS-поверхность с контрольными точками **points**. Контрольные точки множества **points** будут разбиты на условные строки и столбцы. В каждой строке

будет содержаться uCount контрольных точек из множества **points**, количество строк будет равно vCount. Таким образом множество **points** должно содержать uCount·vCount контрольных точек. Порядок *B*-сплайнов поверхности по первому параметру равен uDegree, порядок *B*-сплайнов поверхности по второму параметру равен vDegree. Для параметров метода должны выполняться равенства: uCount≥uDegree и vCount≥vDegree. NURBS-поверхность описана в параграфе О.5.22. NURBS-поверхность MbSplineSurface.

Множества *weights*, *uKnots*, *vKnots* могут быть пустыми.

Если множество *weights* не пусто, то оно должно быть согласовано с множеством контрольных точек **points**.

Если множества *uKnots* и *vKnots* не пусты, то они должны содержать определенное количество элементов: для *uClosed*=false узловой вектор *uKnots* должен содержать число элементов, равное uCount+uDegree; для *uClosed*=true узловой вектор *uKnots* должен содержать число элементов, равное uCount+2uDegree–1; для *vClosed*=false узловой вектор *vKnots* должен содержать число элементов, равное vCount+vDegree; для *vClosed*=true узловой вектор *vKnots* должен содержать число элементов, равное vCount+2vDegree–1. На рис. М.5.2.2 приведено расположение контрольных точек для построения сплайновой поверхности в форме тора.

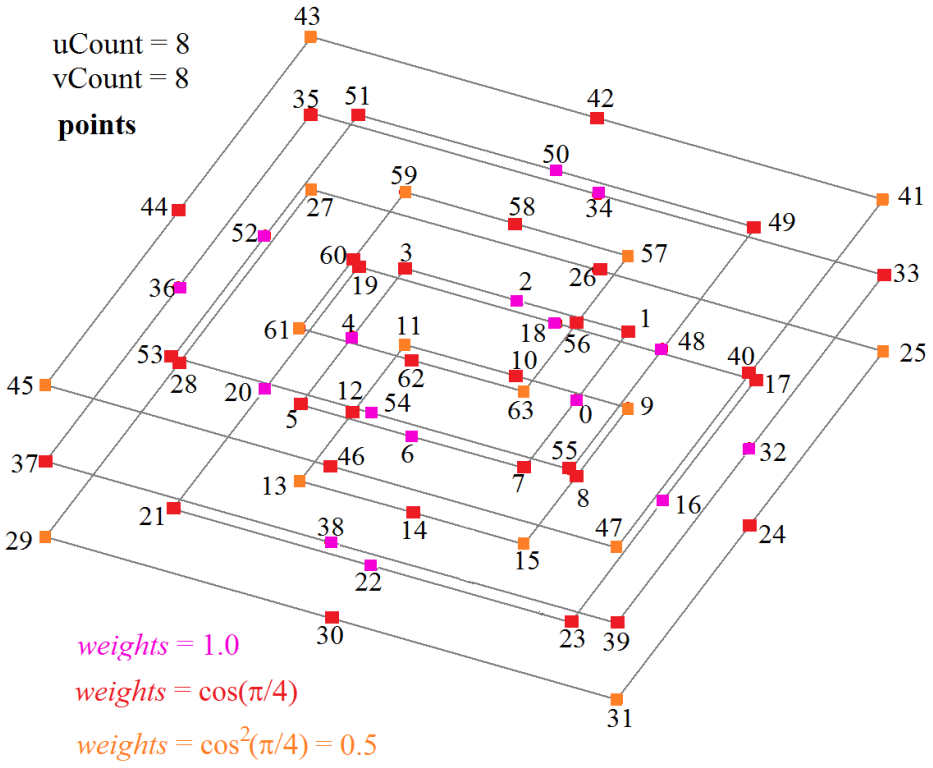


Рис. М.5.2.2.

На рис. М.5.2.3 приведена сплайновая поверхность в форме тора, построенная на указанных выше контрольных точках.

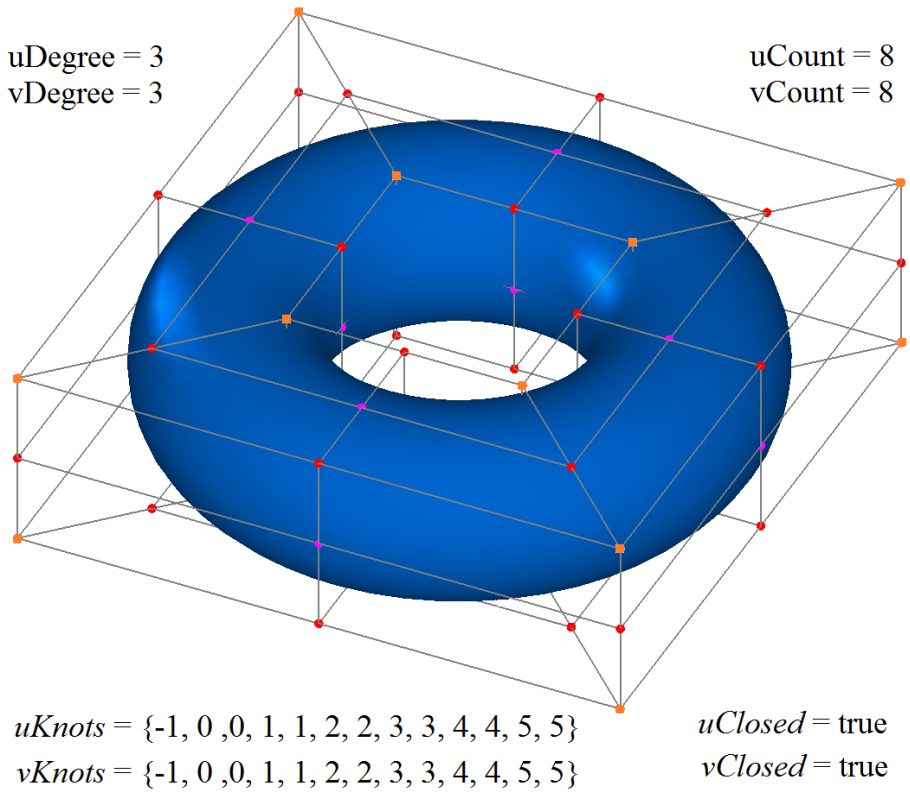


Рис. М.5.2.3.

Ниже приведен текст на языке программирования C++, реализующий построение сплайновой поверхности в форме тора рассматриваемым методом (центр тора совпадает с началом глобальной системы координат, ось тора направлена по глобальной оси Z).

```
//------------------------------------------------------------------------------
void AddTorusPoints( double r, double z, SArray<MbCartPoint3D> & points, double w, SArray<double> & weights )
{
 MbCartPoint3D p( r, 0.0, z );
 MbVector3D toX( 1.0, 0.0, 0.0 ), toY( 0.0, 1.0, 0.0 );
 double wI( w ), wA = w * ::cos( M_PI_4 );
 points.Add( p );  weights.Add( wI );
 p.Add( toY, r );  points.Add( p );  weights.Add( wA );
 p.Add( toX,-r );  points.Add( p );  weights.Add( wI );
 p.Add( toX,-r );  points.Add( p );  weights.Add( wA );
 p.Add( toY,-r );  points.Add( p );  weights.Add( wI );
 p.Add( toY,-r );  points.Add( p );  weights.Add( wA );
 p.Add( toX, r );  points.Add( p );  weights.Add( wI );
 p.Add( toX, r );  points.Add( p );  weights.Add( wA );
}
//------------------------------------------------------------------------------
void GetTorusPoints( double majorR, double minorR, SArray<MbCartPoint3D> & points, SArray<double> & weights )
{
 double zLavel( 0.0 );
 double w0( 1.0 ), wA = ::cos( M_PI_4 );
 ::AddTorusPoints( majorR - minorR, zLavel, points, w0, weights );
 ::AddTorusPoints( majorR - minorR,-minorR, points, wA, weights );
 ::AddTorusPoints( majorR         ,-minorR, points, w0, weights );
 ::AddTorusPoints( majorR + minorR,-minorR, points, wA, weights );
 ::AddTorusPoints( majorR + minorR, zLavel, points, w0, weights );
 ::AddTorusPoints( majorR + minorR, minorR, points, wA, weights );
 ::AddTorusPoints( majorR         , minorR, points, w0, weights );
 ::AddTorusPoints( majorR - minorR, minorR, points, wA, weights );
}
//------------------------------------------------------------------------------
void GetTorusKnots( double tBeg, double tEnd, SArray<double> & knots )
{
 double dt = ( tEnd - tBeg ) / 4.0;
 double t = tBeg - dt;  knots.Add( t );
 t = tBeg;  knots.Add( t );  knots.Add( t );
 t += dt;  knots.Add( t );  knots.Add( t );
```

```
  t += dt;  knots.Add( t );  knots.Add( t );
  t += dt;  knots.Add( t );  knots.Add( t );
  t = tEnd;  knots.Add( t );  knots.Add( t );
  t += dt;  knots.Add( t );  knots.Add( t );
}
//------------------------------------------------------------------------------
MbSurface * CreateTorusSurface( double majorR, double minorR )
{
  MbSurface * result( NULL );
  MbResultType res( rt_Error );
  if ( majorR > METRIC_NEAR && majorR > minorR - EPSILON ) {
    SArray<MbCartPoint3D> points( 64, 1 );
    SArray<double> weights( 64, 1 );
    SArray<double> uKnots( 13, 1 );
    SArray<double> vKnots( 13, 1 );
    size_t uDegree( 3 ), vDegree( 3 );
    size_t uCount( 8 ), vCount( 8 );
    bool uClosed( true ), vClosed( true );
    ::GetTorusPoints( majorR, minorR, points, weights );
    ::GetTorusKnots( 0.0,  4.0, uKnots );
    ::GetTorusKnots( -2.0, 2.0, vKnots );
    res = ::SplineSurface( points, weights, uCount, vCount, uDegree, uKnots, uClosed, vDegree, vKnots, vClosed, result );
  }
  return ( res == rt_Success ) ? result : NULL;
}
```

Метод
MbResultType
NurbsSurface (constMbSurface & **surface**,
VERSION version,
MbSurface *& **result**)
выполняет построение NURBS-копии заданной поверхности.

Входными параметрами метода являются:

- **surface** – исходная поверхность,
- version – версия построения.

Выходным параметром метода является построенная поверхность **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface.h.

Рассматриваемый метод построит NURBS-поверхность, форма которой копирует форму исходной поверхности. NURBS-поверхность описана в параграфе О.5.22. NURBS-поверхность MbSplineSurface. Для большинства типов поверхностей NURBS-копия по форме полностью совпадает с исходной поверхностью. В случае невозможности точно воспроизвести форму исходной поверхности NURBS-копия аппроксимирует исходную поверхность с погрешностью, не превышающей 0,0001.

Если исходная поверхность является поверхностью с произвольными границами MbCurveBoundedSurface, описанной в параграфе О.5.27. Поверхность с произвольными границами MbCurveBoundedSurface, то рассматриваемый метод построит поверхность с произвольными границами, базовой поверхностью которой будет NURBS-копия базовой поверхности исходной поверхности.

М.5.3. Построение поверхности выдавливания

Метод
MbResultType
ExtrusionSurface (MbCurve3D & **curve**,
const MbVector3D & **direction**,
MbSurface *& **result**)
выполняет построение поверхности выдавливания.

Входными параметрами метода являются:

- **curve** – образующая кривая,
- **direction** – вектор, определяющий направление и длину выдавливания.

Выходным параметром метода является построенная поверхность **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface.h.

Поверхность выдавливания относится к разновидности поверхностей движения, которые получают путем движения образующей кривой вдоль направляющей кривой. Поверхность выдавливания получают путем движения образующей кривой вдоль отрезка, направление и длину которого дает вектор **direction**. Поверхность выдавливания представлена в параграфе О.5.7. Поверхность выдавливания MbExtrusionSurface. На рис. М.5.3.1 приведена поверхность, построенная выдавливанием кривой вдоль заданного вектора.

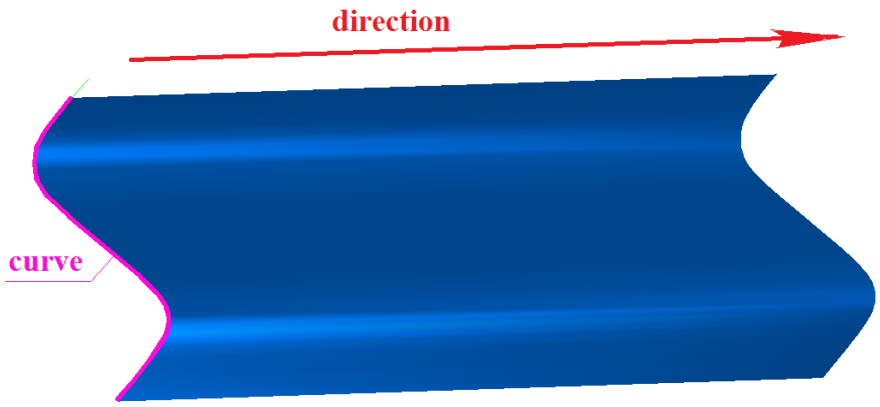


Рис. М.5.3.1.

М.5.4. Построение поверхности вращения

Метод
MbResultType
RevolutionSurface (MbCurve3D & **curve**,
const MbCartPoint3D & **origin**,
const MbVector3D & **axis**,
double *angle*,
MbSurface *& **result**)
выполняет построение поверхности вращения.

Входными параметрами метода являются:

- **curve** – образующая кривая,
- **origin** – точка на оси вращения,
- **axis** – направление оси вращения,
- *angle* – угол вращения.

Выходным параметром метода является построенная поверхность **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface.h.

Поверхность вращения относится к разновидности поверхностей движения, которые получают путем движения образующей кривой вдоль направляющей кривой. Поверхность вращения получают путем движения образующей кривой вдоль дуги окружности, у которой центр расположен в точке **origin**, ось параллельна вектору **axis**, угол раствора равен величине *angle*. Поверхность вращения представлена в параграфе О.5.8. Поверхность вращения MbRevolutionSurface. На рис. М.5.4.1 приведена поверхность, построенная вращением кривой вокруг оси на заданный угол.

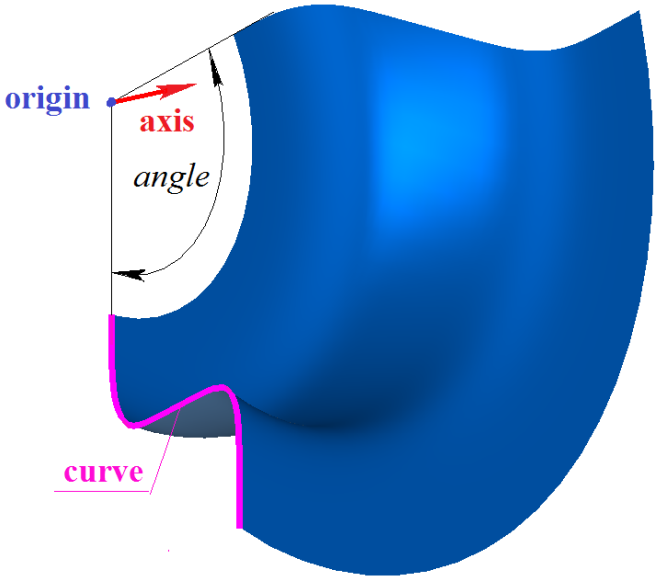


Рис. М.5.4.1.

М.5.5. Построение поверхностей заметания

Метод
MbResultType
ExpansionSurface (MbCurve3D & **curve**,
MbCurve3D & **spine**,
MbSurface *& **result**)
выполняет построение поверхности перемещения.

Входными параметрами метода являются:

- **curve** – образующая кривая,
- **spine** – направляющая кривая.

Выходным параметром метода является построенная поверхность **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface.h.

Поверхности заметания относятся к разновидности поверхностей движения, которые получают путем движения образующей кривой вдоль направляющей кривой. Поверхность перемещения получают путем плоскопараллельного движения образующей кривой вдоль направляющей кривой. Поверхность перемещения представлена в параграфе О.5.9. Поверхность перемещения MbExpansionSurface. На рис. М.5.5.1 приведена поверхность, построенная плоскопараллельным перемещением образующей кривой вдоль направляющей кривой.

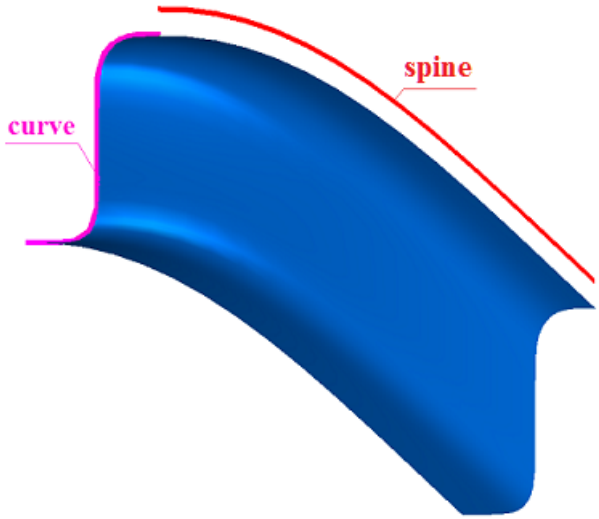


Рис. М.5.5.1.

Метод
MbResultType
EvolutionSurface (MbCurve3D & **curve**,
MbCurve3D & **spine**,
MbSurface *& **result**)
выполняет построение кинематической поверхности.

Входными параметрами метода являются:

- **curve** – образующая кривая,
- **spine** – направляющая кривая.

Выходным параметром метода является построенная поверхность **result**.
При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface.h.

Кинематическую поверхность получают путем движения образующей кривой **curve** вдоль направляющей кривой **spine**. Кинематическая поверхность представлена в параграфе О.5.11. Кинематическая поверхность MbEvolutionSurface. На рис. М.5.5.2 приведена кинематическая поверхность, построенная заметанием образующей кривой вдоль направляющей кривой.

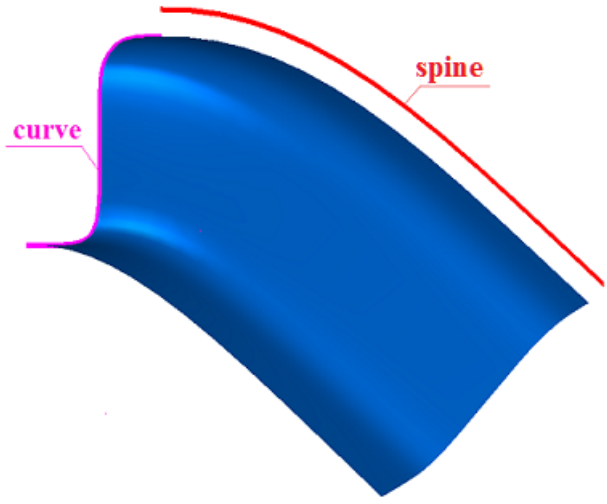


Рис. М.5.5.2.

Метод

MbResultType

SpiralSurface (MbCurve3D & **curve**,
const MbCartPoint3D & **point**0,
const MbCartPoint3D & **point**1,
const MbCartPoint3D & **point**2,
double *step*,
MbSurface *& **result**)

выполняет построение спиральной поверхности.

Входными параметрами метода являются:

- **curve** – образующая кривая,
- **point**0 – начало локальной системы координат,
- **point**1 – точка на оси Z локальной системы координат,
- **point**2 – точка в направлении оси X локальной системы координат.
- *step* – шаг спирали.

Выходным параметром метода является построенная поверхность **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface.h.

Спиральная поверхность является частным случаем кинематической поверхности, описанной выше. Её получают путем движения образующей кривой **curve** вдоль цилиндрической спирали. Контрольные точки **point**0, **point**1 и **point**2 определяют локальную систему координат и длину спирали. Точка **point**0 определяет начало локальной системы координат. Ось **axisZ** локальной системы координат спирали направлена из точки **point**0 в точку **point**1. Точка **point**2 вместе с предыдущими точками определяет плоскость расположения осей **axisX** и **axisZ** локальной системы координат спирали. Расстояние между точками **point**0 и **point**1 определяет высоту спирали. Параметр *step* определяет шаг спирали. Спиральная поверхность представлена в параграфе О.5.10. Спиральная поверхность MbSpiralSurface. На рис. М.5.5.3 приведена спиральная поверхность

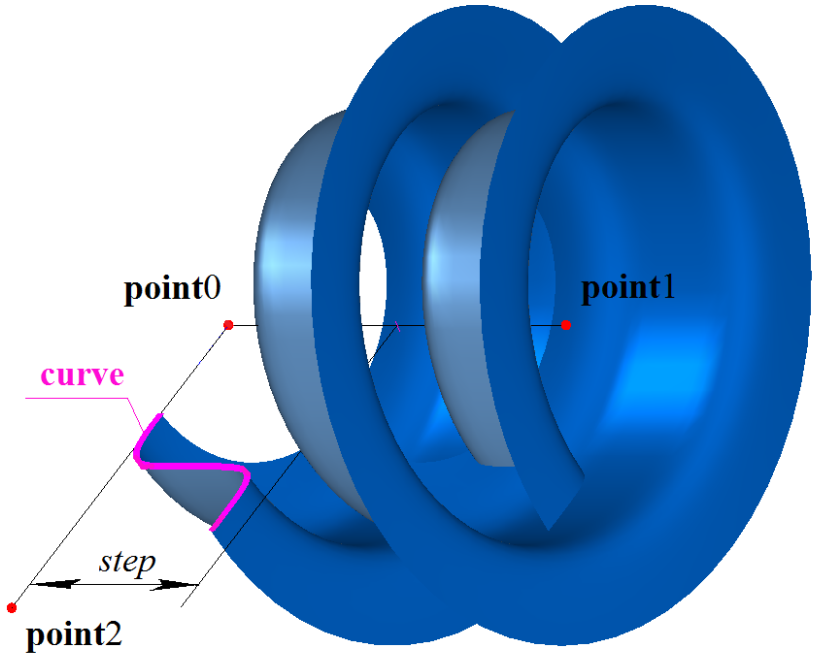


Рис. М.5.5.3.

М.5.6. Построение поверхности по семейству кривых

Метод

MbResultType
LoftedSurface (const RPArray<MbCurve3D> & **curves**,
bool *closed*,
const MbVector3D & **begDirection**,
const MbVector3D & **endDirection**,
MbSurface *& **result**)
выполняет построение поверхности по семейству кривых.

Входными параметрами метода являются:

- **curves** – семейство кривых,
- *closed* – циклическая замкнутость поверхности по второму параметру,
- **begDirection** – вектор направления в начале поверхности,
- **endDirection** – вектор направления в конце поверхности.

Выходным параметром метода является построенная поверхность **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface.h.

Построенная поверхность проходит по множеству кривых **curves**. Если все кривые семейства циклически замкнуты, то поверхность будет циклически замкнутой по первому параметру. При построении поверхности следует следить за направлениями кривых, так как при разнонаправленности кривых возможно самопересечение поверхности. Параметр *closed* определяет циклическую замкнутость поверхности по второму параметру. Для значения *closed*=false параметры **begDirection** и **endDirection** определяют направление поверхности на крайних кривых. Если длина векторов **begDirection** и **endDirection** равна нулю, то направление поверхности на крайних кривых будет определено из условия равенства нулю вторых производных на торцах поверхности. Поверхность на семействе кривых представлена в параграфе О.5.15. Поверхность на семействе кривых MbLoftedSurface. На рис. М.5.6.1 приведена циклически замкнутая по второму параметру поверхность, построенная по семейству кривых.

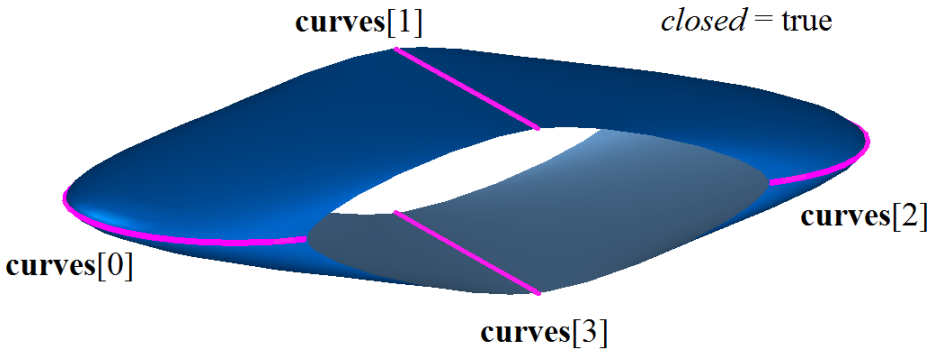


Рис. М.5.6.1.

На рис. М.5.6.2 приведена незамкнутая поверхность, построенная по семейству кривых, с заданными направлениями на торцах.

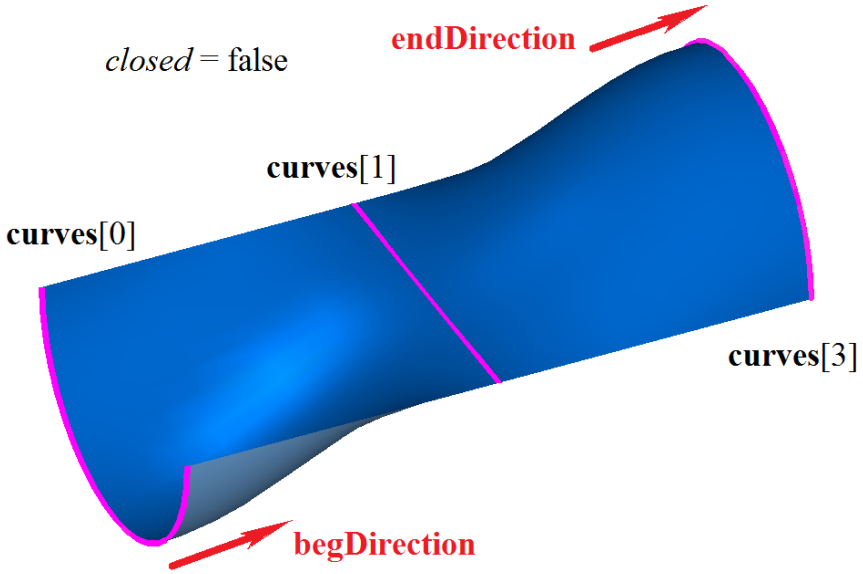


Рис. М.5.6.2.

Метод
MbResultType
LoftedSurface (const RPArray<MbCurve3D> & **curves**,
MbCurve3D & **spine**,
MbSurface *& **result**)
выполняет построение поверхности по семейству кривых и направляющей кривой.

Входными параметрами метода являются:

- **curves** – семейство кривых,
- **spine** – направляющая кривая.

Выходным параметром метода является построенная поверхность **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface.h.

Построенная поверхность проходит по множеству кривых **curves**. Направляющая кривая **spine** определяет форму поверхности между кривыми семейства. Поверхность на семействе кривых и направляющей представлена в параграфе О.5.16. Поверхность на семействе кривых и направляющей MbElevationSurface. На рис. М.5.6.3 приведена поверхность, построенная по семейству кривых и направляющей.

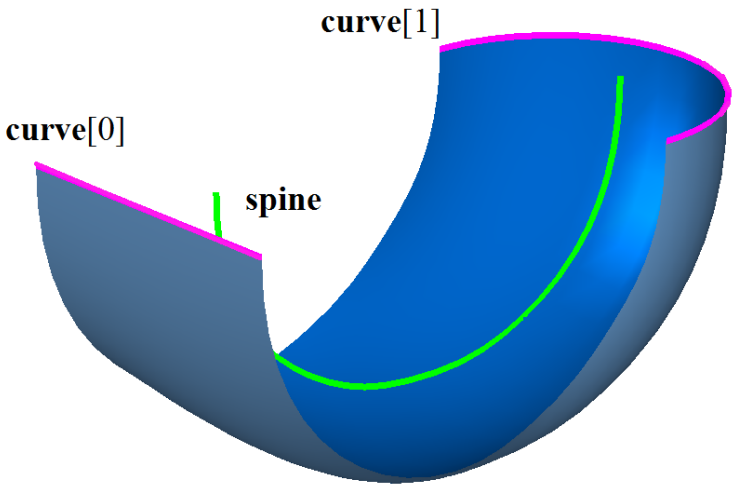


Рис. М.5.6.3.

M.5.7. Построение линейчатых поверхностей

Метод
MbResultType
SectorSurface (MbCurve3D & **curve**,
const MbCartPoint3D & **point**,
MbSurface *& **result**)
выполняет построение секториальной поверхности по кривой и точке.

Входными параметрами метода являются:

- **curve** – кривая,
- **point** – точка.

Выходным параметром метода является построенная поверхность **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface.h.

Построенная поверхность проходит по кривой **curve** и точке **point**. В точке **point** поверхность имеет полюс, в котором обращается в ноль производная радиуса-вектора поверхности по первому параметру. Кривая **curve** не должна быть вырожденной и не должна проходить через точку **point**. Секториальная поверхность представлена в параграфе О.5.13. Секториальная поверхность MbSectorSurface. На рис. М.5.7.1 приведена секториальная поверхность.

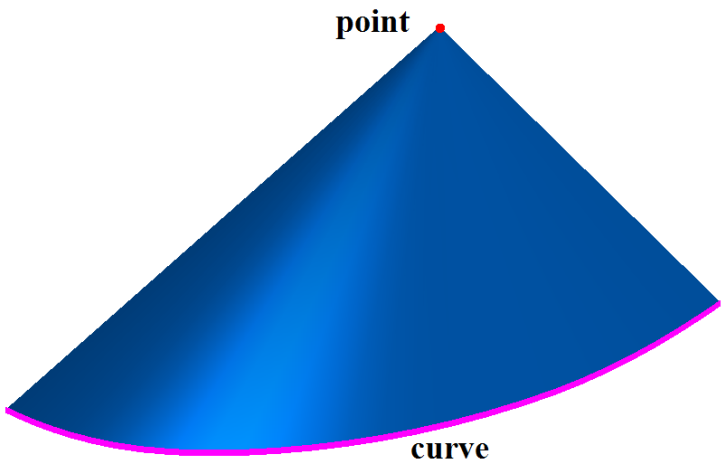


Рис. М.5.7.1.

Метод
MbResultType
RuledSurface (MbCurve3D & **curve**1,
MbCurve3D & **curve**2,
MbSurface *& **result**)
выполняет построение линейчатой поверхности по двум кривым.

Входными параметрами метода являются:

- **curve**1 – первая кривая,
- **curve**2 – вторая кривая.

Выходным параметром метода является построенная поверхность **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface.h.

Построенная поверхность проходит по кривым **curve**1 и **curve**2. Чтобы поверхность не имела самопересечения, кривые **curve**1 и **curve**2 не должны пересекаться в точках, не совпадающих с краями кривых. Линейчатая поверхность представлена в параграфе О.5.14. Линейчатая поверхность MbRuledSurface. На рис. М.5.7.2 приведена линейчатая поверхность.

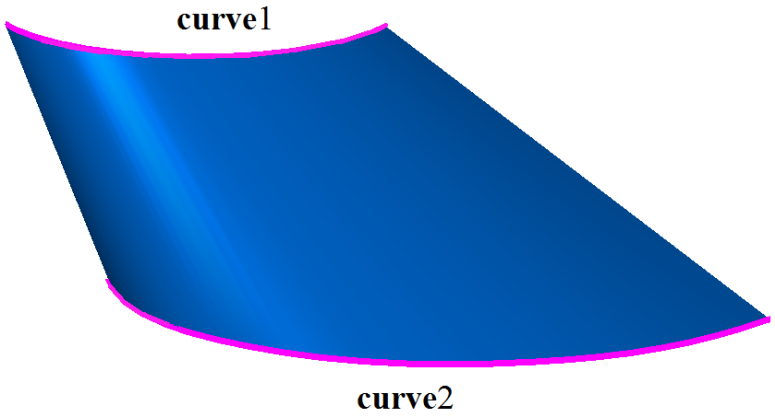


Рис. М.5.7.2.

М.5.8. Построение поверхности по трем кривым

Метод
MbResultType
CornerSurface (MbCurve3D & **curve**1,
MbCurve3D & **curve**2,
MbCurve3D & **curve**3,
MbSurface *& **result**)
выполняет построение поверхности по трем кривым.

Входными параметрами метода являются:

- **curve**1 – первая кривая,
- **curve**2 – вторая кривая,
- **curve**3 – третья кривая.

Выходным параметром метода является построенная поверхность **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface.h.

В общем случае построенная поверхность не проходит по кривым **curve**1, **curve**2 и **curve**3. Для построения поверхности кривые должны иметь точки скрещения, в которых отрезок, соединяющий точки скрещения, ортогонален кривым. Построенная поверхность будет проходить по кривым **curve**1, **curve**2 и **curve**3, если кривые попарно пересекаются. Поверхность имеет полюс, в котором обращается в ноль производная радиуса-вектора поверхности по первому параметру. Поверхность, построенная по трем кривым, представлена в параграфе О.5.17. Поверхность на трёх кривых MbCornerSurface. На рис. М.5.8.1 приведена поверхность, построенная по трем кривым, в двух ракурсах.

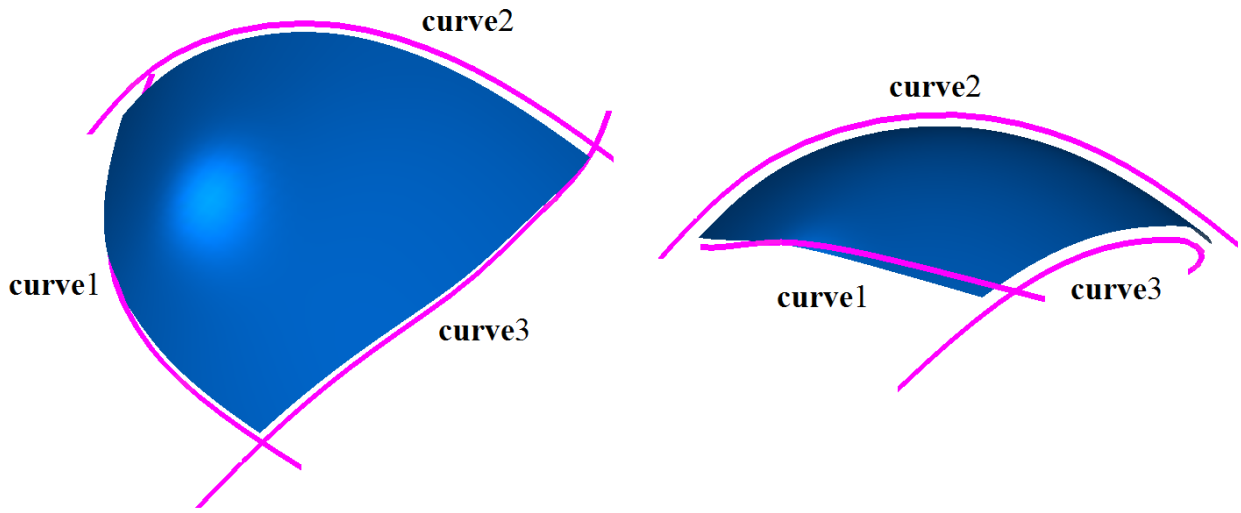


Рис. М.5.8.1.

М.5.9. Построение поверхности по четырем кривым

Метод
MbResultType
CoverSurface (MbCurve3D & **curve**1,
MbCurve3D & **curve**2,
MbCurve3D & **curve**3,
MbCurve3D & **curve**4,
MbSurface *& **result**)
выполняет построение поверхности по четырем кривым.

Входными параметрами метода являются:

- **curve**1 – первая кривая,
- **curve**2 – вторая кривая,
- **curve**3 – третья кривая,
- **curve**4 – четвертая кривая.

Выходным параметром метода является построенная поверхность **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface.h.

В общем случае построенная поверхность не проходит по кривым **curve**1, **curve**2, **curve**3 и **curve**4. Для построения поверхности кривые **curve**1 и **curve**2, **curve**3 и **curve**4, **curve**1 и **curve**4, **curve**2 и **curve**3 должны иметь точки скрещения, в которых отрезок, соединяющий точки скрещения, ортогонален кривым. Построенная поверхность будет проходить по кривым **curve**1, **curve**2, **curve**3 и **curve**4, если кривые попарно пересекаются. Поверхность, построенная по четырём кривым, представлена в параграфе О.5.18. Поверхность Кунса MbCoverSurface. На рис. М.5.9.1 приведена поверхность, построенная по четырём кривым, в двух ракурсах.

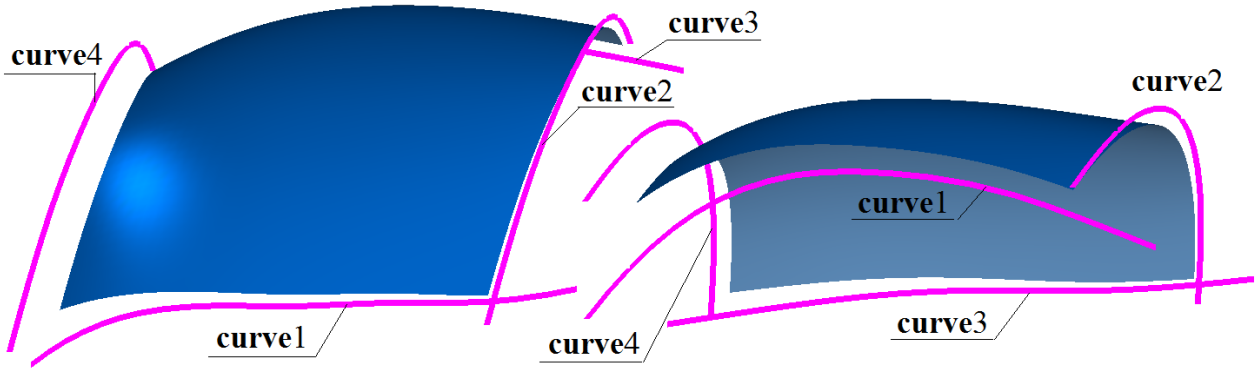


Рис. М.5.9.1.

М.5.10. Построение поверхности по сети кривых

Метод
MbResultType
MeshSurface (const RPArray<MbCurve3D> & **uCurves**,
const RPArray<MbCurve3D> & **vCurves**,
MbSurface *& **result**)
выполняет построение поверхности по двум семействам кривых.

Входными параметрами метода являются:

- **uCurves** – первое множество кривых (вдоль первого параметра),
- **vCurves** – второе множество кривых (вдоль второго параметра).

Выходным параметром метода является построенная поверхность **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface.h.

Для построения поверхности каждая кривая множества **uCurves** должна пересекаться со всеми кривыми множества **vCurves** и, соответственно, каждая кривая множества **vCurves** должна пересекаться со всеми кривыми множества **uCurves**. Чтобы не было самопересечения поверхности, соседние кривые множества **uCurves** должны иметь одинаковое направление и соседние кривые множества **vCurves** должны иметь одинаковое направление. Построенная поверхность будет проходить по кривым множества **uCurves** и множества **vCurves**. Поверхность, построенная по сети кривых, представлена в параграфе О.5.20. Поверхность на сети кривых MbMeshSurface. На рис. М.5.10.1 приведены два множества кривых, а на рис. М.5.10.2 приведена построенная поверхность, построенная на этих кривых.

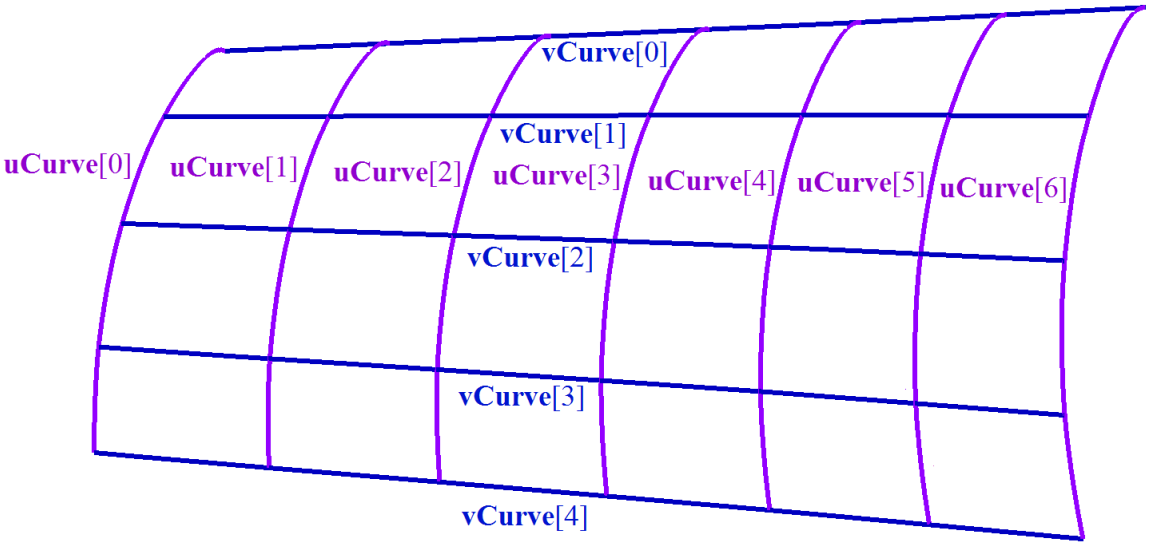


Рис. М.5.10.1.

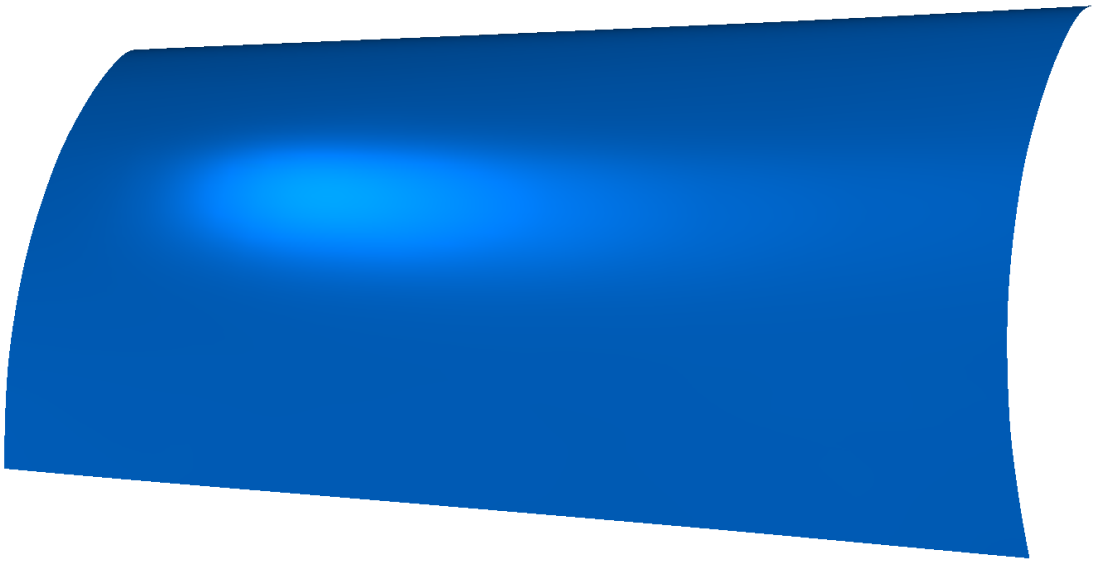


Рис. М.5.10.2.

М.5.11. Построение эквидистантной поверхности

Метод
MbResultType
OffsetSurface (MbSurface & **surface**,
double *distance*,
MbSurface *& **result**)
выполняет построение эквидистантной поверхности.

Входными параметрами метода являются:

- **surface** – базовая поверхность,
- *distance* – величина эквидистанты (со знаком).

Выходным параметром метода является построенная поверхность **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface.h.

Построение поверхности возможно при отсутствии у поверхности **surface** точек, в которых поверхность изгибается в стороны эквидистанты с радиусом кривизны меньше чем *distance*. Каждая точка построенной поверхности располагается на расстоянии *distance* по местной нормали поверхности **surface** с такими же параметрами. Эквидистантная поверхность представлена в параграфе О.5.23. Эквидистантная поверхность MbOffsetSurface. На рис. М.5.11.1 приведена эквидистантная поверхность.

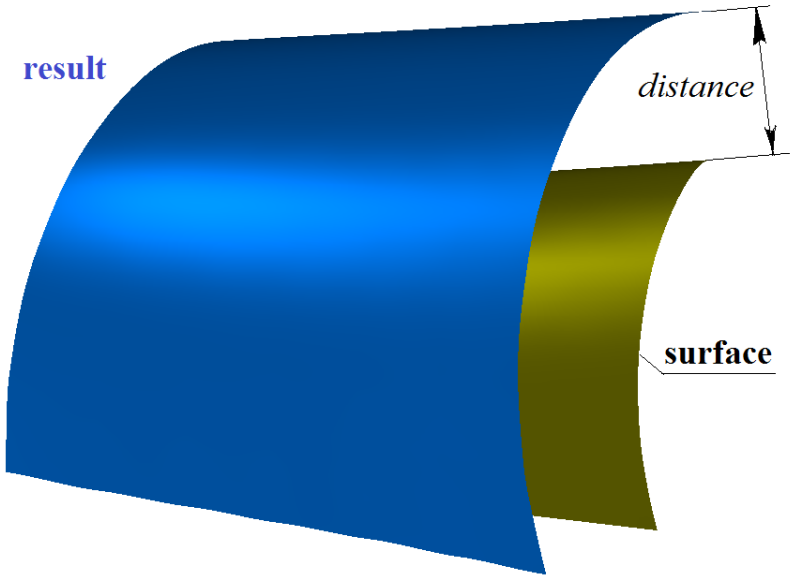


Рис. М.5.11.1.

После построения эквидистантная поверхность имеет область определения параметров, совпадающую с областью определения параметров поверхности **surface**. Область определения параметров эквидистантной поверхности может быть расширена.

Метод

MbResultType

ExtendedSurface (MbSurface & **surface**,
double *uMin*,
double *uMax*,
double *vMin*,
double *vMax*,
MbSurface *& **result**)

выполняет построение расширенной поверхности.

Входными параметрами метода являются:

- **surface** – базовая поверхность,
- *uMin* – минимальное значение первого параметра поверхности,
- *uMax* – максимальное значение первого параметра поверхности,
- *vMin* – минимальное значение второго параметра поверхности,
- *vMax* – максимальное значение второго параметра поверхности.

Выходным параметром метода является построенная поверхность **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface.h.

Построение поверхности возможно при отсутствии полюсов и других особых точек на границе области определения поверхности и на ее расширении. Построенная поверхность совпадает с поверхностью **surface**, но имеет другую область определения параметров. Область может быть как уменьшена, так и расширена. При выходе за пределы области определения параметра поверхность **surface** продолжается по касательной. Расширенная поверхность строится как эквидистантная поверхность с нулевым значением смещения. На рис. М.5.11.2 приведена расширенная поверхность.

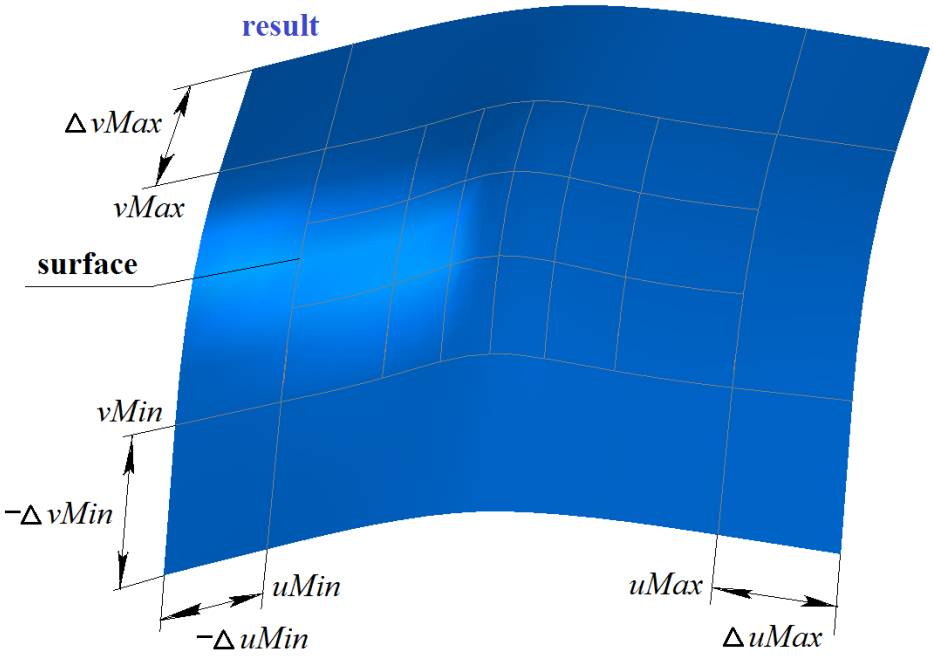


Рис. М.5.11.2.

М.5.12. Построение поверхности с произвольными границами

Метод
MbResultType
BoundedSurface (MbSurface & **surface**,
const RPArray<MbCurve> & **bounds**,
MbSurface *& **result**)
выполняет построение поверхности с заданной границей.

Входными параметрами метода являются:

- **surface** – исходная поверхность,
- **bounds** – множество границ в пространстве параметров.

Выходным параметром метода является построенная поверхность **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_surface.h.

По умолчанию поверхность имеют прямоугольную область определения параметров. Исходная область определения параметров может быть изменена путем описания границы области двумерными замкнутыми кривыми **bounds**. Если кривых множества **bounds** больше одной, то первая кривая множества **bounds** должна описывать внешнюю границу, а остальные кривые должны лежать внутри первой кривой множества. Кривые множества **bounds** могут выходить за пределы исходной области определения параметров, при условии, что там отсутствуют особые точки. Если множество границ пусто, то будет построен замкнутая составная кривая по исходной границе области определения параметров поверхности **surface**. Поверхность с произвольными границами представлена в параграфе О.5.27. Поверхность с произвольными границами MbCurveBoundedSurface. На рис. М.5.12.1 приведена поверхность и две замкнутые кривые на ней, а на рис. М.5.12.2 приведен результат построения поверхности с границами в форме этих кривых.

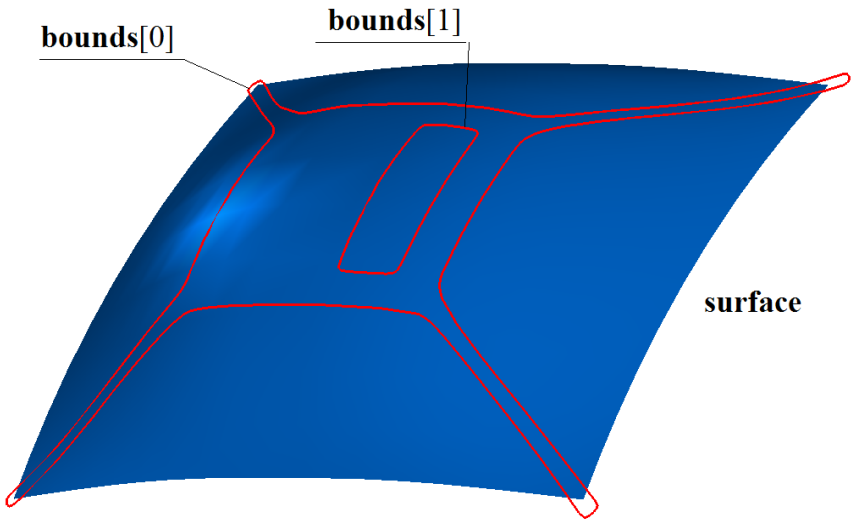


Рис. M.5.12.1.

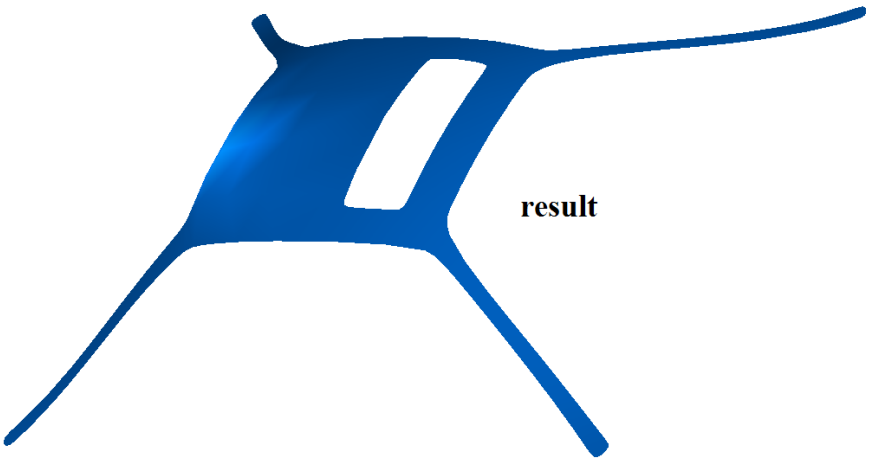


Рис. M.5.12.2.

М.6. МЕТОДЫ ПРЯМОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Прямое моделирование позволяет модифицировать геометрическую модель путем изменения составляющих её элементов. Геометрическая модель может иметь любую степень готовности – она может представлять собой заготовку или быть готовой моделью. Методами прямого моделирования могут модифицироваться как все элементы геометрической модели, так и отдельная группа элементов. Например, группа граней тела может быть перемещена относительно остальных граней тела, группа граней тела может быть заменена эквидистантными гранями или деформируемыми гранями. Из указанной группы граней может быть образовано новое тело. У геометрической модели могут быть удалены указанные скругления или характерные особенности, например, отверстия или выступы.

М.6.1. Построение трансформированного тела

Метод

MbResultType
TransformedSolid (MbSolid& **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const TransformValues & *params*,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет трансформацию копии исходного тела по заданной матрице.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- *params* – параметры трансформации,
- names – именователь граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_direct.h.

Рассматриваемый метод выполняет копирование тела и масштабирование копии тела с помощью матрицы, имеющей одинаковые или разные масштабы преобразования по осям глобальной системы координат.

Параметр **solid** содержит исходное тело, которое подлежит обработке. Параметр *sameShell* управляет передачей неизмененных граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** к построенному телу **result**. Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode объявлено в файле mb_enum.h и описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell

Параметр *params* содержит матрицу трансформации *params*.**matrix** и величины *params*.**fixedPoint**, *params*.*useFixed*, *params*.*isotropy*, которые используются для расчета матрицы трансформации. Параметр трансформации TransformValues объявлен в файле op_shell_parameter.h.

Параметр names используется для версионирования операции.

Матрица трансформации рассчитывается по габаритному кубу исходного тела **solid** и смещению одной из точек габаритного куба методом

bool
MbCube::**CalculateMatrix**(size_t *pIndex*,
const MbCartPoint3D & **point**,
const MbCartPoint3D & **fixedPoint**,
bool *useFixed*,
bool *isotropy*,
MbMatrix3D & **matrix**) const, где

- *pIndex* – номер точки габаритного куба;
- **point** – точка пространства, с которой нужно совместить точку габаритного куба с номером *pIndex*;
- **fixedPoint** – неподвижная точка преобразования; *useFixed* – флаг использования неподвижной точки;
- *isotropy* – флаг равенства масштабов преобразования.

На рис. М.6.1.1 приведена нумерация точек габаритного куба тела **solid**. Вершины габаритного куба имеют номера 0-7, середины рёбер габаритного куба имеют номера 8-19, центры граней габаритного куба имеют номера 20-25.

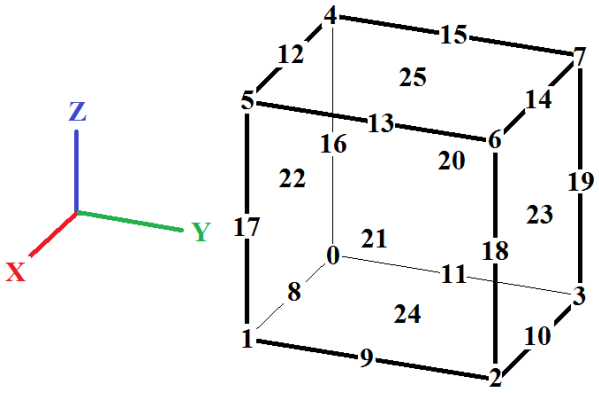


Рис. М.6.1.1.

Матрица трансформации **matrix** рассчитывается по деформированному кубу, полученному путём совмещения точки габаритного куба с номером *pIndex* с точкой пространства **point**. Если *useFixed*=true, то неподвижной точкой преобразования будет точка **fixedPoint**. Если *useFixed*=false, то неподвижной точкой преобразования будет точка габаритного куба, противолежащая точке с номером *pIndex*. Противолежащими точками габаритного куба считаются точки: 0-6, 1-7, 2-4, 3-5, 8-14, 9-15, 10-12, 11-13, 16-18, 17-19, 20-21, 22-23, 24-25. Если *isotropy*=true, то масштабы преобразования по всем осям будут одинаковы и пропорциональны вектору смещения точки габаритного куба с номером *pIndex*. Если *isotropy*=false, то масштабы преобразования будут пропорциональны проекциям на стороны габаритного куба вектора смещения точки габаритного куба с номером *pIndex*. Величины *params*.**fixedPoint**, *params.useFixed*, *params.isotropy* и *params*.**matrix** используются в качестве параметров **fixedPoint**, *useFixed*, *isotropy* и **matrix** метода **CalculateMatrix**.

На рис. М.6.1.2 приведено исходное тело **solid**, точки габаритного куба и точка пространства **point**, с которой нужно совместить указанную точку габаритного куба, а на рис. М.6.1.3 приведено трансформированное тело **result**, построенное рассматриваемым методом с параметрами *useFixed*=false и *isotropy*=false.

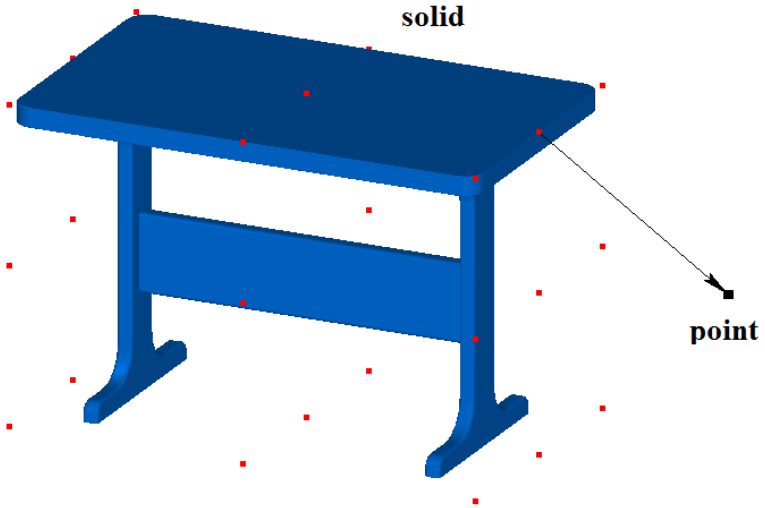


Рис. М.6.1.2.

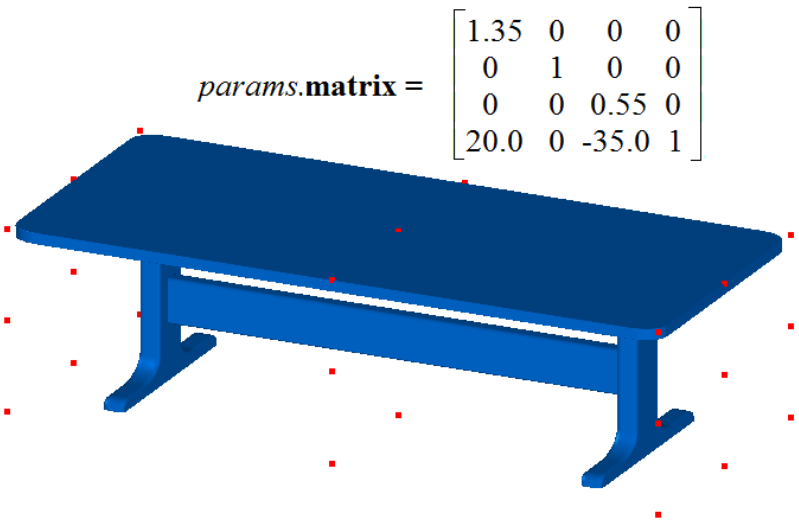


Рис. М.6.1.3.

Трансформировать тело по заданной матрице можно также классным методом **Transform**, который перегружен у всех геометрических объектов, но при этом тело не будет содержать информацию о выполненных над ним действиях.

Метод **TransformedSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbTransformedSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbTransformedSolid объявлен в файле cr_transformed_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет построение трансформированного тела командой меню «Создать->Тело->Прямым редактированием->Трансформированием габарита».

М.6.2. Построение модифицированного тела

Метод
MbResultType
FaceModifiedSolid (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const ModifyValues & *params*,
const RPArray<MbFace> & **faces**,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid*& **result**)
выполняет модификацию указанных граней копии исходного тела одним из указанных способов.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- *params* – параметры модификации,
- **faces** – модифицируемые грани тела,
- names – именователь граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_direct.h.

Рассматриваемый метод выполняет копирование тела и одно из следующих действий: удаление из копии тела указанных граней, создание нового тела из копий указанных граней с окружением, перемещение указанных граней относительно оставшихся граней в копии тела, замену указанных граней в копии тела эквидистантными гранями, замену указанных граней в копии тела деформируемыми гранями, удаление указанных граней скругления в копии тела.

Параметр **solid** содержит исходное тело, которое подлежит обработке. Параметр *sameShell* управляет передачей неизмененных граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** к построенному телу **result**. Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode объявлено в файле mb_enum.h и описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell.

Параметр *params* описывает способ модификации, определяемый типом *params.way*, и величину модификации, определяемую вектором *params*.**direction**. Тип модификации *params.way* может принимать одно из семи значений перечисления MbeModifyingType: *dmt_Remove*, *dmt_Create*, *dmt_Action*, *dmt_Offset*, *dmt_Fillet*, *dmt_Supple*, *dmt_Purify*. Параметры модификации ModifyValues и перечисление MbeModifyingType объявлены в файле op_shell_parameter.h

Параметр **faces** содержит множество граней тела **solid**, которые будут тем или иным способом изменены рассматриваемым методом в копии тела.

Параметр names используется для именования новых граней, ребер, вершин и версионирования операции.

При *params.way=dmt_Remove* рассматриваемый метод удаляет грани **faces** из копии тела **solid** и, используя окружение, обрабатывает место удаленных граней сохраняя замкнутость тела. Если грани **faces** связаны с остальными гранями скруглениями, то грани скругления добавляются к граням **faces**. Если множество граней **faces** пусто, то рассматриваемый метод удаляет цилиндрические и плоские грани, радиус которых меньше или равен длине вектора *params*.**direction**, что позволяет удалять мелкие сквозные или глухие отверстия не перечисляя их. На рис. М.6.2.1 приведено исходное тело, а на рис. М.6.2.2 приведено построенное тело, полученное путем удаления указанных граней исходного тела.

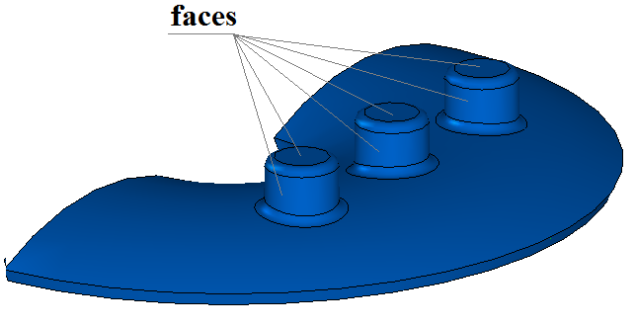


Рис. М.6.2.1.

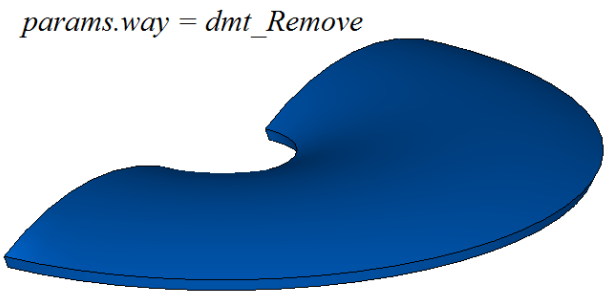


Рис. М.6.2.2.

При *params.way=dmt_Create* рассматриваемый метод создает новое тело из копий граней **faces**. Если грани **faces** связаны с остальными гранями скруглениями, то сначала удаляются скругления, а затем из граней **faces** создается новое тело. Новое тело будет замкнутым, так как в него войдут грани **faces** и грани, созданные на базе поверхностей смежных с гранями **faces**. Дополнительные грани необходимы для ликвидации краевых ребер. На рис. М.6.2.3 приведено исходное тело, а на рис. М.6.2.4 приведено вновь построенное тело, полученное из указанных граней исходного тела. Тело, приведенное на рис. М.6.2.4, состоит из пяти граней – трех граней **faces** и двух граней на базе цилиндрической поверхности, на которую опирались два удаленных скругления.

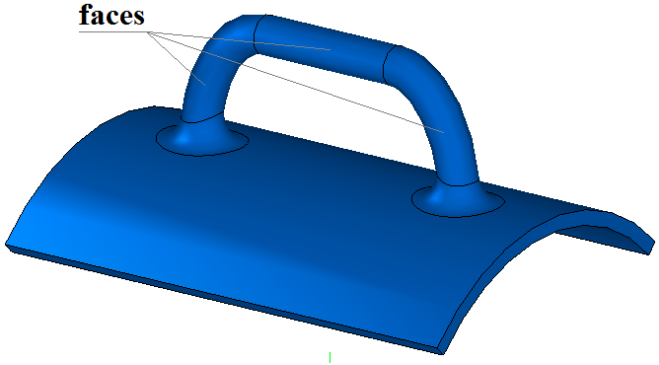


Рис. М.6.2.3.

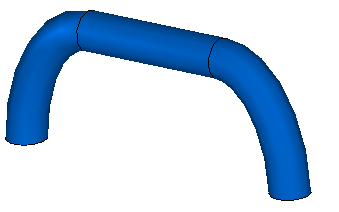


Рис. М.6.2.4.

При *params.way=dmt_Action* рассматриваемый метод перемещает грани **faces** относительно остальных граней в копии тела **solid**. Перемещение выполняется в направлении вектора *params*.**direction** на расстояние его длины. Если грани **faces** связаны с остальными гранями скруглениями, то сначала удаляются скругления, далее перемещаются грани **faces** и затем восстанавливаются скругления на новых местах. На рис. М.6.2.5 и рис. М.6.2.6 приведены тела, построенные путем перемещения указанных граней исходных тел, приведенных на рис. М.6.2.1 и рис. М.6.2.3, соответственно.

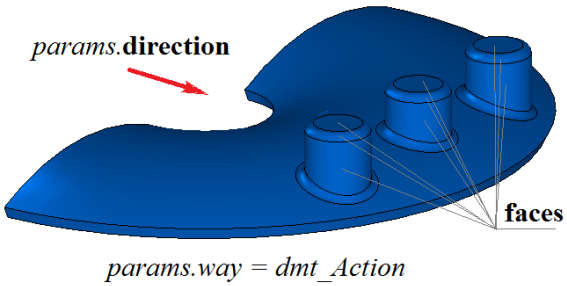


Рис. М.6.2.5.

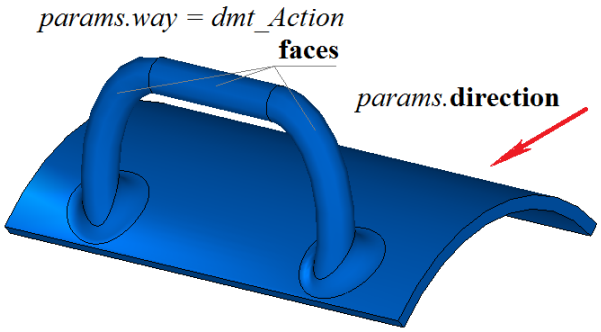


Рис. М.6.2.6.

При *params.way=dmt_Offset* рассматриваемый метод заменяет грани **faces** в копии тела **solid** эквидистантными гранями. Эквидистантные грани смещены на расстояние длины вектора *params*.**direction**. Если грани **faces** связаны с остальными гранями скруглениями, то сначала удаляются скругления, далее заменяются грани **faces** эквидистантными и затем восстанавливаются скругления на новых местах. На рис. М.6.2.7 и рис. М.6.2.8 приведены тела, построенные путем замены указанных граней эквидистантными гранями. Исходные тела приведены на рис. М.6.2.1 и рис. М.6.2.3, соответственно.

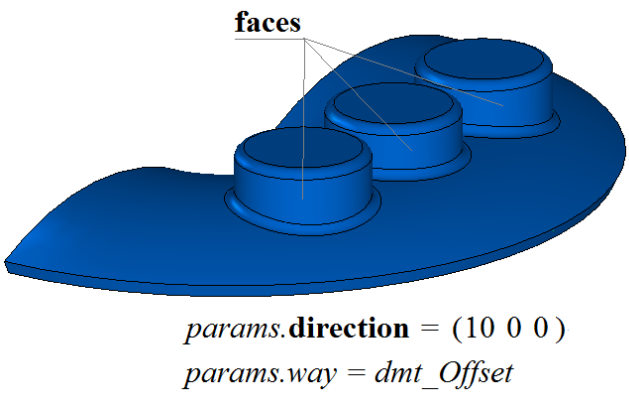


Рис. М.6.2.7.

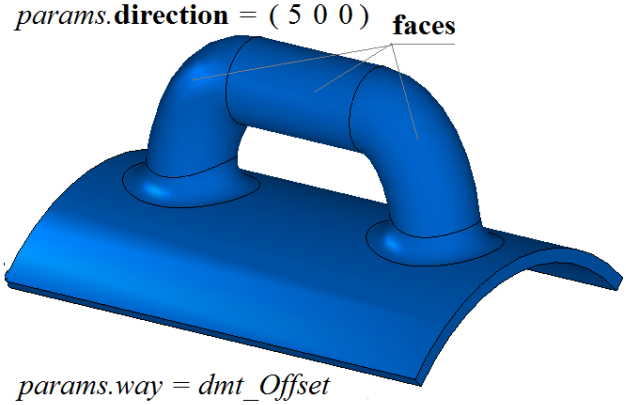


Рис. М.6.2.8.

Если одна из компонент вектора *params*.**direction** отрицательная, то эквидистантные грани смещены на отрицательное расстояние. На рис. М.6.2.9 и рис. М.6.2.10 приведены тела, построенные путем замены указанных граней эквидистантными гранями с отрицательным расстоянием. Исходные тела приведены на рис. М.6.2.5 и рис. М.6.2.6, соответственно.

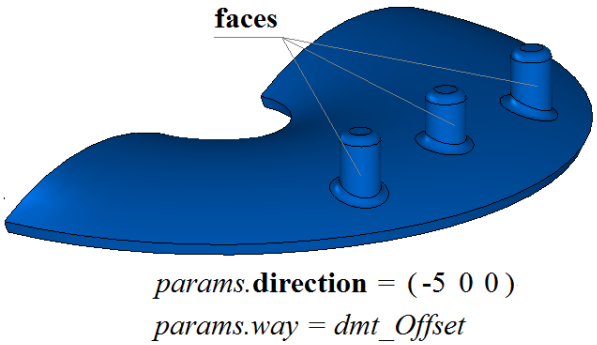


Рис. M.6.2.9.

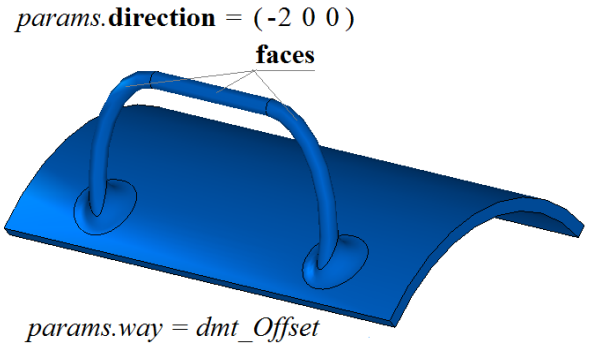


Рис. M.6.2.10.

При *params.way=dmt_Fillet* рассматриваемый метод изменяет радиусы граней скругления **faces** в копии тела **solid**. Радиус граней скругления увеличивается на длину вектора *params*.**direction**. Если одна из компонент вектора *params*.**direction** отрицательная, то радиус граней скругления уменьшается на длину вектора *params*.**direction**. На рис. M.6.2.11 и рис. M.6.2.12 приведены тела, построенные путем изменения радиуса указанных граней скругления. Исходные тела приведены на рис. M.6.2.1 и рис. M.6.2.3, соответственно.

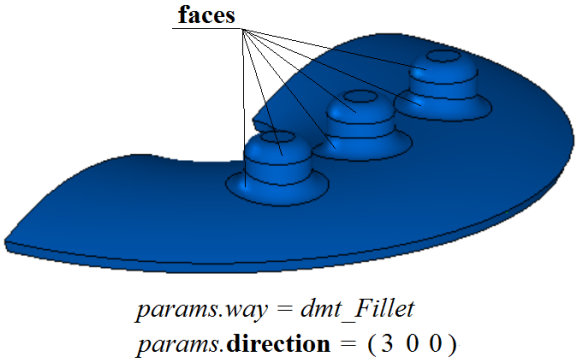


Рис. M.6.2.11.

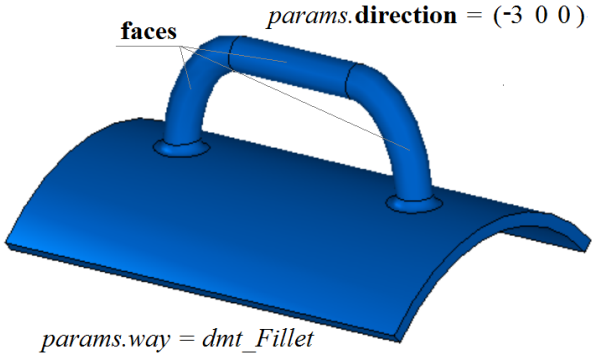
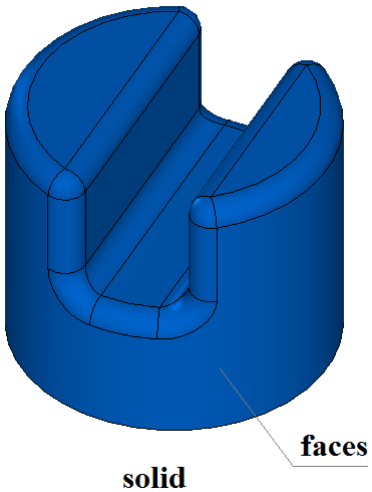


Рис. M.6.2.12.

При *params.way=dmt_Supple* рассматриваемый метод заменяет грани **faces** в копии тела **solid** деформируемыми гранями, давая возможность дальнейшего редактирования этих граней. Если грани **faces** связаны с остальными гранями скруглениями, то сначала удаляются скругления, далее заменяются грани **faces** на деформируемые грани и затем восстанавливаются скругления на новых местах. На рис. M.6.2.13 приведено исходное тело, а на рис. M.6.2.14 приведены построенное тело, полученное путем замены указанной грани исходного тела деформируемой гранью, и контрольные точки деформируемой грани. Деформируемая грань построена на базе NURBS-поверхности.



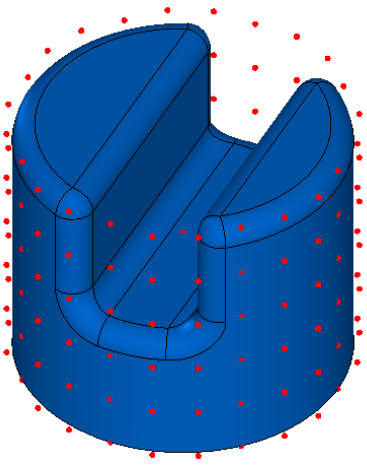
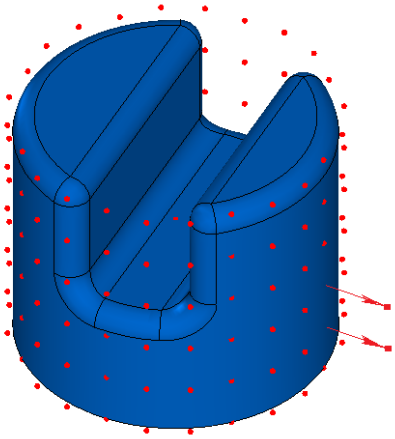
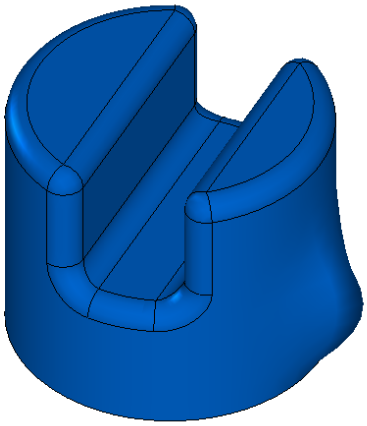


Рис. М.6.2.13. *Рис. М.6.2.14.*

На рис. М.6.2.15 приведено деформируемое тело с перемещенными контрольными точками деформируемой грани. На рис. М.6.2.16 приведен результат деформирования тела.



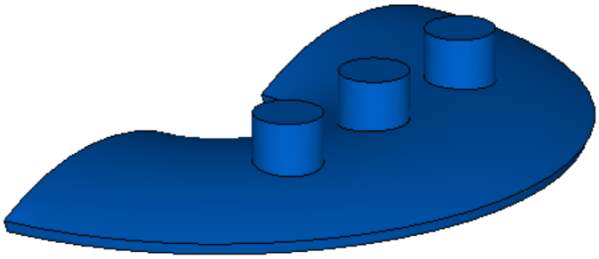
params.way = dmt_Supple



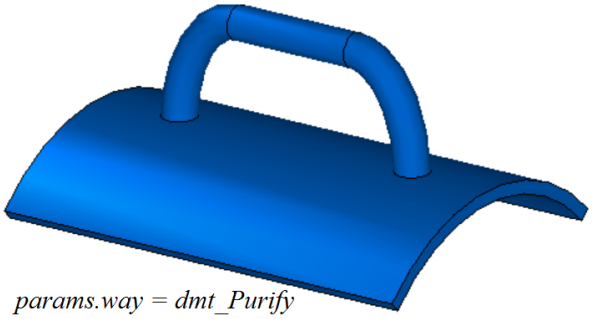
result

Рис. М.6.2.15. *Рис. М.6.2.16.*

При *params.way=dmt_Purify* рассматриваемый метод удаляет грани скруглений **faces** в копии тела **solid** и, используя окружение, обрабатывает место удаленных граней, сохраняя замкнутость тела. На рис. М.6.2.17 и рис. М.6.2.18 приведены тела, построенные путем удаления указанных граней скругления. Исходные тела приведены на рис. М.6.2.1 и рис. М.6.2.3, соответственно.



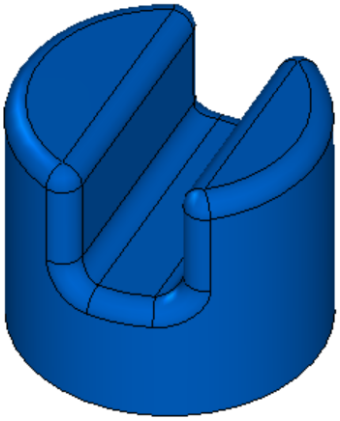
params.way = dmt_Purify



params.way = dmt_Purify

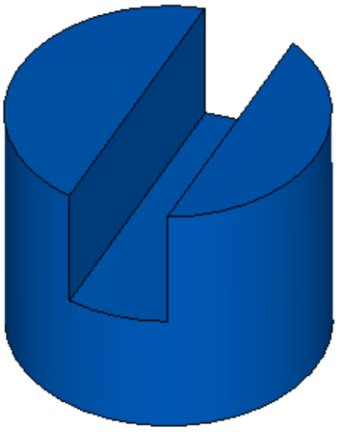
Рис. М.6.2.17. *Рис. М.6.2.18.*

Если множество граней **faces** пусто, то рассматриваемый метод удаляет грани скругления, радиус которых меньше или равен длине вектора *params*.**direction**. На рис. М.6.2.19 приведено исходное тело, а на рис. М.6.2.20 приведено построенное тело, полученное путем удаления всех граней скругления, радиус которых не превосходит |*params*.**direction**|.



solid

Рис. M.6.2.19.



params.way = dmt_Purify

Рис. M.6.2.20.

Метод **FaceModifiedSolid** работает при условии сохранения неизменной топологии редактируемого тела.

Метод **FaceModifiedSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbFaceModifiedSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbFaceModifiedSolid объявлен в файле cr_modified_solid.h.

Тестовое приложение test.exe выполняет построение модифицированного тела командами меню «Создать->Тело->Прямым редактированием->Удалением граней», «Создать->Тело->Прямым редактированием->Созданием тела из граней», «Создать->Тело->Прямым редактированием->Перемещением граней», «Создать->Тело->Прямым редактированием->Заменой эквидистантными гранями», «Создать->Тело->Прямым редактированием->Модифицированием скруглений», «Создать->Тело->Прямым редактированием->Деформированием граней», «Создать->Тело->Прямым редактированием->Удалением скруглений».

M.6.3. Построение деформируемого тела

При построении деформируемого тела выполняется несколько действий: замена поверхностей указанных граней на деформируемые поверхности, получение контрольных точек деформируемых поверхностей, перемещение контрольных точек, инициализация деформируемых поверхностей новыми контрольными точками. Для этих действий используются перечисленные ниже методы.

Метод

MbResultType

ModifiedNurbsItem (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const NurbsValues & *params*,
const RPArray<MbFace> & **faces**,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)

выполняет замену выбранных граней копии тела деформируемыми гранями для последующего редактирования.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- *params* – параметры преобразования,
- **faces** – заменяемые грани тела,
- names – именователь граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_direct.h.

Рассматриваемый метод выполняет копирование тела **solid** и подготовку копии тела для дальнейшего деформирования указанных граней исходного тела.

Параметр **solid** содержит исходное тело, в котором указанные грани будут заменены на деформируемые грани на базе Nurbs-поверхностей. Параметр *sameShell* управляет передачей неизмененных граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** к построенному телу **result**. Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode объявлено в файле mb_enum.h и описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell.

Параметр *params* содержит данные MbNurbsParameters **uParameters** и MbNurbsParameters **vParameters**, необходимые для построения Nurbs-поверхностей, см. рис. М.6.3.1. MbNurbsParameters **uParameters** содержит порядок *degree*, число контрольных точек pointsCount, область изменения region, узловой вектор **knots** для первого параметра Nurbs-поверхностей. MbNurbsParameters **vParameters** содержит порядок *degree*, число контрольных точек pointsCount, область изменения region, узловой вектор **knots** для второго параметра Nurbs-поверхностей. Флаги **uParameters**.*useApprox* и **vParameters**.*useApprox* позволяют строить деформируемые поверхности, которые в начальном состоянии аппроксимируют исходные поверхности граней.

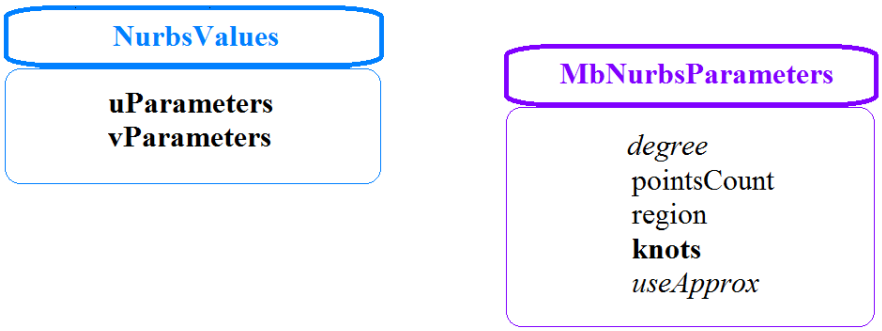


Рис. М.6.3.1.

Параметр **faces** содержит множество граней тела **solid**, которые будут заменены на деформируемые грани на базе Nurbs-поверхностей в построенном теле **result**.

Параметр names используется для именования новых граней, ребер, вершин и версионирования операции.

Одноименный описанному выше методу

Метод

MbResultType
ModifiedNurbsItem (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const NurbsValues & *params*,
const MbFace & **face**,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid*& **result**)

выполняет замену одной грани тела деформируемой гранью для последующего редактирования. Данный метод отличается от вышеописанного четвертым параметром, который содержит не множество граней, а одну заменяемую грань **face**. Метод объявлен в файле action_direct.h.

Построенное тело **result** внешне может быть похожим на исходное тело **solid**, но в отличие от исходного тела может предоставлять Nurbs-поверхности или контрольные точки Nurbs-поверхностей для модификации. Модифицированные контрольные точки и их веса в дальнейшем можно вернуть соответствующим поверхностям граней и, таким образом, изменить форму граней. На рис. М.6.3.2 приведено исходное цилиндрическое тело **solid**, боковая грань которого является цилиндром, а на рис. М.6.3.3 приведено тело **result** с боковой гранью, базирующейся на Nurbs-поверхности. Контрольные точки Nurbs-поверхности также приведены на рис. М.6.3.3.

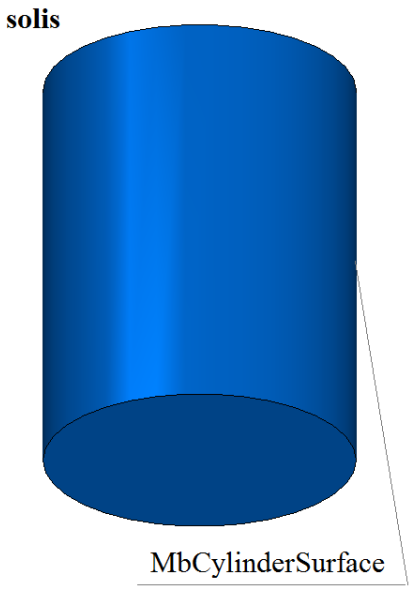


Рис. М.6.3.2.

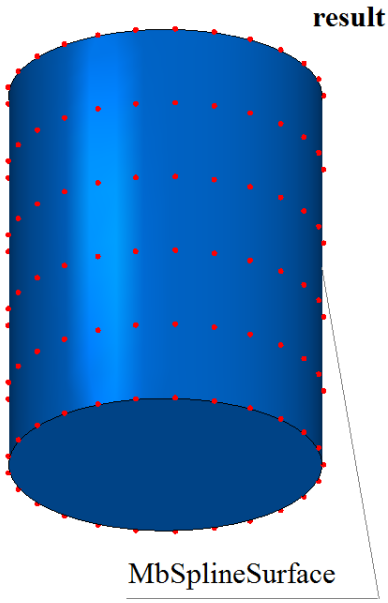


Рис. М.6.3.3.

Методы **ModifiedNurbsItem** добавляют в журнал построенного тела строитель MbModifiedNurbsItem, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbModifiedNurbsItem объявлен в файле cr_modified_nurns_.h.

Метод
MbSurface *
GetControlSurface (const MbFace & **face**)
копирует Nurbs-поверхность грани **face**, для дальнейшего редактирования.

Входным параметром метода является исходная грань **face**.

При удачной работе метод возвращает указатель на копию поверхности грани **face**, в противном случае метод возвращает нуль.

Метод объявлен в файле action_direct.h.

Метод возвращает ненулевой указатель на поверхность, если грань **face** базируется на Nurbs-поверхности. Это требование будет выполняться после успешной работы методов **ModifiedNurbsItem**, описанных в предыдущем параграфе. Метод возвращает указатель на копию базовой поверхности грани **face**, а не на саму базовую поверхность грани. Далее у возвращаемой поверхности можно модифицировать множество контрольных точек и их веса и далее заменить поверхность грани тела модифицированной поверхностью.

Метод
MbResultType
FaceControlPoints (const MbFace & **face**,
Array2<MbCartPoint3D> & **controlPoints**,
Array2<double> & *weights*)
выдаёт множество контрольных точек поверхности грани и множества их весов.

Входными параметрами метода является исходная грань **face** .

Выходными параметрами метода являются:

- **controlPoints** – контрольные точки грани,
- *weights* – веса контрольных точек.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_direct.h.

Метод возвращает rt_Success, если грань **face** базируется на Nurbs-поверхности. Изменяя положение контрольных точек **controlPoints** и изменяя веса *weights* контрольных точек, можно менять форму поверхности. Рассматриваемый метод следует использовать после успешной работы методов **ModifiedNurbsItem**, описанных выше.

Контрольные точки **controlPoints** передаются в виде прямоугольной матрицы, строки которой соответствуют первому параметру Nurbs-поверхности, а столбцы соответствуют второму параметру Nurbs-поверхности. То есть точки, лежащие в одной строке прямоугольной матрицы **controlPoints**, расположены вдоль координатной линии поверхности с фиксированным вторым параметром Nurbs-поверхности, а точки, лежащие в одном столбце прямоугольной матрицы **controlPoints**, расположены вдоль координатной линии поверхности с фиксированным первым параметром Nurbs-поверхности. На рис. М.6.3.4 приведены контрольные точки на фоне координатных линий поверхности.

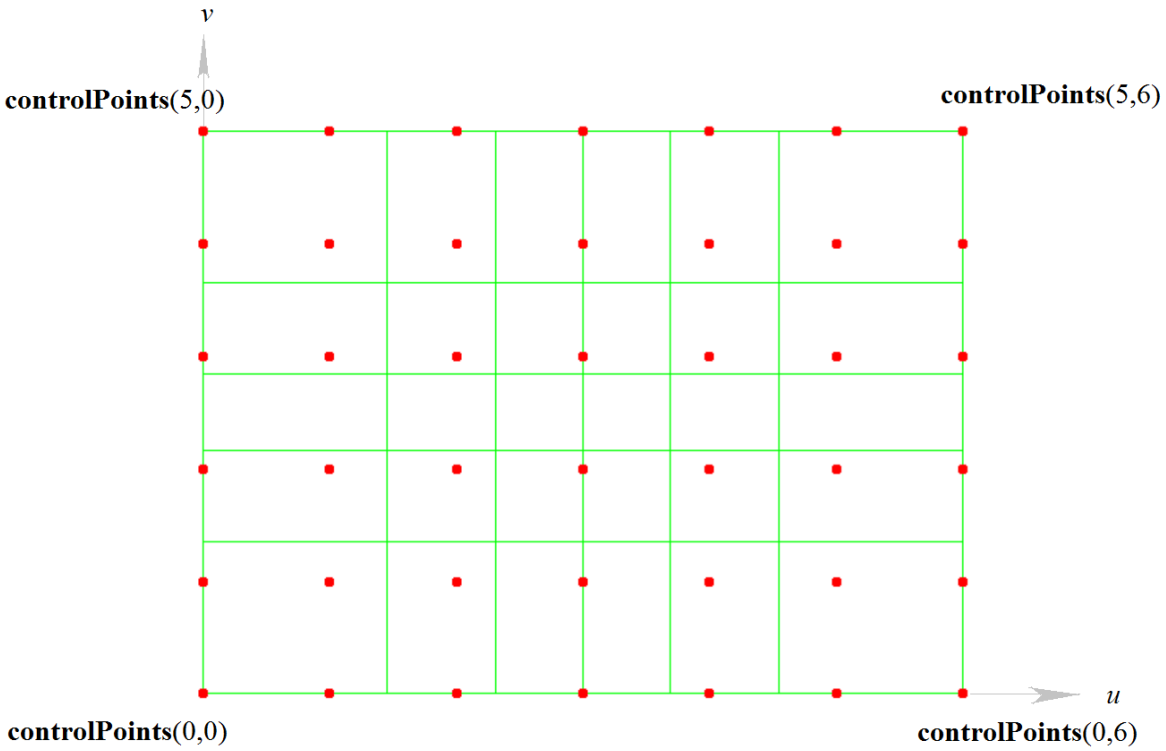


Рис. М.6.3.4.

Прямоугольная матрица *weights* весов соответствует прямоугольной матрице контрольных точек **controlPoints**.

На рис. М.6.3.5 приведена грань **face** и контрольные точки **controlPoints** ее поверхности, а на рис. М.6.3.6 приведены отредактированные контрольные точки **controlPoints** для последующей модификации грань **face**.

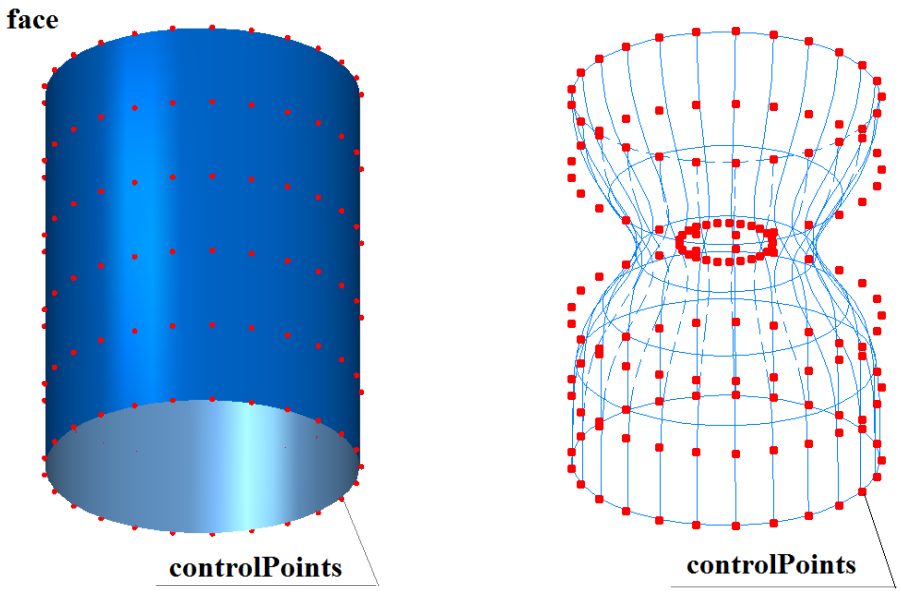


Рис. М.6.3.5. *Рис. М.6.3.6.*

Метод
MbResultType
NurbsModification (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
MbFace * **face**,
MbSurface & **faceSurface**,
Array2<bool> & *fixedPoints*,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет деформирование заданной грани копии исходного тела путём подстановки присланной поверхности в копию изменяемой грани.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **face** – изменяемая грань тела,
- **faceSurface** – поверхность изменяемой грани,
- *fixedPoints* – маска неподвижных контрольных точек поверхности,
- names – именователь граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_direct.h.

Рассматриваемый метод копирует тело **solid** и подставляет присланную поверхность **faceSurface** в копию грани **face** тела **solid**.

Параметр **solid** содержит исходное тело. Параметр *sameShell* управляет передачей неизмененных граней, ребер и вершин от исходного тела **solid** к построенному телу **result**. Параметр *sameShell* может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*. Перечисление MbeCopyMode объявлено в файле mb_enum.h и описано в параграфе О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell.

Поверхность **faceSurface** должна быть Nurbs-поверхностью. Параметр *fixedPoints* представляет собой прямоугольную матрицу, строки и столбцы которой соответствуют строкам и столбцам матрицы контрольных точек Nurbs-поверхности **faceSurface**. Элементы матрицы со значением true определяют неподвижные контрольные точки Nurbs-поверхности,

Параметр names используется для именования новых граней, ребер, вершин и версионирования операции.

Одноименный описанному выше методу

Метод
MbResultType
NurbsModification (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
MbFace * **face**,
const Array2<MbCartPoint3D> & **controlPoints**,
const Array2<double> & *weights*,
Array2<bool> * *fixedPoints*,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет деформирование указанной грани копии исходного тела по заданным контрольным точкам и их весам.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **face** – изменяемая грань тела,
- **controlPoints** – заданные контрольные точки изменяемой грани,
- *weights* – веса контрольных точек,
- *fixedPoints* – маска неподвижных контрольных точек грани,

- names – именователь граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_direct.h.

Рассматриваемый метод следует использовать после успешной работы методов **ModifiedNurbsItem**, **GetControlSurface** и **FaceControlPoints**, описанных выше. Методы **ModifiedNurbsItem** подготавливают грани для модификации. На рис. М.6.3.7 приведено исходное цилиндрическое тело **solid**, боковая грань которого базируется на Nurbs-поверхности, и у которой подлежат модификации контрольные точки. На рис. М.6.3.8 приведено тело **result** с модифицированной боковой гранью, контрольные точки **controlPoints** которой приведены на рис. М.6.3.6.

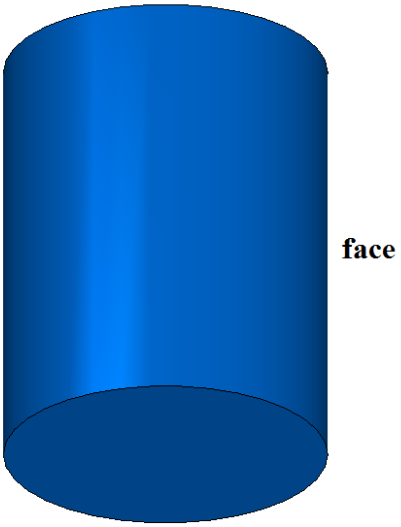


Рис. М.6.3.7.

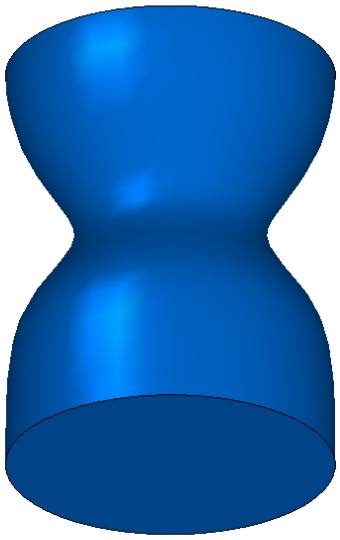


Рис. М.6.3.8.

Методы **NurbsModification** добавляют в журнал построенного тела строитель MbNurbsModification, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbNurbsModification объявлен в файле cr_modified_nurns_.h.

М.6.4. Построение деформируемой призмы

Метод
MbResultType
NurbsBlockSolid (const MbPlacement3D & **place**,
double *x*, double *y*, double z,
bool *orientation*,
const MbSNameMaker & names,
SimpleName name,
NurbsBlockValues & *params*,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение тела в форме прямого параллелепипеда с деформируемыми гранями.

Входными параметрами метода являются:

- **place** – локальная система координат,
- *x* – размер по оси X,
- *y* – размер по оси Y,
- *z* – размер по оси Z,
- *orientation* – ориентация нормалей граней наружу тела (true),

- names – именователь граней,
- name – главное имя,
- *params* – параметры построения граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result** NURBS-поверхностей.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_direct.h.

Рассматриваемый метод позволяет получить деформируемое тело в форме прямоугольной призмы, размеры которой в локальной системе координат **place** определяют параметры *x*, *y*, z. Все грани призмы построены на базе плоских Nurbs-поверхностей, порядок которых и количество контрольных точек определяются параметром *params*. Параметр NurbsBlockValues объявлен в файле op_shell_parameter_.h.

На рис. М.6.4.1 приведена призма **result**, построенная методом **NurbsBlockSolid**, и ее контрольные точки. На рис. М.6.4.2 приведена эта же призма после деформирования путем перемещением контрольных точек граней.

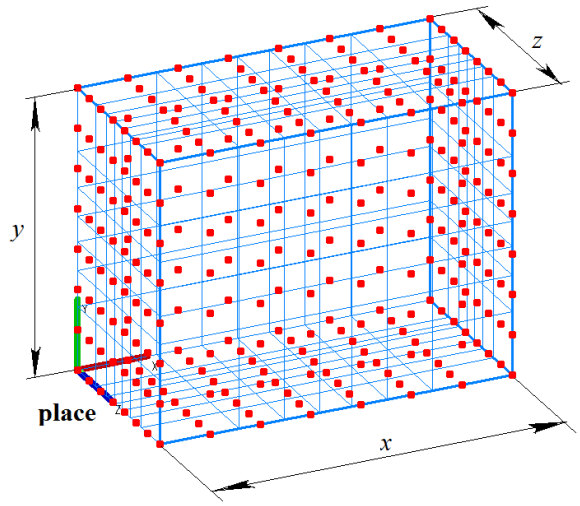


Рис. М.6.4.1.

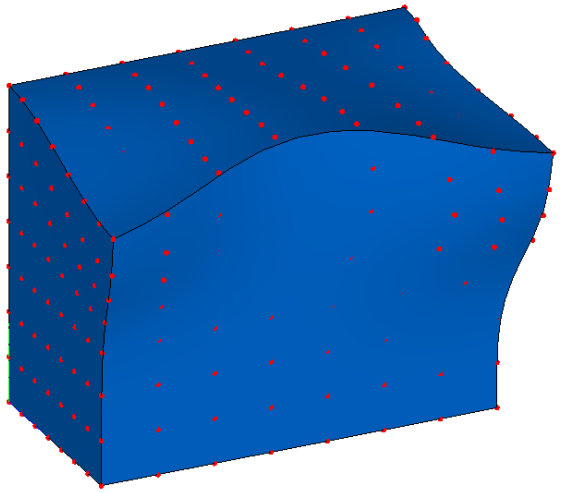


Рис. М.6.4.2.

Метод **NurbsBlockSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbNurbsBlockSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbNurbsBlockSolid объявлен в файле cr_nurbs_block_solid_.h.

М.6.5. Построение сглаженной поверхности

Метод
MbResultType
SplineSurfaceSmoothing (const MbSplineSurface & **surface**,
size_t *udegree*,
size_t *vdegree*,
MbSplineSurface *& **result**)
выполняет сглаживание копии исходной поверхности.

Входными параметрами метода являются:

- **surface** – исходная поверхность,
- *udegree* – параметр сглаживания по первому параметру поверхности.
- *vdegree* – параметр сглаживания по второму параметру поверхности.

Выходным параметром метода является построенная сглаженная поверхность **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

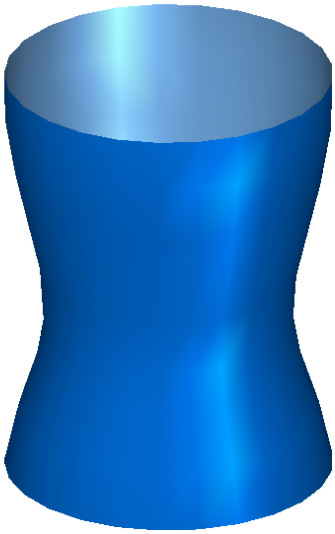
Метод объявлен в файле action_direct.h.

Рассматриваемый метод позволяет сгладить исходную поверхность **surface**, не меняя ее порядок сплайнов и количество контрольных точек. Сглаживанием управляют параметры *udegree* и *vdegree*, которые должны быть больше соответствующих порядков сплайнов исходной поверхности. Метод возвращает сглаженную копию **result** исходной поверхности.

На рис. М.6.5.1 приведена исходная Nurbs-поверхность. На рис. М.6.5.2 приведена сглаженная поверхность.

surface

Рис. М.6.5.1.



result

Рис. М.6.5.2.

М.7. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕЛ ИЗ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

Геометрическое ядро C3D поддерживает методы, которые позволяют строить модели конструкций из листового металла. Это методы создания листовых тел: пластины и обечайки, а также операции над листовыми телами: сгиб по рёбрам, сгиб вдоль линии, подсечка, сгиб по эскизу, развёртка, замыкание углов, вырез, добавление пластины, штамповка, жалюзи и буртик. Также представлен ряд сервисных функций для работы с листовыми телами. Будем называть широкие грани пластины листовыми, а остальные – боковыми, при этом листовую грань сгиба с меньшим радиусом будем называть внутренней гранью сгиба, а с большим радиусом – внешней гранью сгиба.

М.7.1. Построение листового тела

Метод
MbResultType
CreateSheetSolid (const MbPlacement3D & **placement**,
RPArray<MbContour> & **contours**,
bool *unbended*,
const MbSheetMetalValues & params,
PArray<MbSNameMaker> * names,
PArray<MbSMBendNames> & bends,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение листового тела выдавливанием плоских контуров.

Входными параметрами метода являются:

- **placement** – локальная система координат,
- **contours** – контуры листового тела, заданные в плоскости XY локальной системы координат,
- *unbended* – флаг построения тела в разогнутом состоянии,
- params – параметры построения,
- names – именователи построенных граней,
- bends – параметры формируемых сгибов.

Выходными параметрами метода являются имена листовых граней построенных сгибов, записываемые в bends и само тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Если контуры замкнутые, то листовое тело строится на заданную толщину с заданным контуром. Среди замкнутых контуров один контур должен быть внешним, он должен содержать внутри себя остальные внутренние контуры. По внутренним контурам будут сформированы вырезы.

Если контуры незамкнутые, то листовое тело строится выдавливанием на заданные расстояния замкнутых контуров, полученных из незамкнутых контуров скруглением углов между отрезками заданными в params или bends радиусами. Получившимся контурам придается толщина листового тела в ту или иную сторону. Сторона придания толщины указывается в параметрах операции params. Если контур уже содержит дугу, то она должна гладко стыковаться с соседними сегментами. Только в случае незамкнутых контуров возможно построение листового тела со сгибами и только для этого случая имеет смысл флаг *unbended*. В случае, если массив параметров сгибов bends пустой, сгибы строятся по единым параметрам, заданным в params. В этом случае имена листовых граней построенных сгибов никуда не записываются. Если же массив параметров bends заполнен, то количество элементов в этом массиве должно совпадать с количеством формируемых сгибов.

Параметры для сгиба ищутся следующим образом. Каждому контуру из массива **contours** соответствует именователь из массива names, а в каждом именователе содержится массив имён сегментов контура. Если сгиб формируется в месте соединения двух отрезков, то параметры этого сгиба находятся в элементе массива bends, содержащем имена этих отрезков в полях segName1 и

segName2, если сгиб формируется на месте дуги, то параметры для него находятся в элементе массива bends, у которого в segName1 лежит имя дуги, а segName2 равен SYMPLENAME_MAX.

На рис. М.7.1.1 приведено листовое тело, построенное по нескольким замкнутым эскизам.

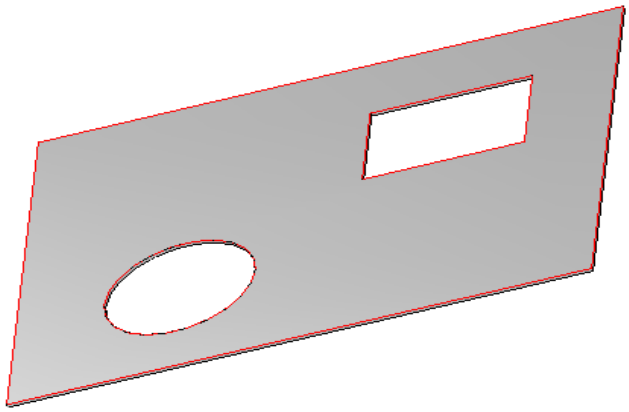


Рис. М.7.1.1

На рис. М.7.1.2 приведено листовое тело, построенное по незамкнутому эскизу, содержащему дугу и пару стыкующихся по углом отрезков.

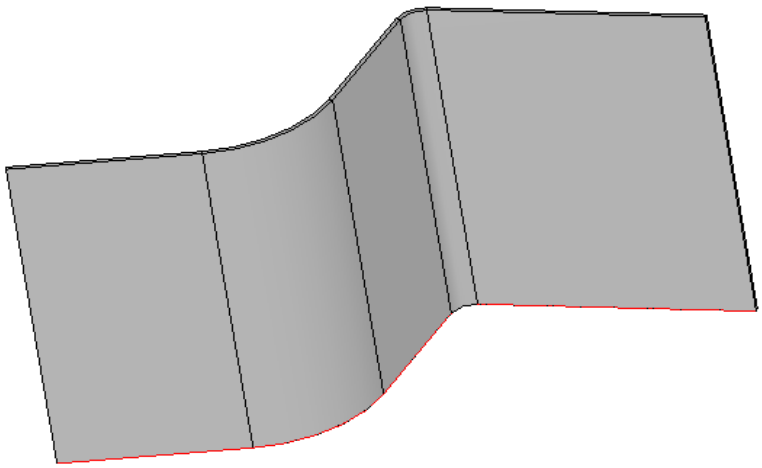


Рис. М.7.1.2

Метод **CreateSheetSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbSheetMetalSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbSheetMetalSolid объявлен в файле cr_sheet_metal_solid.h.

М.7.2. Построение обечайки

Метод
MbResultType
CreateRuledSolid (const MbRuledSolidValues & params,
const MbSNameMaker & names,
PArray<MbSMBendNames> & bends,
MbContour*& **resultContour**,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение обечайки.

Входными параметрами метода являются:

- params – параметры построения,
- names – именователь построенных граней,
- bends – параметры формируемых сгибов.

Выходными параметрами метода являются имена листовых граней построенных сгибов, записываемые в bends, **resultContour** – скруглённый по заданным параметрам контур params.**contour**1 и само тело **result**. Также операция заполняет массивы параметров разбиения контуров, если они были пустыми.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Обечайка строится по одному или двум плоским контурам.

В случае одного контура обечайка строится выдавливанием, возможно с уклоном скруглённого по параметрам контура и приданием получившейся поверхности толщины. Если контур замкнут, то в нём создаётся зазор в указанном в параметрах операции месте. В случае построения с уклоном возможно создание конических сгибов или сохраняющих радиус цилиндрических сгибов в месте скруглений изначального контура. Также можно воспользоваться сегментацией дуг контура, когда дуга заменяется набором аппроксимирующих её отрезков.

В случае построения обечайки по двум контурам, сегменты контуров соединяются, в общем случае, линейчатыми поверхностями, которым потом придаётся толщина. Контуры, во избежание перекрученных поверхностей, разбиваются на более мелкие сегменты в автоматическом режиме или по указанию пользователя. Также как и при построении по одному эскизу для обеспечения разгибаемости создаётся зазор в указанном в параметрах месте.

При построении обечайки по двум эскизам довольно распространённой ситуацией является формирование целой цепочки пар из внутренней и внешней граней сгибов, которые могут сгибаться и разгибаться только одновременно. Сгибы, принадлежащие такой цепочке, помечаются одинаковым значением в поле MbSMBendNames::groupNumber, отличным от SYS_MAX_UINT. Для разгиба/сгиба такой цепочки надо принадлежащие ей внутренние и внешние грани поместить в соответствующие массивы структуры MbSheetMetalBend из параметров операций сгиб/разгиб, а не создавать отдельную структуру MbSheetMetalBend для каждого звена этой цепочки. Если в groupNumber лежит SYS_MAX_UINT, то значит сгиб состоит из одного сегмента.

На рис. М.7.2.1 приведена обечайка, построенная без сохранения радиуса сгиба.

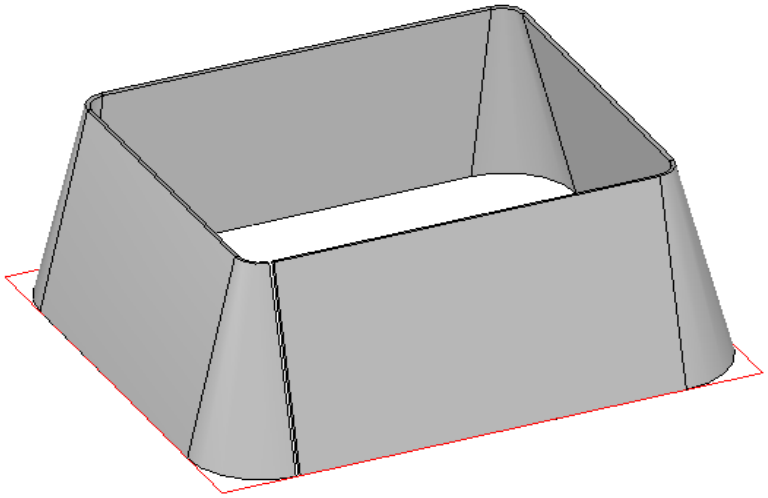


Рис. М.7.2.1

На рис. М.7.2.2 приведена обечайка, построенная с сохранением радиуса сгиба.

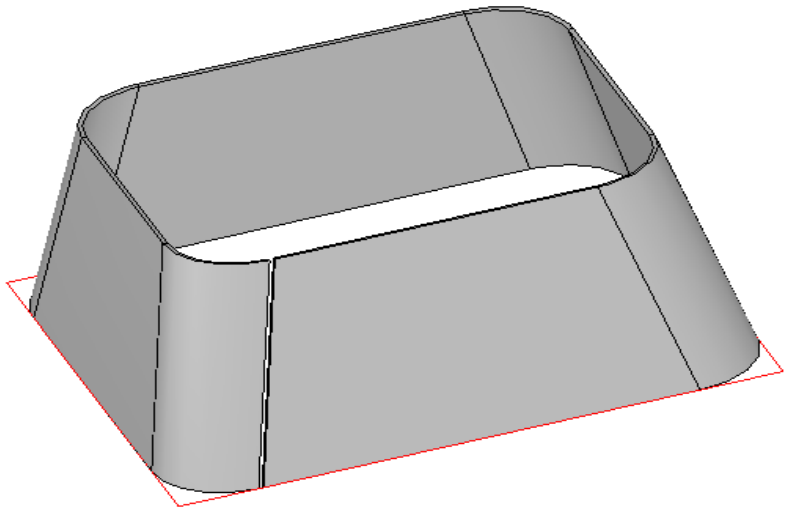


Рис. М.7.2.2

На рис. М.7.2.3 приведена обечайка, построенная с сегментацией дуг второго контура.

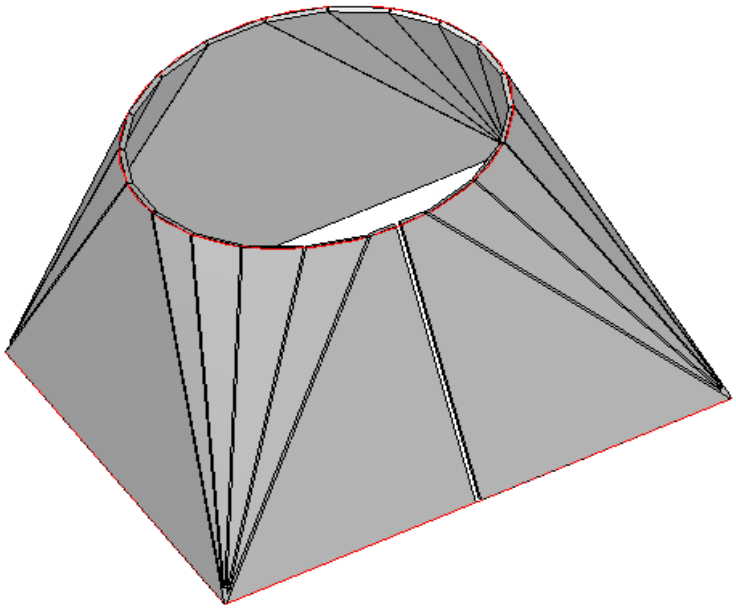


Рис. M.7.2.3

Метод **CreateRuledSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbRuledSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbRuledSolid объявлен в файле cr_sheet_ruled_solid.h.

M.7.3. Построение сгиба листового тела по линии

Метод
MbResultType
BendSheetSolidOverSegment (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const RPArray<MbFace> & **bendingFaces**,
MbCurve3D & **curve**,
bool *unbended*,
const MbBendOverSegValues & params,
MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет сгиб листового тела вдоль линии, лежащей на листовой грани тела.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **bendingFaces** – изгибаемые грани,
- **curve** – прямолинейная кривая, вдоль которой выполнить сгиб,
- *unbended* – флаг построения элемента в разогнутом состоянии,
- params – параметры построения,
- names – именователь построенных граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Прямолинейной кривой **curve** может быть отрезок, лежащий на плоских гранях **bendingFaces**, либо прямая. Грани **bendingFaces** должны располагаться на общей для них плоскости. Отрезок **curve** может лежать одновременно на нескольких плоских гранях, но сгибы будут формироваться только на тех из них, которые занесены в массив **bendingFaces**.

На рис. М.7.3.1 приведено листовое тело с выполненной операцией «сгиб по линии».

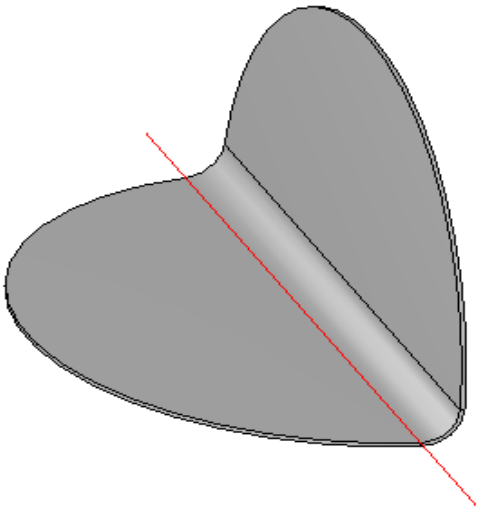


Рис. М.7.3.1

Метод **BendSheetSolidOverSegment** добавляет в журнал построенного тела строитель MbBendOverSegSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbBendOverSegSolid объявлен в файле cr_sheet_bend_over_seg_solid.h.

М.7.4. Построение подсечки листового тела

Метод
MbResultType
SheetSolidJog (MbSolid& **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const RPArray<MbFace> & **bendingFaces**,
MbCurve3D & **curve**,
bool *unbended*,
const MbJogValues & params,
const MbBendValues & secondBendParams,
MbSNameMaker & names,
RPArray<MbFace> & **firstBendFaces**,
RPArray<MbFace> & **secondBendFaces**,
MbSolid *& **result**)
выполняет подсечку тела из листового материала вдоль прямой линии.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **bendingFaces** – изгибаемые грани,
- **curve** – прямолинейная кривая, вдоль которой выполнить подсечку,
- *unbended* – флаг построения элемента в разогнутом состоянии,

- params – параметры построения,
- secondBendParams – параметры второго сгиба,
- names – именователь построенных граней.

Выходными параметрами метода являются:

- **result –** построенное тело,
- **firstBendFaces** – листовые грани сгибов, примыкающие к неподвижной части базовых граней,
- **secondBendFaces** – листовые грани сгибов, поднятых над базовыми гранями.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Линией может служить отрезок, лежащий на плоских гранях **bendingFaces**, либо прямая. Грани **bendingFaces** должны располагаться на общей для них плоскости. Отрезок **curve** может лежать одновременно на нескольких плоских гранях, но сгибы будут формироваться только на тех из них, которые занесены в массив **bendingFaces**. Подсечка выполняется в виде двух смещённых друг относительно друга сгиба по линии. Формируемые при этом листовые грани сгибов возвращаются в массивах **firstBendFaces** и **secondBendFaces**. На рис. М.7.4.1 приведено листовое тело с выполненной операцией «подсечка».

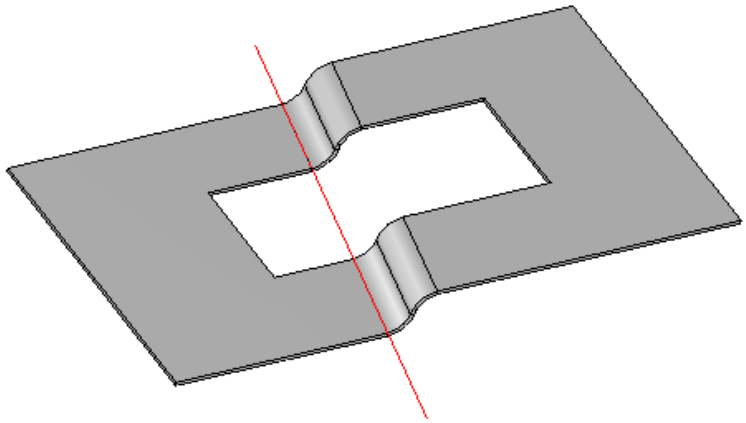


Рис. М.7.4.1

Метод **SheetSolidJog** добавляет в журнал построенного тела строитель MbJogSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbJogSolid объявлен в файле cr_stamp_jog_solid.h.

М.7.5. Сгиб разогнутого листового тела

Метод

```
MbResultType
BendSheetSolid ( MbSolid & solid,
                 MbeCopyMode sameShell,
                 const RPArray<MbSheetMetalBend> & bends,
                 const MbFace & face,
                 const MbCartPoint & point,
                 MbSNameMaker & names,
                 MbSolid *& result )
```

переводит указанные сгибы в согнутое состояние.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- bends – множество сгибов, состоящих из массивов пар граней: внутренних и внешних граней сгиба,
- **face** – грань, остающаяся неподвижной,
- **point** – точка параметрической области поверхности сгибовой грани **face**,
- names – именователь построенных граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Метод сгибает разогнутые сгибы bends листового тела относительно неподвижной грани **face**. Если **face** – листовая грань, принадлежащая одному из сгибов bends, то сгиб осуществляется так, чтобы неподвижной осталась плоскость, касательная к поверхности, лежащей под **face** в точке **point**. Как правило, в каждом элементе массива bends лежит только одна пара листовых граней – внутренняя и внешняя листовые грани сгиба, но в случае линейчатой обечайки по двум эскизам может возникнуть ситуация, когда цепочка таких смежных сгибов может быть согнута только одновременно, тогда элемент массива bends должен включать в себя всю такую цепочку в виде пар соответствующих друг другу внешних и внутренних граней составного сгиба. Все звенья такой цепочки помечаются операцией создания линейчатой обечайки одинаковым значением в поле MbSMBendNames::groupNumber, отличным от SYS_MAX_UINT. Если значение равно SYS_MAX_UINT, значит сгиб одиночный и не входит в состав ни одной цепочки. Если значения в groupNumber разные, значит звенья принадлежат разным цепочкам одновременно сгибаемых/разгибаемых сгибов.

На рис. М.7.5.1 приведено листовое тело в разогнутом состоянии.

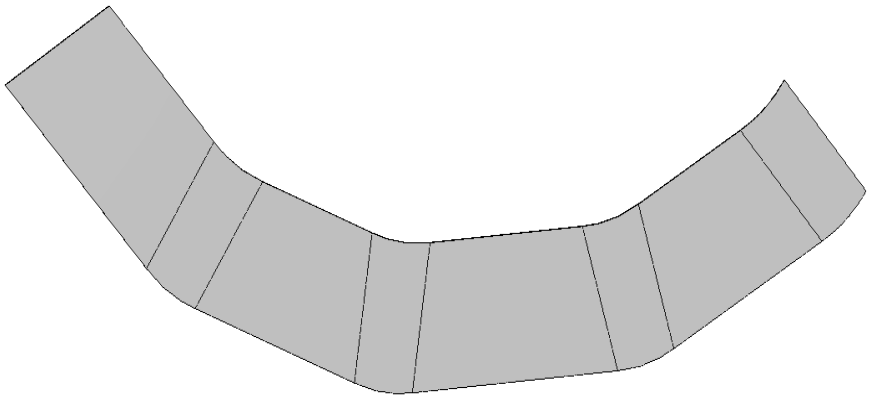


Рис. М.7.5.1

На рис. М.7.5.2 приведено листовое тело с рис. М.7.5.1 после выполнения операции «согнуть».

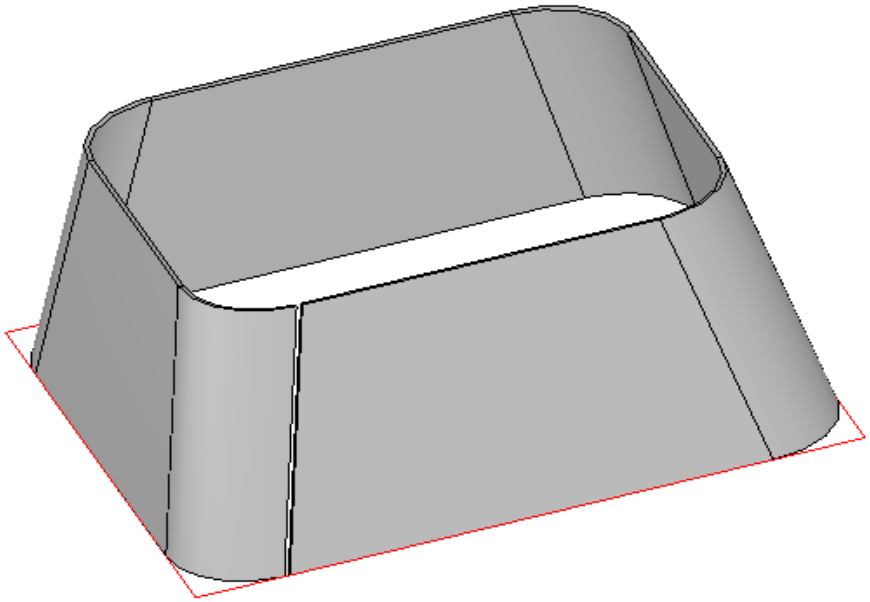


Рис. M.7.5.2

Метод **BendSheetSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbBendUnbendSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbBendUnbendSolid объявлен в файле cr_sheet_bend_unbend_solid.h.

M.7.6. Разгиб сгибов листового тела

Метод
MbResultType
UnbendSheetSolid (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const RPArray<MbSheetMetalBend> & bends,
const MbFace & **face**,
const MbCartPoint & **point**,
MbSNameMaker & names,
MbSolid*& **result**)
разгибает сгибы листового тела.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- bends – множество сгибов, состоящих из пар граней: внутренней и внешней граней сгиба,
- **face** – грань, остающаяся неподвижной,
- **point** – точка параметрической области поверхности сгибовой грани **face**,
- names – именователь построенных граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Метод разгибает сгибы bends листового тела относительно неподвижной грани **face**. Если **face** – листовая грань, принадлежащая одному из сгибов bends, то разгиб осуществляется так, чтобы неподвижной осталась плоскость, касательная к поверхности, лежащей под **face** в точке **point**. Как правило, в каждом элементе массива bends лежит только одна пара листовых граней – внутренняя и внешняя листовые грани сгиба, но в случае линейчатой обечайки по двум эскизам может возникнуть ситуация, когда цепочка таких смежных сгибов может быть разогнута только одновременно, тогда элемент массива bends должен включать в себя всю такую цепочку в виде пар соответствующих друг другу внешних и внутренних граней составного сгиба. Все звенья такой цепочки помечаются операцией создания линейчатой обечайки одинаковым значением в поле MbSMBendNames::groupNumber, отличным от SYS_MAX_UINT. Если значение равно SYS_MAX_UINT, значит сгиб одиночный и не входит в состав ни одной цепочки. Если значения в groupNumber разные, значит звенья принадлежат разным цепочкам одновременно сгибаемых/разгибаемых сгибов.

При разгибе цилиндрического сгиба радиус его внутренней грани можно получить непосредственно с самой грани, поэтому значение радиуса, пришедшее в параметрах сгиба игнорируется и операция будет выполнена корректно, даже при неправильно заданном в параметрах значении.

На рис. М.7.6.1 приведено листовое тело в согнутом состоянии.

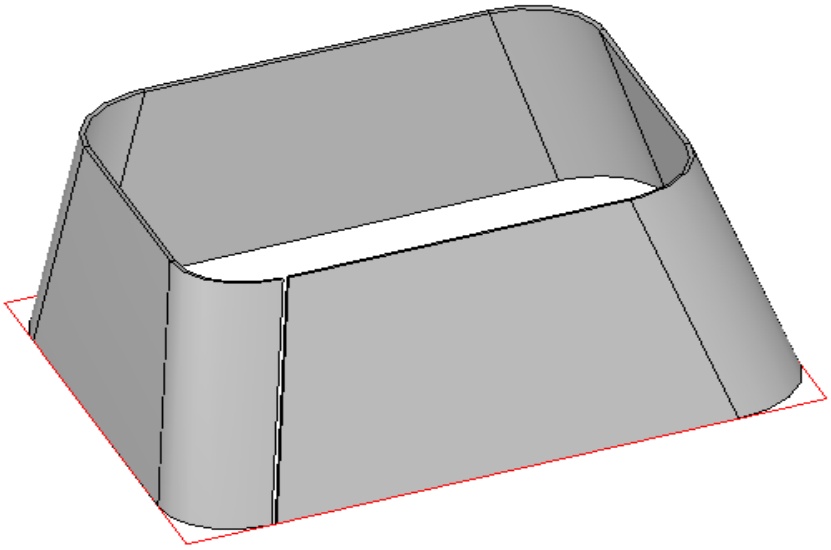


Рис. М.7.6.1

На рис. М.7.6.2 приведено листовое тело с рис. М.7.6.1 после выполнения операции «разогнуть».

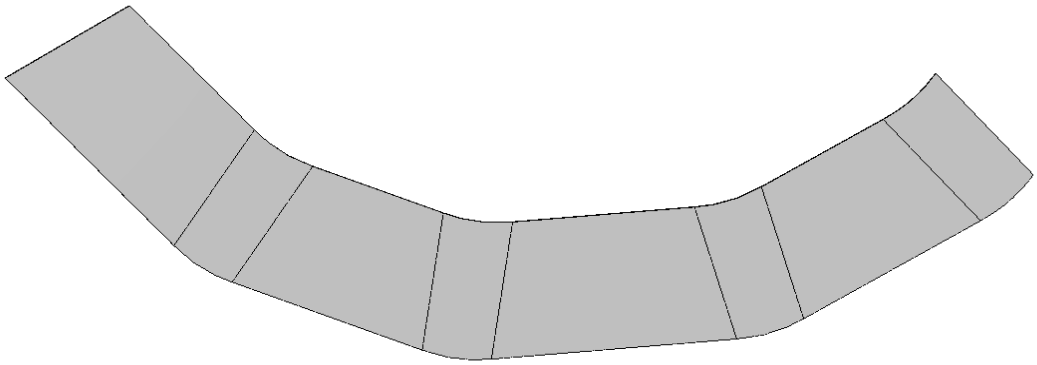


Рис. М.7.6.2

Метод **UnbendSheetSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbBendUnbendSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbBendUnbendSolid объявлен в файле cr_sheet_bend_unbend_solid.h.

М.7.7. Добавление пластины к листовому телу

Метод
MbResultType
SheetSolidPlate (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const MbPlacement3D & **placement**,
RPArray<MbContour> & **contours**,
const MbSheetMetalValues & params,
PArray<MbSNameMaker> * names,
MbSolid *& **result**)
выполняет добавление пластины к листовому телу.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **placement** – локальная система координат,
- **contours** – контуры пластины, заданные в плоскости XY локальной системы координат,
- params – параметры построения,
- names – именователь построенных граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Пластина строится по одному или нескольким замкнутым не пересекающимся контурам, причём среди них может быть несколько внешних.

На рис. М.7.7.1 приведено листовое тело после выполнения операции «пластина».

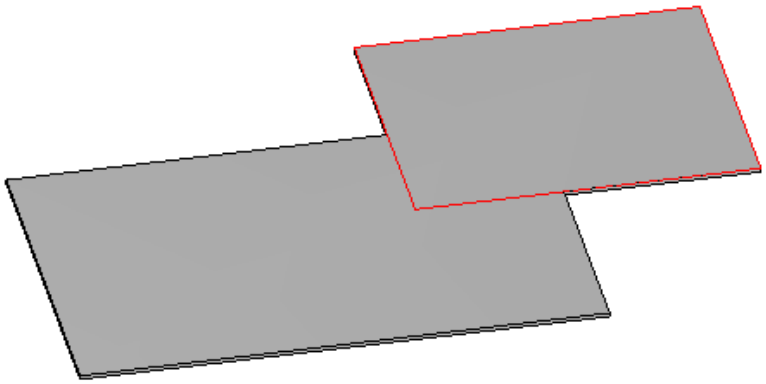


Рис. М.7.7.1

Метод **SheetSolidPlate** добавляет в журнал построенного тела строитель MbSheetMetalSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbSheetMetalSolid объявлен в файле cr_sheet_sheet_metal_solid.h.

М.7.8. Построение выреза в листовом теле

Метод
MbResultType
SheetSolidHole (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const MbPlacement3D & **placement**,
RPArray<MbContour> & **contours**,
const MbSheetMetalValues & params,
bool *difference*,
PArray<MbSNameMaker> * names,
MbSolid *& **result**)
вырезает отверстия в листовом теле по замкнутым контурам.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **placement** – локальная система координат,
- **contours** – контуры выреза/пересечения, заданные в плоскости XY локальной системы координат,
- params – параметры построения,
- *difference* – флаг способа построения: отверстие (true), пересечение (false),
- names – именователь построенных граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Метод примечателен тем, что помимо обычного булевого выреза имеет опцию выреза по толщине, когда вырез как бы огибает все сгибы листового тела, то есть листовое тело, построенное по контурам

из параметров операции вырезания с толщиной исходного тела, перед вырезанием повторяет все встречающиеся на пути сгибы исходного тела.

На рис. М.7.8.1 приведено листовое тело после выполнения операции «вырез в листовом теле» с опцией «по толщине».

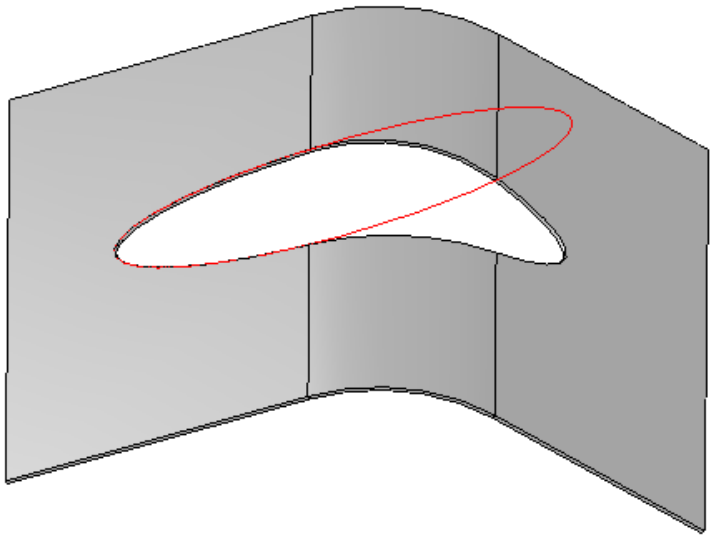


Рис. М.7.8.1

Метод **SheetSolidHole** добавляет в журнал построенного тела строитель MbSheetMetalSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbSheetMetalSolid объявлен в файле cr_sheet_sheet_metal_solid.h.

М.7.9. Построение сгиба листового тела на ребрах

Метод
MbResultType
BendSheetSolidByEdges (MbSolid & **solid**,
const MbeCopyMode *sameShell*,
const RPArray<MbCurveEdge> & **edges**,
const bool *unbended*,
const MbBendByEdgeValues & params,
MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение сгиба листового тела на указанных прямолинейных ребрах.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **edges** – множество рёбер для построения сгибов,
- *unbended* – флаг построения сгибов в разогнутом состоянии,
- params – параметры построения,
- names – именователь построенных граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Сгиб строится согласно заданным параметрам на одном или нескольких рёбрах, принадлежащих плоской грани листового тела, путём присоединения к торцу пластины сгиба с плоским продолжением или без него с возможными расширениями или уклонами боковых сторон в зависимости от параметров операции. Для цепочек смежных рёбер возможно построение замыкания углов.

На рис. М.7.9.1 приведено листовое тело после выполнения операции «сгиб».

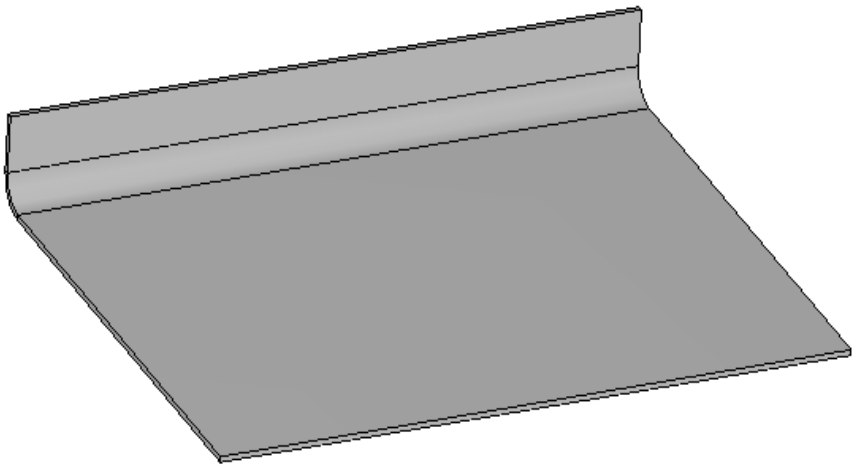


Рис. М.7.9.1

На рис. М.7.9.2 приведено листовое тело после выполнения операции «сгиб» с опцией «уклон» слева и опцией «расширение продолжения» справа.

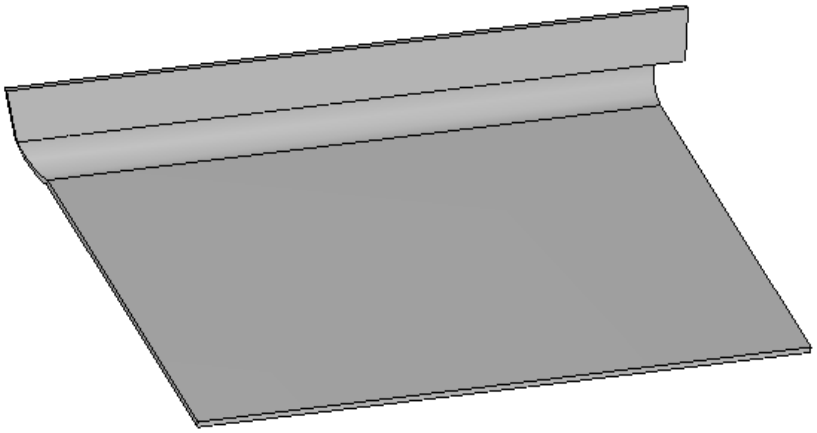


Рис. М.7.9.2

На рис. М.7.9.3 приведено листовое тело с выполненной операцией «сгиб» с опцией «освобождение сгиба».

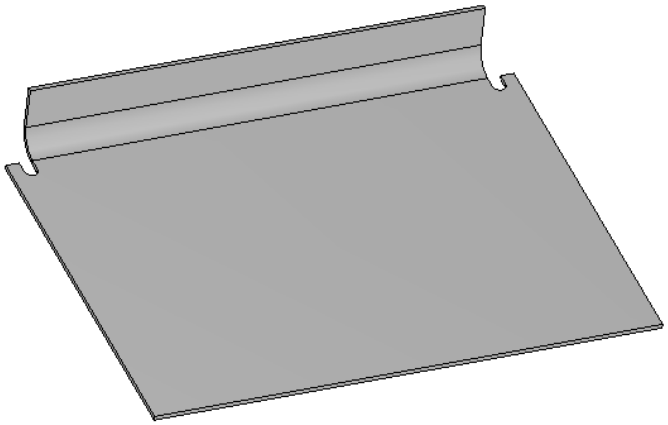


Рис. М.7.9.3

На рис. М.7.9.4 приведено листовое тело после выполнения операции «сгиб» с множественным выбором рёбер и опцией «замыкание угла».

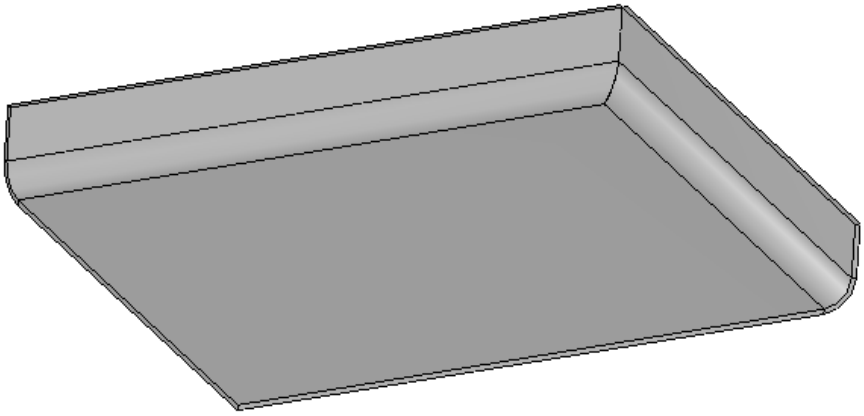


Рис. М.7.9.4

Метод **BendSheetSolidByEdges** добавляет в журнал построенного тела строитель MbBendByEdgeSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbBendByEdgeSolid объявлен в файле cr_sheet_bend_by_edge_solid.h.

М.7.10. Построение сгиба по эскизу

Метод
MbResultType
SheetSolidJointBend (MbSolid& **solid**,
const MbeCopyMode *sameShell*,
const MbPlacement3D & **placement**,
const MbContour & **contour**,
const RPArray<MbCurveEdge> & **edges**,
const bool *unbended*,
const MbJointBendValues & params,
MbSNameMaker & names,

PArray< PArray<MbSMBendNames> > & **bends**,
MbSolid *& **result**)

выполняет построение сгиба листового тела по эскизу.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **placement** – локальная система координат,
- **contour** – контур сгибов, заданный в плоскости XY локальной системы координат,
- **edges** – множество рёбер для построения сгибов,
- *unbended* – флаг построения сгибов в разогнутом состоянии,
- params – параметры построения,
- names – именователь построенных граней,
- **bends** – параметры формируемых сгибов.

Выходными параметрами метода являются построенное тело **result** и формируемые сгибы **bends**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Комбинированный сгиб листового тела, он же сгиб по эскизу, может строиться на одном или нескольких соседних прямолинейных рёбрах одной листовой грани или нескольких листовых граней, расположенных через сгиб. Эскиз, состоящий из отрезков и дуг, должен лежать в плоскости, перпендикулярной одному из рёбер построения и одним концом располагаться на его проекции на эту плоскость.

Данный эскиз применяется к каждому ребру, участвующему в построении. По нему и его копиям для всех рёбер строятся листовые тела с формированием сгибов на дугах и негладких стыковках прямолинейных сегментов контура, а также между контуром и листовой пластиной в случае их негладкой стыковки. Построенные тела объединяются с исходным телом, и затем осуществляются замыкания углов согласно заданным параметрам. Если множество **bends** пустое, то для всех формируемых сгибов параметры берутся из params. Если множество **bends** заполнено индивидуальными параметрами для каждого сгиба, то при построении применяются параметры из **bends** и в них же возвращаются имена внутренних и внешних граней построенных сгибов.

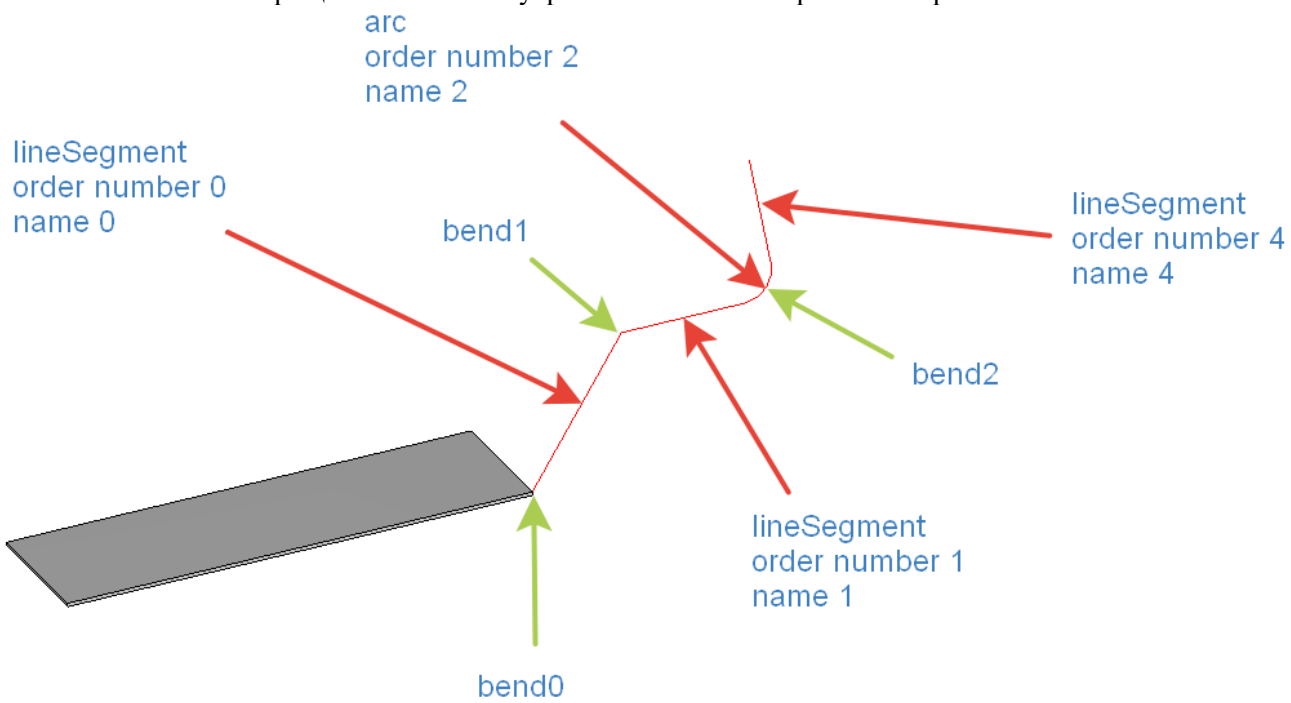


Рис. М.7.10.1

На рис. М.7.10.1 приведён пример эскиза для построения сгибов. Чтобы задать индивидуальные параметры и получить имена граней сгибов надо заполнить массив **bends** следующим образом. Для каждого ребра, участвующего в построении формируется и добавляется в **bends** свой массив элементов MbSMBendNames. Каждый такой массив должен содержать количество элементов равное количеству формируемых по эскизу сгибов. В нашем примере три сгиба. Элемент для bend0 должен

содержать SIMPLENAME_MAX в segName1 и segName2, элемент для bend1 должен содержать в segName1 и segName2 имена сегментов контура между которыми строится сгиб, то есть 0 и 1, элемент для bend2 должен содержать в segName1 имя дуги arc, то есть 2, и SIMPLENAME_MAX в segName2. Имена сегментов эскиза должны быть заданы в именователе names согласованно по порядку следования сегментов в эскизе, то есть для сегмента эскиза с порядковым номером 0 в именователе должно быть его имя в ячейке с индексом 0, и т. д. Пустой именователь выдаёт в качестве имени индекс ячейки, т. е. в приведённом выше примере массив имён в именователе можно не заполнять. Для каждого сгиба надо заполнить радиус и коэффициент нейтрального слоя. В полях innerFaceName и outerFaceName вернутся имена внутренней и внешней грани сформированного сгиба соответственно.

На рис. М.7.10.2 приведено листовое тело после выполнения операции «сгиб по эскизу».

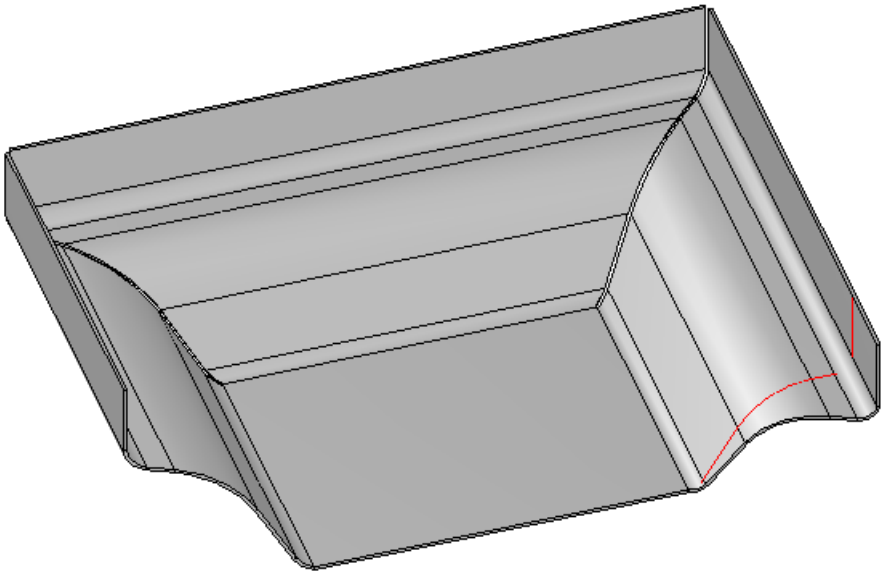


Рис. М.7.10.2

Метод **SheetSolidJointBend** добавляет в журнал построенного тела строитель MbJointBendSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbJointBendSolid объявлен в файле cr_sheet_joint_bend_solid.h.

М.7.11. Замыкание угла листового тела

Метод
MbResultType
CloseCorner (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
MbCurveEdge * **edgePlus**,
MbCurveEdge * **edgeMinus**,
const MbClosedCornerValues & params,
MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет замыкание угла листового тела.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,

- **edgePlus** – ребро сгиба, условно принятое за положительное,
- **edgeMinus** – ребро сгиба, условно принятое за отрицательное,
- params – параметры построения,
- names – именователь построенных граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Если на соседних рёбрах листовой грани или на рёбрах разделённых сгибом построены два сгиба, то между ними образуется угол, который можно затянуть материалом, расширив соответствующие стороны этих сгибов, что и осуществляет данная операция. В необходимых случаях вместо расширения выполняется подрезка. В параметрах можно выставить величину зазора и виды замыкания отдельно для сгибов и отдельно для их плоских продолжений. Также, в случае замыкания угла между сгибами, построенными на смежных рёбрах одной грани, можно выбрать несколько способов обработки угла.

На рис. М.7.11.1 приведено листовое тело с двумя сгибами после выполнения операции «замыкание угла» без обработки сгиба.

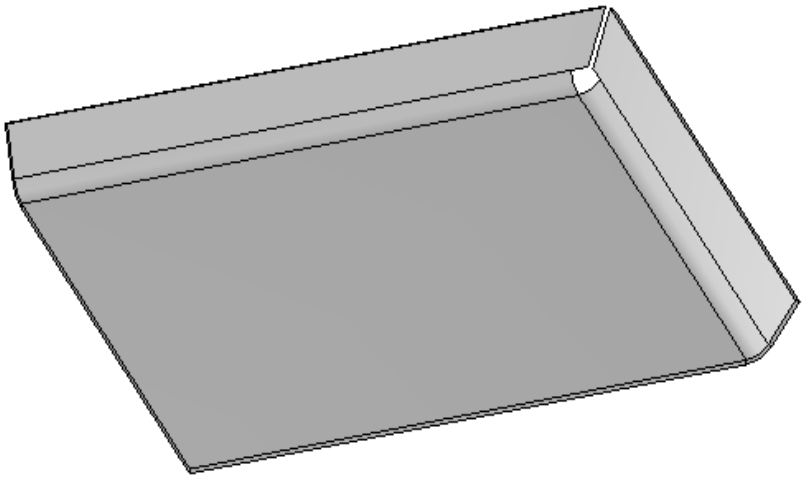


Рис. М.7.11.1

На рис. М.7.11.2 приведено листовое тело с двумя сгибами после выполнения операции «замыкание угла» с плотным замыканием, стыком по кромке и зазором.

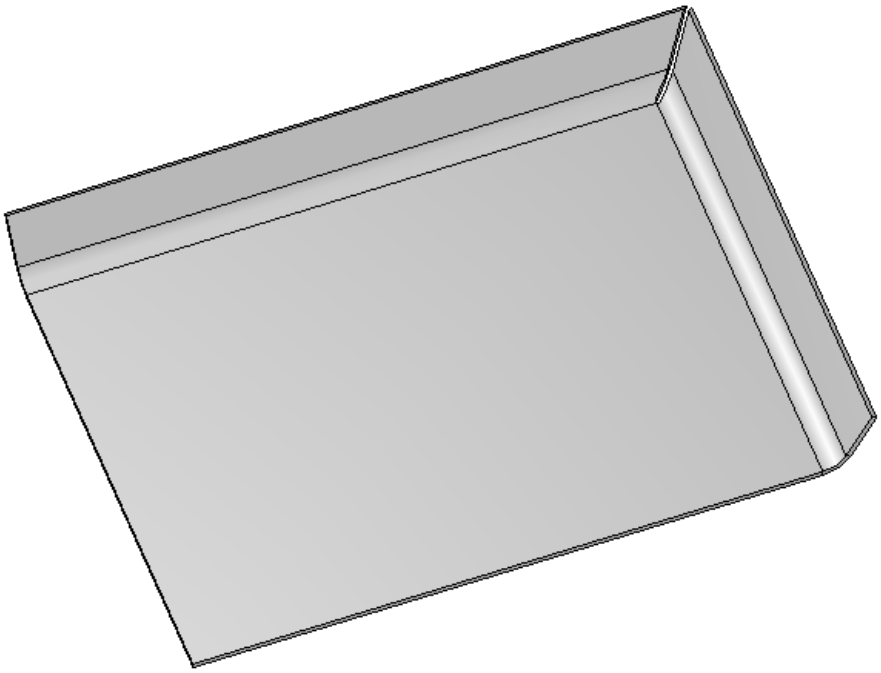


Рис. М.7.11.2

На рис. М.7.11.3 приведено листовое тело с двумя сгибами после выполнения операции «замыкание угла» с плотным замыканием, зазором и круговой обработкой угла.

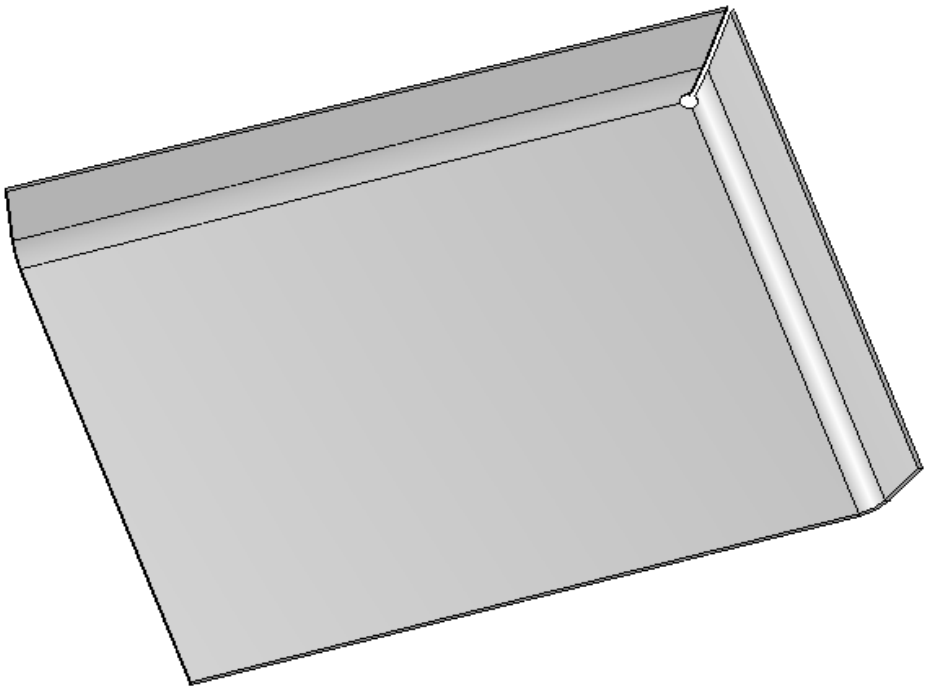


Рис. М.7.11.3

Метод **CloseCorner** добавляет в журнал построенного тела строитель MbClosedCornerSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbClosedCornerSolid объявлен в файле cr_sheet_closed_corner_solid.h.

М.7.12. Построение штампованного тела

Метод
MbResultType
Stamp (MbSolid& **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const MbFace & **face**,
const MbPlacement3D & **placement**,
const MbContour & **contour**,
const MbStampingValues & params,
MbSNameMaker & names,
MbSolid*& **result**)
выполняет штамповку заданной формы на указанной грани.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **face** – грань штамповки,
- **placement** – локальная система координат,
- **contour** – контур штамповки, заданный в плоскости XY локальной системы координат,
- params – параметры построения,
- names – именователь построенных граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Штамповка строится по одному замкнутому или незамкнутому контуру, лежащему на плоской листовой грани. Замкнутый эскиз может лежать на листовой грани полностью или частично, а незамкнутый должен начинаться и заканчиваться за пределами грани. Штамповка подрезается границами листовой грани, на которой располагается эскиз. Эскиз определяет форму донышка штамповки. Штамповка в зависимости от параметров может быть открытой. Это означает, что листовая пластина пробивается по контуру насквозь.

На рис. М.7.12.1 приведено листовое тело после выполнения операции «закрытая штамповка».

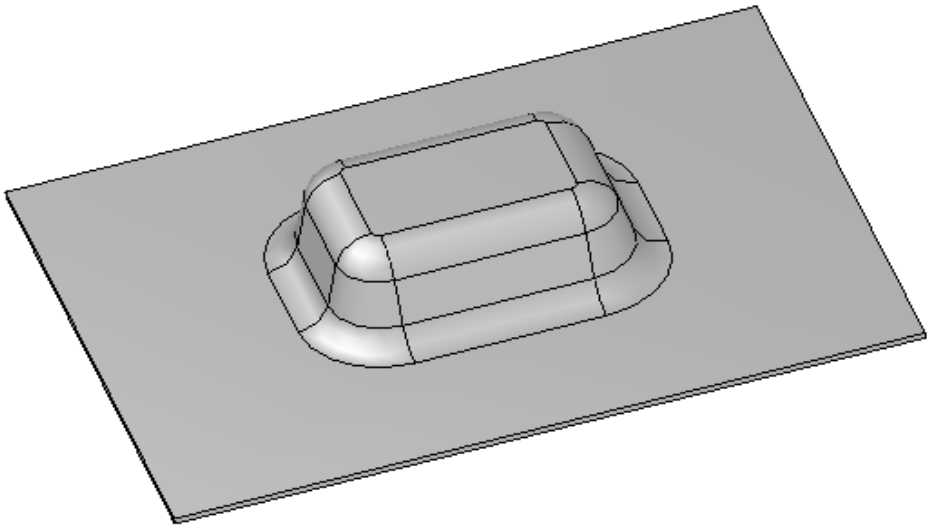


Рис. М.7.12.1

На рис. М.7.12.2 приведено листовое тело после выполнения операции «открытая штамповка».

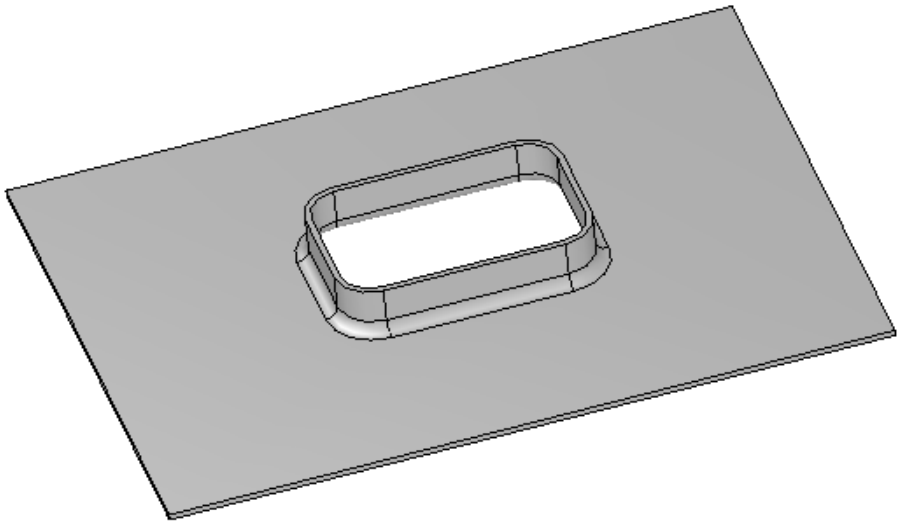


Рис. М.7.12.2

На рис. М.7.12.3 приведено листовое тело после выполнения операции «закрытая штамповка» по незамкнутому эскизу.

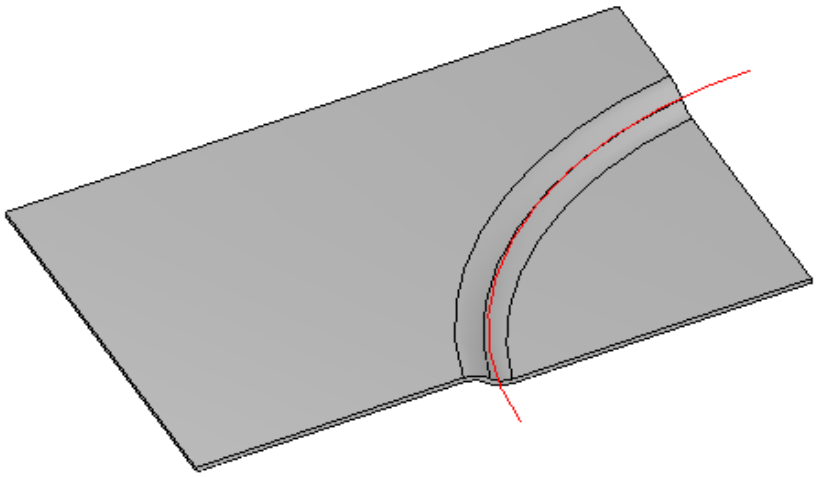


Рис. M.7.12.3

Метод **Stamp** добавляет в журнал построенного тела строитель MbStampSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbStampSolid объявлен в файле cr_stamp_solid.h.

M.7.13. Построение буртика листового тела

Метод
MbResultType
CreateBead (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const MbFace& **face**,
const MbPlacement3D & **placement**,
const RPArray<MbContour> & **contours**,
const MbBeadValues & params,
MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение буртика листового тела.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **face** – грань буртика,
- **placement** – локальная система координат,
- **contour** – контуры буртика, заданные в плоскости XY локальной системы координат,
- params – параметры построения,
- names – именователь построенных граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Буртик строится по одному или нескольким замкнутым или незамкнутым контурам, лежащим на плоской листовой грани. Если контур выходит за пределы этой грани, то буртик подрезается её границами. Буртик по незамкнутому контуру в начале и в конце имеет законцовки, вид которых задаётся в параметрах операции.

На рис. М.7.13.1 приведено листовое тело после выполнения операции «буртик» с круглой формой сечения и закрытой законцовкой.

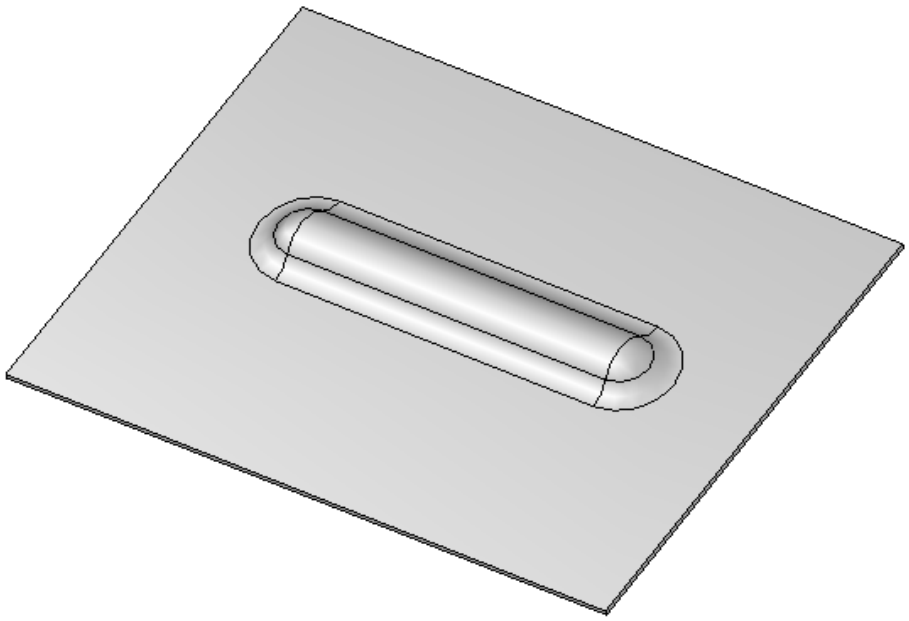


Рис. М.7.13.1

На рис. М.7.13.2 приведено листовое тело после выполнения операции «буртик» с U-образной формой сечения и открытой законцовкой.

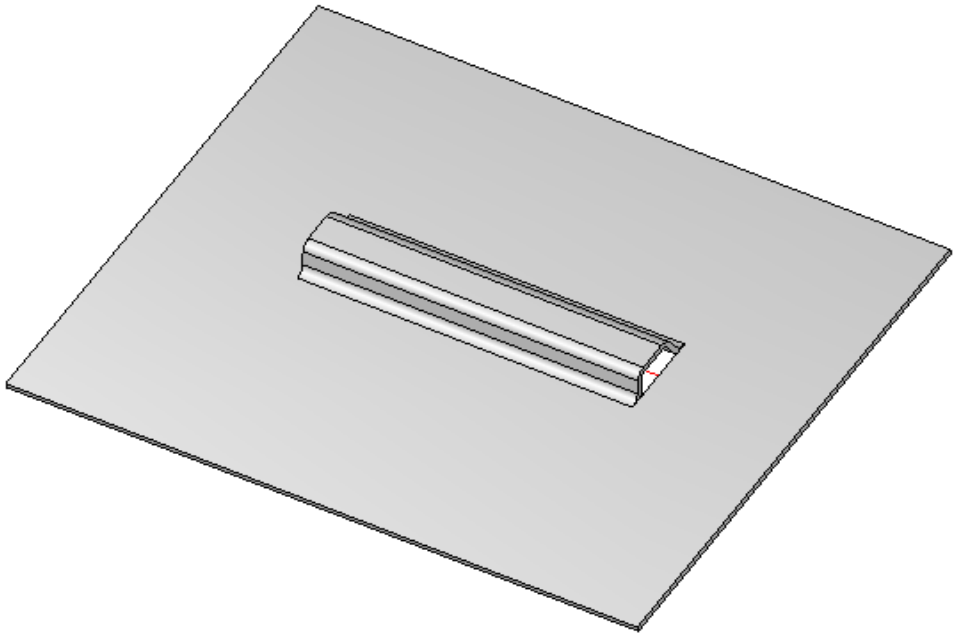


Рис. М.7.13.2

На рис. М.7.13.3 приведено листовое тело после выполнения операции «буртик» с V-образной формой сечения и рубленной законцовкой.

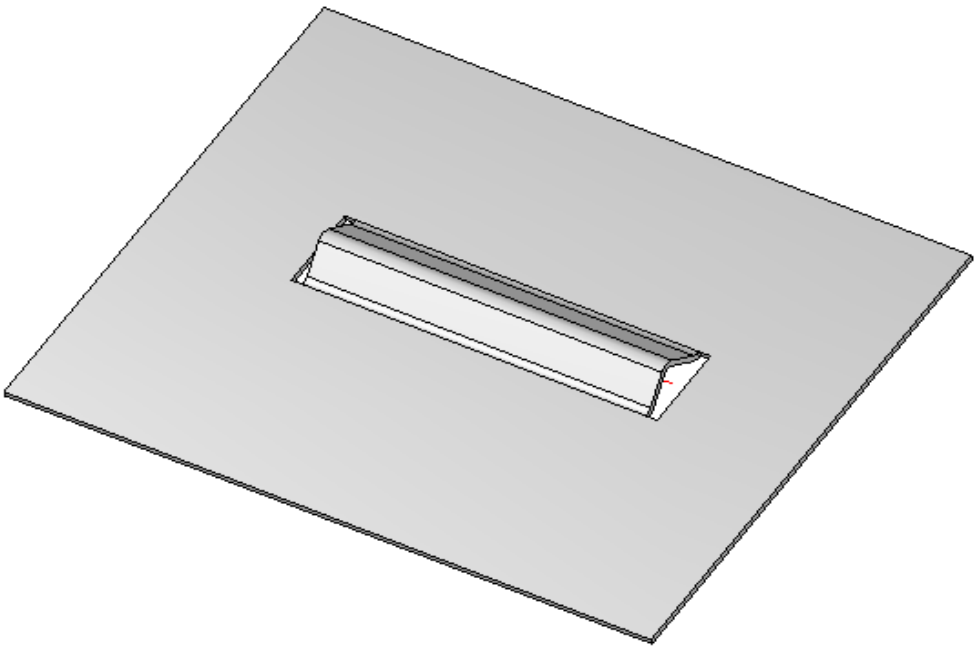


Рис. М.7.13.3

На рис. М.7.13.4 приведено листовое тело после выполнения операции «буртик» с круглой формой сечения по эскизу, выходящему за пределы листа.

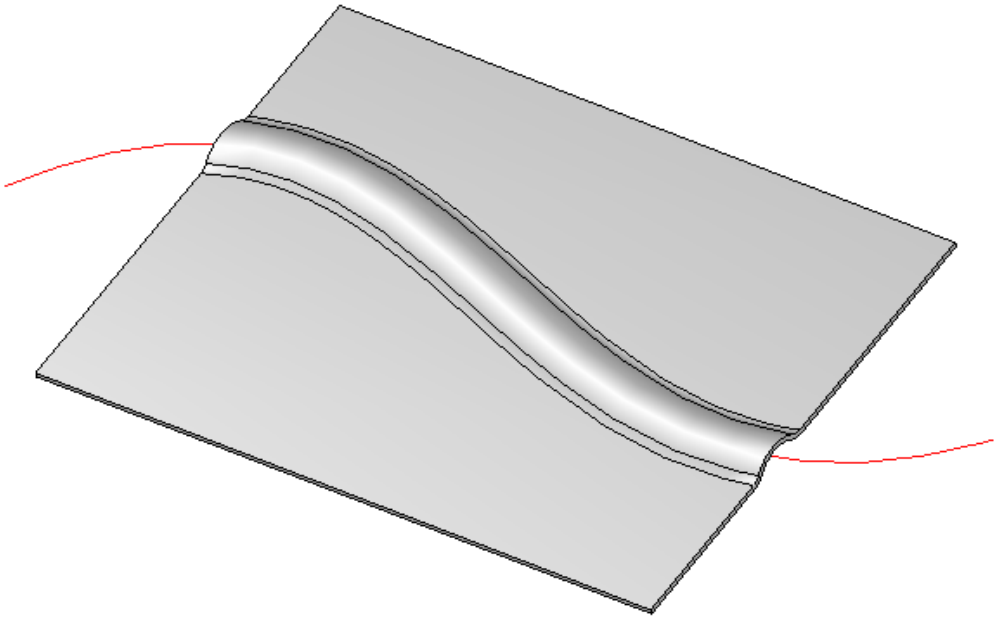


Рис. M.7.13.4

Метод **CreateBead** добавляет в журнал построенного тела строитель MbBeadSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbBeadSolid объявлен в файле cr_stamp_bead_solid.h.

M.7.14. Построение жалюзи листового тела

Метод
MbResultType
CreateJalousie (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const MbFace & **face**,
const MbPlacement3D & **placement**,
const RPArray<MbLineSegment> & **segments**,
const MbJalousieValues & params,
MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение жалюзи листового тела.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **face** – грань жалюзи,
- **placement** – локальная система координат,
- **segments** – отрезки жалюзи, заданные в плоскости XY локальной системы координат,
- params – параметры построения,
- names – именователь построенных граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Жалюзи строятся на одном или нескольких отрезках, лежащих на плоской листовой грани. Жалюзи не могут выходить за пределы грани и пересекаться сами с собой. Жалюзи бывают двух видов: вытяжка и подрезка. Вытяжка имеет вид половины элемента, разрезанного вдоль прямолинейного буртика, а подрезка имеет вид отогнутой пластины.

На рис. М.7.14.1 приведено листовое тело после выполнения операции «жалюзи» способом «вытяжка».

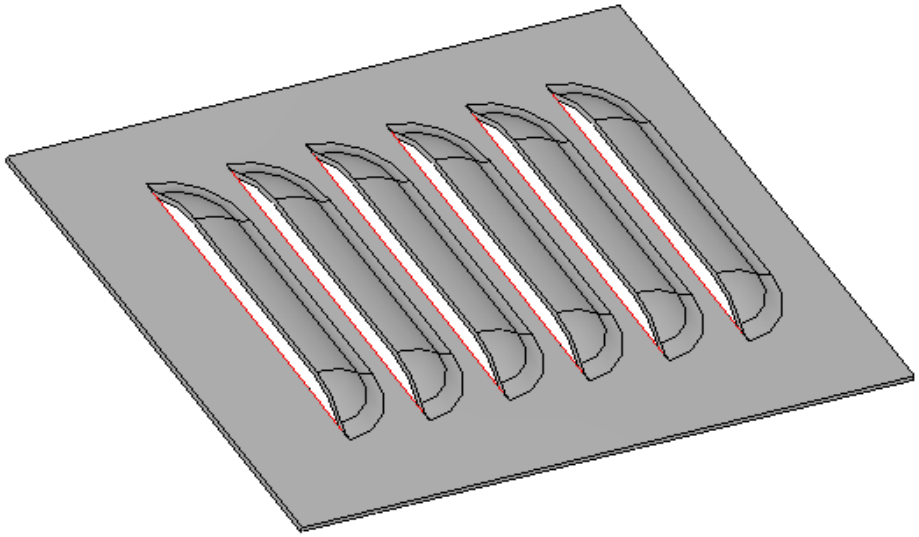


Рис. М.7.14.1

На рис. М.7.14.2 приведено листовое тело после выполнения операции «жалюзи» способом «подрезка».

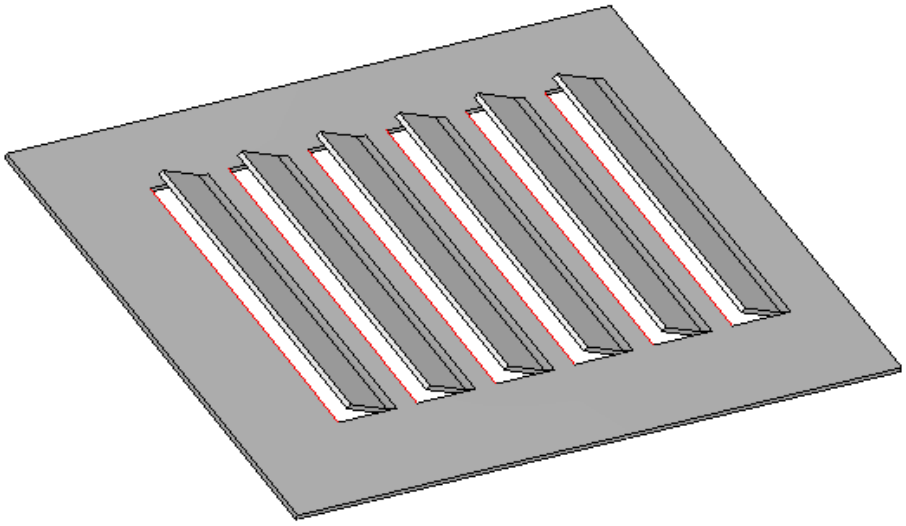


Рис. М.7.14.2

Метод **CreateJalousie** добавляет в журнал построенного тела строитель MbJalousieSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbJalousieSolid объявлен в файле cr_stamp_jalousie_solid.h.

M.7.15. Восстановление рёбер сгибов листового тела

Метод
MbResultType
RestoreSideEdges (MbSolid& **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const RPArray<MbFace> & **faces**,
const bool *strict*,
PArray<MbSheetMetalBend> & **bends**,
MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
восстанавливает боковые рёбра сгибов листового тела.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **faces** – множество внешних граней сгибов, у которых требуется восстановить боковые рёбра,
- *strict* – флаг строгости восстановления (false – восстанавливать, где возможно),
- names – именователь построенных граней.

Выходными параметрами метода являются построенное тело **result** и сгибы **bends**, у которых восстановили боковые рёбра.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Метод служит для восстановления боковых границ сгибов после построений, которые могли их удалить, например, вырез или скругление. Сейчас метод восстановления боковых рёбер вызывается автоматически с флагом *strict* равным false в булевой операции и в операции скругления.

На рис. M.7.15.1 изображены боковые рёбра сгиба.

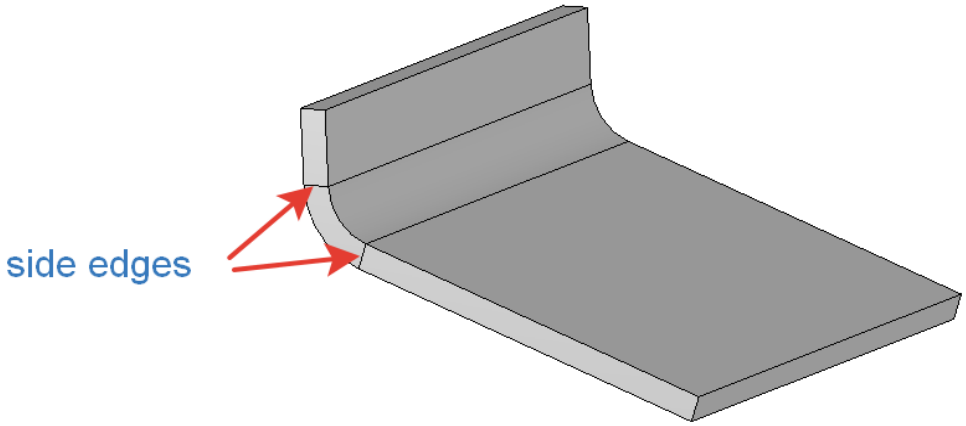


Рис. M.7.15.1

Метод **RestoreSideEdges** добавляет в журнал построенного тела строитель MbRestoredEdgesSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbRestoredEdgesSolid объявлен в файле cr_sheet_restored_edges_solid.h.

М.7.16. Разделение сгибов листового тела на группы

Метод
bool
SeparateBendsBySubshells (const MbSolid & **solid**,
const RPArray<MbSheetMetalBend> & **bends**,
const MbName & fixedFaceName,
PArray< RPArray<MbSheetMetalBend> > & bendsGroups,
RPArray<const MbFace> & **fixedFaces**)
разделяет сгибы по принадлежности разным топологическим частям листового тела.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – листовое тело,
- **bends** – сгибы тела,
- fixedFaceName – имя неподвижной грани.

Выходными параметрами метода являются множество сгибов **bendsGroups**, разделённых на группы по принадлежности разным топологическим частям тела, и соответствующие этим частям неподвижные грани **fixedFaces**.

При удачной работе метод возвращает true, в противном случае метод возвращает false.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Метод используется после операций, разрезающих тело на несколько несвязанных между собой частей для того, чтобы определить какие сгибы и куски неподвижной грани в какую часть попали. В результате работы метода формируется взаимооднозначное соответствие групп сгибов и соответствующих этим группам кусков неподвижной грани.

На рис. М.7.16.1 изображены две группы сгибов со своими неподвижными гранями.

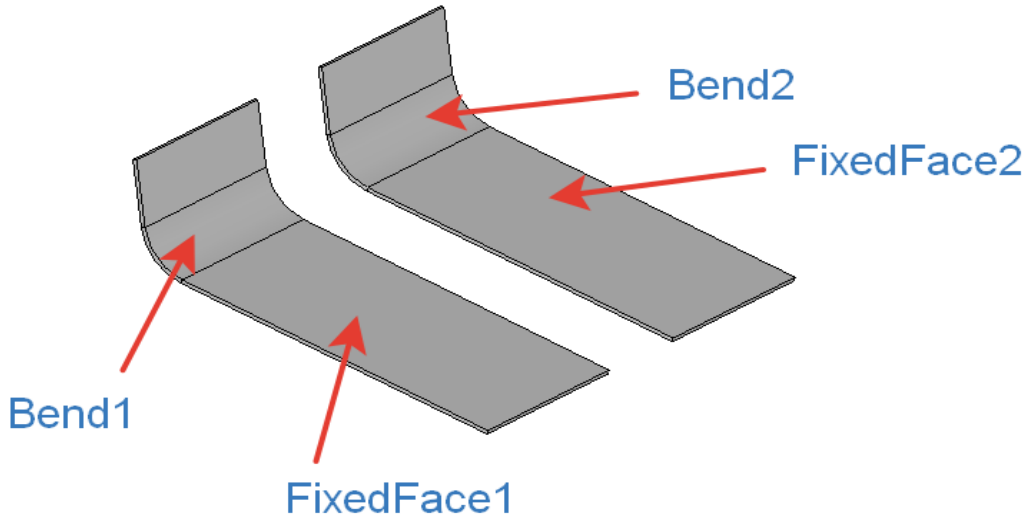


Рис. М.7.16.1

М.7.17. Разделение сгибов листового тела на пары

Метод
bool
CollectBends (const MbFaceShell & **shell**,
const RPArray<MbFace> & **innerFaces**,
const RPArray<MbFace> & **outerFaces**,
PArray<MbSheetMetalBend> & **bends**)
разделяет грани сгибов листового тела на пары.

Входными параметрами метода являются:

- **shell** – множество граней листового тела,
- **innerFaces** – внутренние грани сгибов,
- **outerFaces** – внешние грани сгибов.

Выходным параметром метода является множество найденных пар граней, составляющих сгибы, **bends**.

При удачной работе метод возвращает true, в противном случае метод возвращает false.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Ищутся составляющие сгиб внутренняя и внешняя грань среди неупорядоченного набора внешних и внутренних граней сгибов, по ним формируется сгиб, который добавляется в множество **bends**.

На рис. М.7.17.1 изображены внутренняя и внешняя грани сгиба.

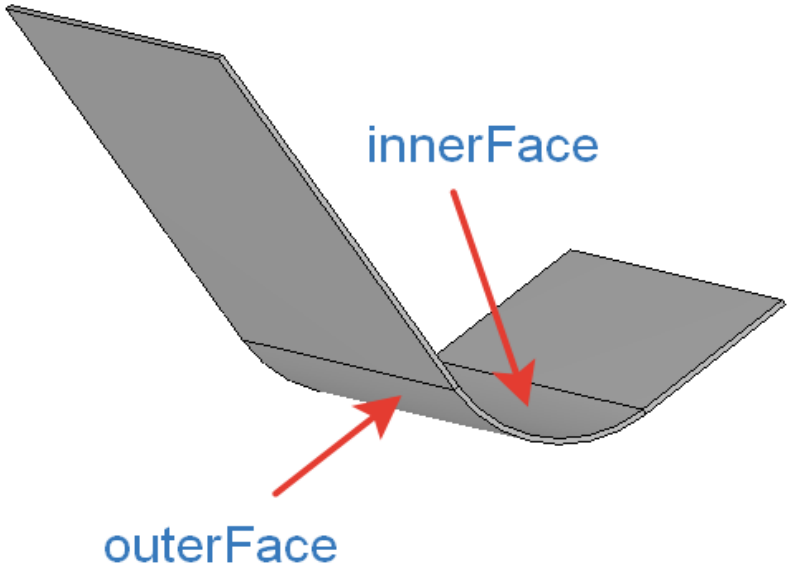


Рис. М.7.17.1

М.7.18. Проверка грани на возможность быть фиксированной

Метод
bool
IsSuitableForFixed (const MbFace& **face**)
выполняет проверку грани на возможность использования в качестве фиксированной при сгибе или разгибе сгиба листового тела.

Входным параметром метода является проверяемая грань **face**.

Метод возвращает true, если грань может быть выбрана в качестве фиксированной для сгиба и разгиба листового тела, в противном случае метод возвращает false.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

М.7.19. Поиск граней для кривой

Метод
void
FindCurveFaces (const RPArray<MbFace> & **faces**,
const MbCurve3D & **curve**,
RPArray<MbFace> & **curveFaces**)

выполняет поиск граней, на которых лежит указанная прямолинейная кривая.

Входными параметрами метода являются:

- **faces** – множество граней для поиска,
- **curve** – прямолинейная кривая, лежащая на некоторых гранях множества.

Выходным параметром метода является множество граней **curveFaces**, на которых лежит кривая **curve**.

Метод не возвращает значений.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

На рис. М.7.19.1 изображены две листовые грани, лежащие под отрезком.

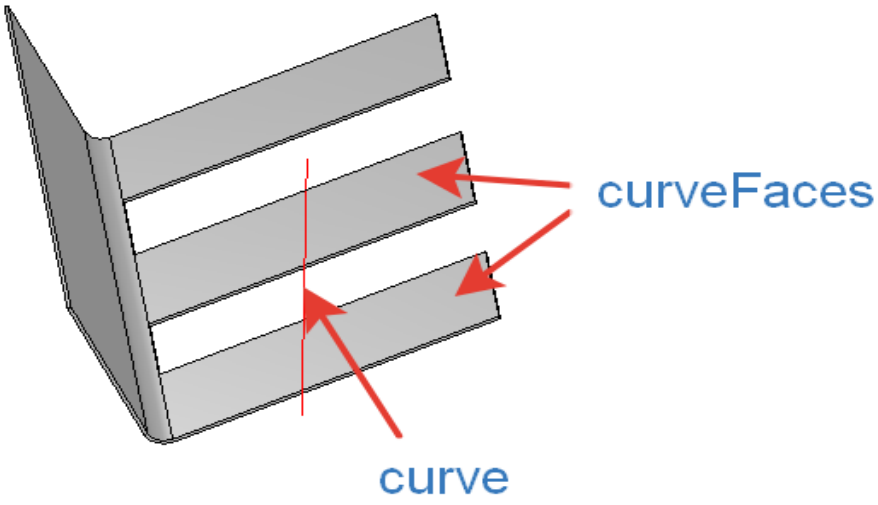


Рис. М.7.19.1

М.7.20. Поиск листовой грани тела

Метод

MbFace*
FindSheetFace (const MbCurveEdge & **edge**)
выполняет поиск верхней или нижней грани листового тела, содержащей заданное ребро.

Входным параметрами метода является ребро листовой грани **edge**.

При удачной работе метод возвращает указатель на найденную грань, в противном случае метод возвращает NULL.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Поиск верхней или нижней грани листового тела выполняется среди двух стыкующихся в ребре **edge** граней.

На рис. М.7.20.1 изображена листовая грань, смежная с ребром.

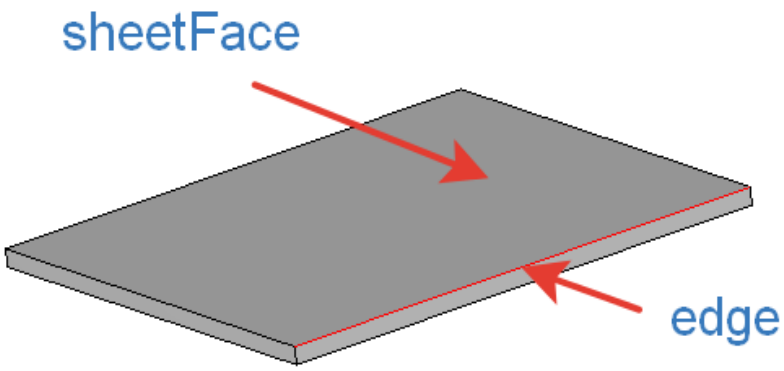


Рис. М.7.20.1

М.7.21. Поиск парной грани сгиба листового тела

Метод
MbFace *
FindPairBendFace (const MbFace & **face**)
выполняет поиск парной грани сгиба листового тела.

Входным параметром метода является грань сгиба листового тела **face**.

При удачной работе метод возвращает указатель на найденную грань, в противном случае метод возвращает NULL.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Метод ищет грань сгиба листового тела, противоположную заданной грани.

На рис. М.7.21.1 изображены грань сгиба и парная ей грань.

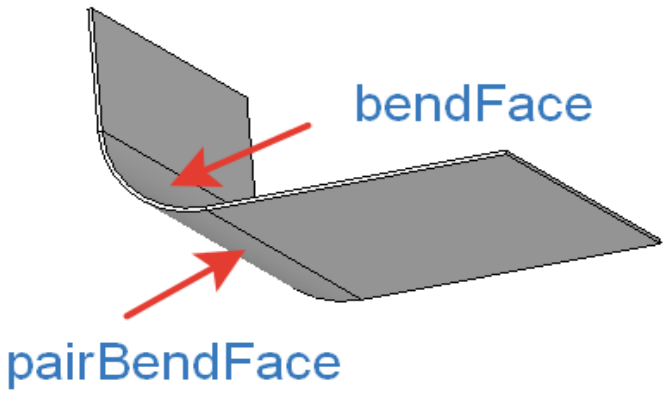


Рис. М.7.21.1

М.7.22. Поиск плоской грани листового тела

Метод

MbFace *
GetPairPlanarFaceByEdge (const MbCurveEdge & **edge**,
const double *begDistance*,
const double *endDistance*)

выполняет поиск плоской грани листового тела по заданному ребру и расстояниям от его концов.

Входными параметрами метода являются:

- **edge** – ребро, по которому искать.
- *begDistance* – расстояние от начала ребра,
- *endDistance* – расстояние от конца ребра.

При удачной работе метод возвращает указатель на найденную грань, в противном случае метод возвращает NULL.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Метод ищет парную грань листового тела для содержащей ребро **edge** листовой грани. Используется в операции сгиб на ребре для определения толщины листа в месте подклейки сгиба. Метод применяется для многотолщинных листовых тел в условиях, когда выбранной грани листового тела соответствует несколько парных ей граней, находящихся на разном расстоянии от неё. Положительные расстояния begDistance и endDistance означают отступ наружу вдоль ребра, а отрицательные расстояния begDistance и endDistance означают отступ внутрь вдоль ребра.

На рис. М.7.22.1 изображена плоская листовая грань, найденная по ребру и отступам от его концов.

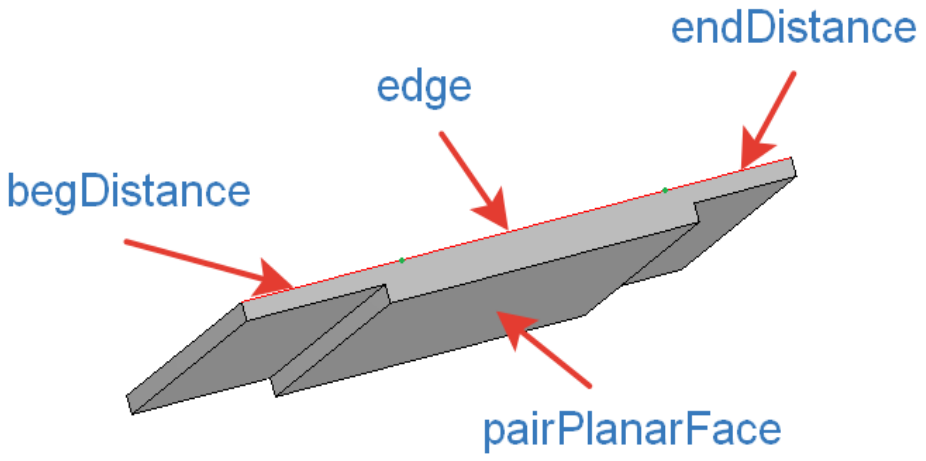


Рис. М.7.22.1

М.7.23. Поиск парной грани листового тела

Метод

MbFace *
GetPairPlanarFaceByCurve (const MbFace & **face**,
const MbCurve3D & **curve**)

выполняет поиск плоской парной грани листового тела по лежащей на грани **face** прямолинейной кривой **curve**.

Входными параметрами метода являются:

- **face** – плоская грань листового тела,
- **curve** – лежащая на ней прямолинейная кривая.

При удачной работе метод возвращает указатель на найденную грань, в противном случае метод возвращает NULL.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Метод поиска парной грани листового тела является вспомогательной для метода построения сгиба по линии. Метод применяется для многотолщинных листовых тел в условиях, когда выбранной листовой грани соответствует несколько парных ей граней, находящихся на разном расстоянии от неё.

На рис. М.7.23.1 изображена плоская листовая грань, найденная по противоположной ей грани и лежащей на ней кривой.

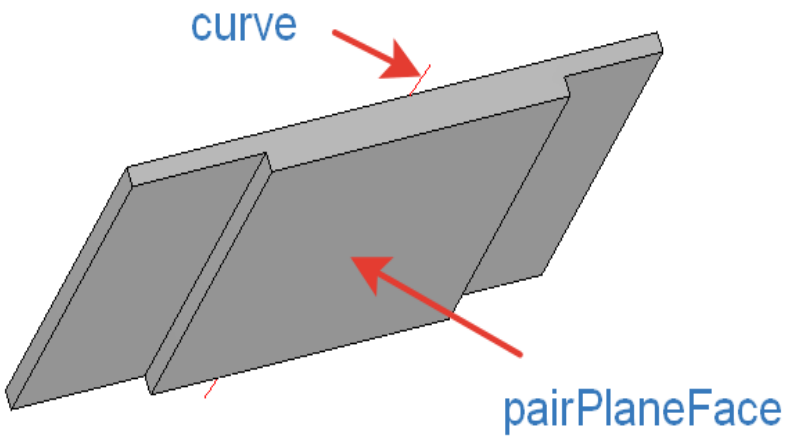


Рис. М.7.23.1

Метод

MbFace *

GetPairPlanarFaceByContour (const MbFaceShell & **shell**,
const MbFace & **face**,
const MbPlacement3D & **place**,
const RPArray<const MbCurve > & **segments**)

выполняет поиск плоской парной грани листового тела по множеству сегментов контура.

Входными параметрами метода являются:

- **shell** – множество граней листового тела,
- **face** – грань листового тела,
- **place** – локальная система координат на грани **face**,
- **segments** – кривые, лежащие в плоскости XY локальной системы координат **place**.

При удачной работе метод возвращает указатель на найденную грань, в противном случае метод возвращает NULL.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Метод поиска парной грани листового тела является вспомогательной для функций построения листового тела, базирующихся на контурах. Метод применяется для многотолщинных листовых тел в условиях, когда выбранной листовой грани соответствует несколько парных ей граней, находящихся на разном расстоянии от неё.

На рис. М.7.23.2 изображена плоская листовая грань, найденная по противоположной ей грани и лежащему на ней контуру.

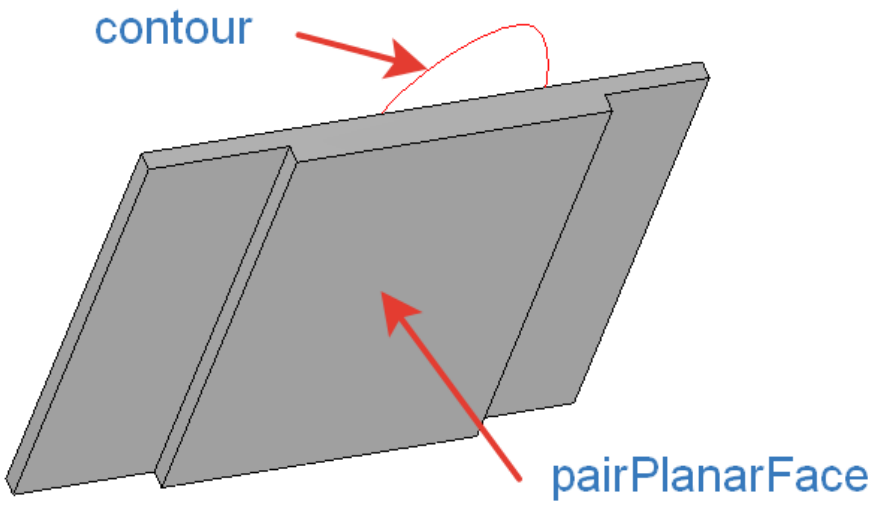


Рис. M.7.23.2

Метод
MbFace *
GetPairPlanarFace (const MbFaceShell * **shell**,
const MbFace & **face**)
выполняет поиск парной грани по заданной грани листового тела.

Входными параметрами метода являются:

- **shell** – множество граней листового тела,
- **face** – грань листового тела,

При удачной работе метод возвращает указатель на найденную грань, в противном случае метод возвращает NULL.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Поиск осуществляется сначала через рёбра внешнего цикла грани **face**, в случае неудачи - через вершины этого цикла, и если грань не найдена, то перебором по всем связным граням или граням множества **shell**. В последнем случае предпочтение отдаётся более близко расположенным граням.

На рис. M.7.23.3 изображена плоская листовая грань, найденная по противоположной ей плоской листовой грани.

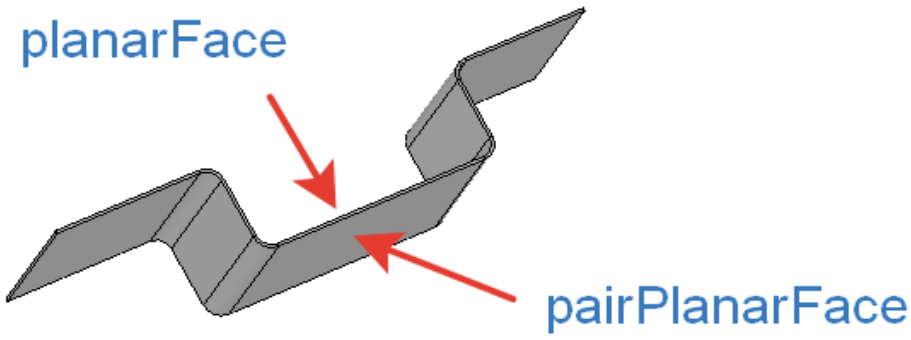


Рис. M.7.23.3

М.7.24. Определение расстояния между подобными гранями

Метод
double
GetDistanceIfSameAndOpposite (const MbFace & **face**1,
const MbFace * **face**2)
определяет расстояние между парой подобных листовых граней.

Входными параметрами метода являются:

- **face**1 – первая грань,
- **face**2 – вторая грань.

При удачной работе метод возвращает расстояние между гранями, в противном случае метод возвращает ноль.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Подобными считаются пары плоских, цилиндрических и конических граней, а в случае линейчатого сгиба, линейчатые в паре с офсетными гранями, у которых нормали коллинеарны и противоположно направлены. Расстояние считается положительным, если грани располагаются со стороны, противоположной направлению нормали, и отрицательным в противном случае.

На рис. М.7.24.1 изображена пара подобных граней с расстоянием между ними.

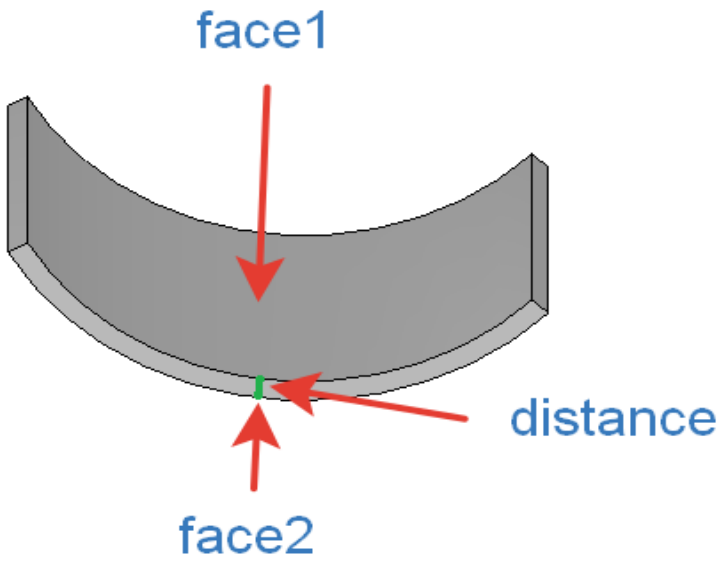


Рис. М.7.24.1

М.7.25. Поиск подобных сгибов

Метод
void
GetSimilarCylindricBends (const MbFaceShell & **shell**,
PArray<MbSheetMetalBend> & bends)
выполняет поиск подобных сгибов.

Входными параметрами метода является множество граней листового тела **shell** и массив сгибов bands, для которых надо найти подобные сгибы.

Выходным параметром метода является множество найденных подобных сгибов bends вместе с исходными сгибами.

Метод не возвращает значений.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

В множестве граней листового тела ищутся согнутые цилиндрические, конические или линейчатые сгибы, которые надо добавить к сгибам из bends, чтобы они могли разогнуться, то есть сгибы разгибаемые только совместно.

На рис. М.7.25.1 изображена пара подобных сгибов, которые могут сгибаться или разгибаться только вместе.

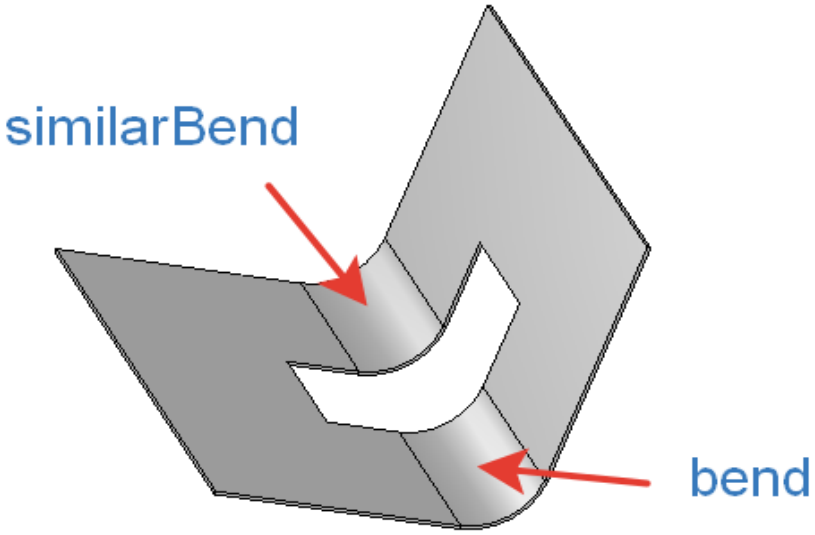


Рис. М.7.25.1

М.7.26. Поиск касательной точки сгиба листового тела

Метод
bool
CalculateTangentPoint (const MbFace & **face**,
const MbPlane & **plane**,
MbCartPoint & **point**)
выполняет расчёт касательной точки для сгиба/разгиба листового тела.

Входными параметрами метода являются:

- **face** – грань листового тела, содержащая точку касания,
- **plane** – касательная плоскость,
- **point** – точка касания.

Выходным параметром метода является точка касания **point**.

При удачной работе метод возвращает true, в противном случае метод возвращает false.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Точка **point** может находиться внутри грани (0.0<=x<=1.0 и 0.0<=y<=1.0) или за её пределами. В первом случае точка касания пересчитывается в координаты лежащей под гранью поверхности, во втором – находится одна из точек касания поверхности, лежащей под гранью **face,** и плоскости **plane**.

М.7.27. Поиск осевой линии сгиба

Метод
bool
CalculateConicAxisLine (const MbFace & **face**,
MbLineSegment & **axis**)
выполняет расчёт осевой линии разогнутого конического сгиба.

Входным параметром метода являются грань **face** разогнутого конического сгиба листового тела.
Выходным параметром метода является осевая линия **axis**.
При удачной работе метод возвращает true, в противном случае метод возвращает false.
Метод возвращает осевую линию в координатах параметрической области плоской грани **face**.
Метод объявлен в файле action_sheet.h.

М.7.28. Построение ребра усиления листового тела

Метод
MbResultType
SheetRibSolid (MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const MbPlacement3D & **placement**,
const MbContour & **contour**,
size_t *index*,
const SheetRibValues & params,
const MbSNameMaker & names,
MbSolid *& **result**)
выполняет построение ребра усиления(жесткости) листового тела.
Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **placement** – локальная система координат контура ребра усиления,
- **contour** – двумерный контур ребра усиления, заданный в плоскости XY локальной системы координат,
- *index* - индекс сегмента в контуре, от которого будет установлено направление уклона,
- params – параметры построения ребра усиления,
- names – именователь построенных граней.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.
При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.
Метод объявлен в файле action_sheet.h.
Ребро строится по контуру, который расположен, как правило, в районе сгиба листового тела. Ребро усиления не препятствует разгибу сгиба, на котором оно было построено. При повторном сгибе ребро усиления будет восстановлено.
На рис. М.7.28.1 приведено листовое тело после выполнения операции построения ребра усиления на сгибе.

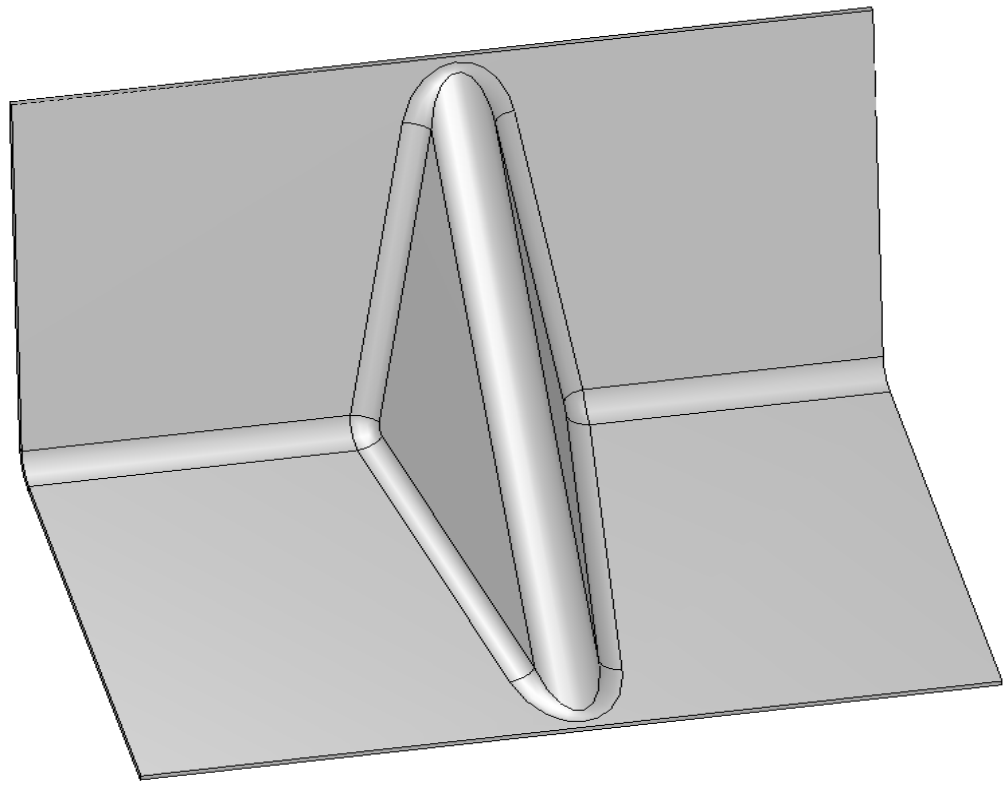


Рис. M.7.28.1

Метод **SheetRibSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbStampRibSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbStampRibSolid объявлен в файле cr_stamp_rib_solid.h.

В action_sheet.h объявлены вспомогательные функции, обеспечивающие построение контура ребра усиления в наиболее часто встречающихся случаях.

Метод

bool

MakeSheetRiContourByTwoSides (const MbCurveEdge & **edge**,
const double *bendAngle*,
const double *l1*,
const double *l2*,
const double *bRatio*,
const double *rad*,
const bool *dir*,
const double *t*,
MbPlacement3D & **placement**,
MbContour & **contour**
double & *bMax*)

выполняет построение контура ребра усиления(жесткости) листового тела по двум сторонам.

Входными параметрами метода являются:

- **edge** – ребро на внутренней грани сгиба,
- *bendAngle* – угол сгиба листового тела,
- *l1* – длина отступа вдоль первой стороны сгиба,
- *l2* – длина отступа вдоль второй стороны сгиба,
- *bRatio* – относительная глубина прогиба контура в диапазоне от 0 до 1 (0 - нет прогиба, 1 - максимальный прогиб),
- *rad* - радиус скругления при прогибе профиля,
- *dir* - направление выбора первой стороны угла профиля,
- *t* - параметр на ребре сгиба.

Выходными параметрами метода являются:

- **placement** – локальная система координат контура ребра усиления,
- **contour** – двумерный контур ребра усиления, заданный в плоскости XY локальной системы координат,
- *bMax* - расстояние по биссектрисе угла сгиба от контура без прогиба до листового тела.

При удачной работе метод возвращает true, в противном случае метод возвращает false.
На рис. М.7.28.2 приведена схема построения контура ребра усиления по двум сторонам.

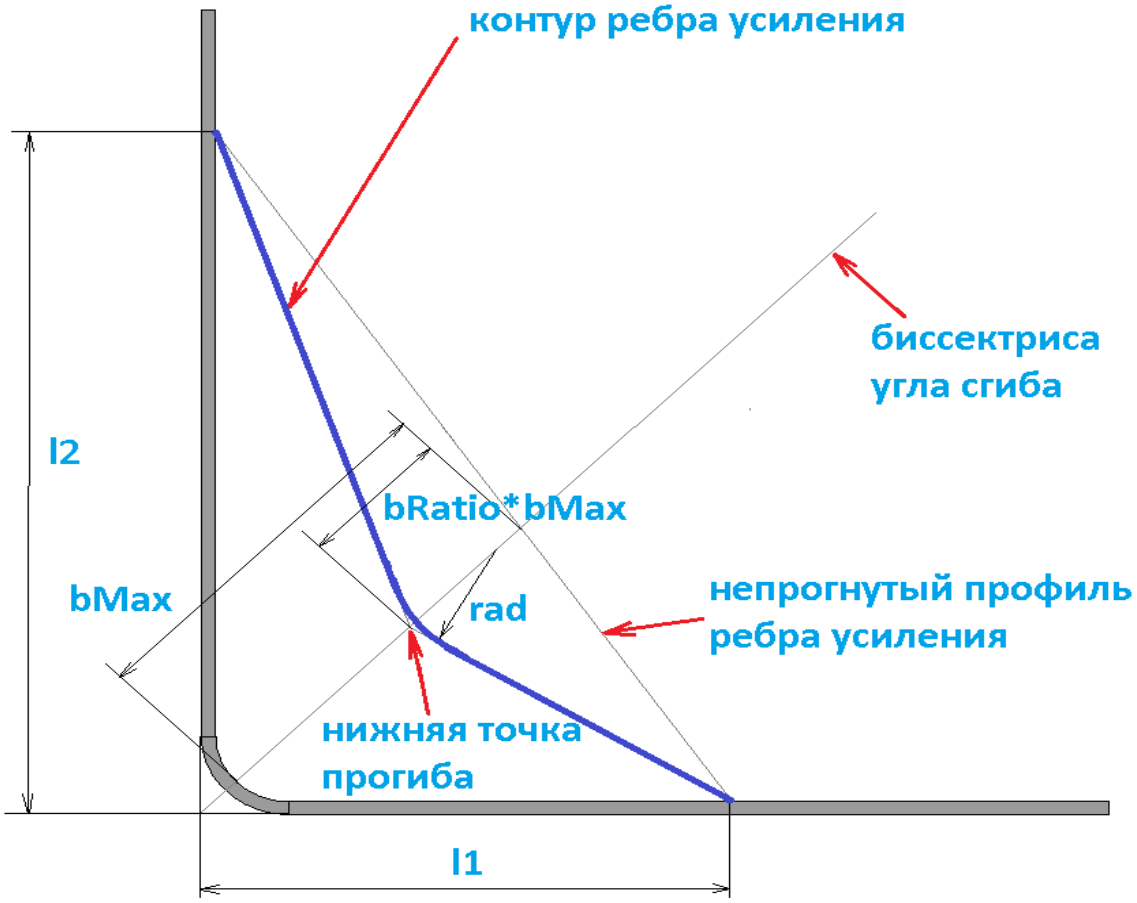


Рис. М.7.28.2

Метод

bool **MakeSheetRiContourBySideAndAngle** (const MbCurveEdge & **edge**,
const double *bendAngle*,
const double *l1*,
const double *a*,
const double *bRatio*,
const double *rad*,
const bool *dir*,
const double *t*,
MbPlacement3D & **placement**,
MbContour & **contour**
double & *bMax*)

выполняет построение контура ребра усиления(жесткости) листового тела по одной стороне и углу.

Входными параметрами метода являются:

- **edge** – ребро на внутренней грани сгиба,
- *bendAngle* – угол сгиба листового тела,
- *l1* – длина отступа вдоль первой стороны сгиба,
- *a* – угол наклона профиля ребра усиления,
- *bRatio* – относительная глубина прогиба контура в диапазоне от 0 до 1 (0 - нет прогиба, 1 - максимальный прогиб),

- *rad* - радиус скругления при прогибе профиля,
- *dir* - направление выбора первой стороны угла профиля,
- *t* - параметр на ребре сгиба.

Выходными параметрами метода являются:

- **placement** – локальная система координат контура ребра усиления,
- **contour** – двумерный контур ребра усиления, заданный в плоскости XY локальной системы координат,
- *bMax* - расстояние по биссектрисе угла сгиба от контура без прогиба до листового тела.

При удачной работе метод возвращает true, в противном случае метод возвращает false.

На рис. М.7.28.3 приведена схема построения контура ребра усиления по одной стороне и углу.

Рис. М.7.28.3

Метод

bool

MakeSheetRiContourByDepthAndAngle (const MbCurveEdge & **edge**,
const double *bendAngle*,
const double *h*,
const double *a*,
const double *bRatio*,
const double *rad*,
const bool *dir*,
MbPlacement3D & **placement**,
MbContour & **contour**
double & *bMax*)

выполняет построение контура ребра усиления(жесткости) листового тела по глубине и углу.

Входными параметрами метода являются:

- **edge** – ребро на внутренней грани сгиба,
- *bendAngle* – угол сгиба листового тела,
- *h* – глубина профиля ребра усиления,
- *a* – угол наклона профиля ребра усиления,

- *bRatio* – относительная глубина прогиба контура в диапазоне от 0 до 1 (0 - нет прогиба, 1 - максимальный прогиб),
- *rad* - радиус скругления при прогибе профиля,
- *dir* - направление выбора первой стороны угла профиля,
- *t* - параметр на ребре сгиба.

Выходными параметрами метода являются:

- **placement** – локальная система координат контура ребра усиления,
- **contour** – двумерный контур ребра усиления, заданный в плоскости XY локальной системы координат,
- *bMax* - расстояние по биссектрисе угла сгиба от контура без прогиба до листового тела.

При удачной работе метод возвращает true, в противном случае метод возвращает false.

На рис. М.7.28.4 приведена схема построения контура ребра усиления по глубине и углу.

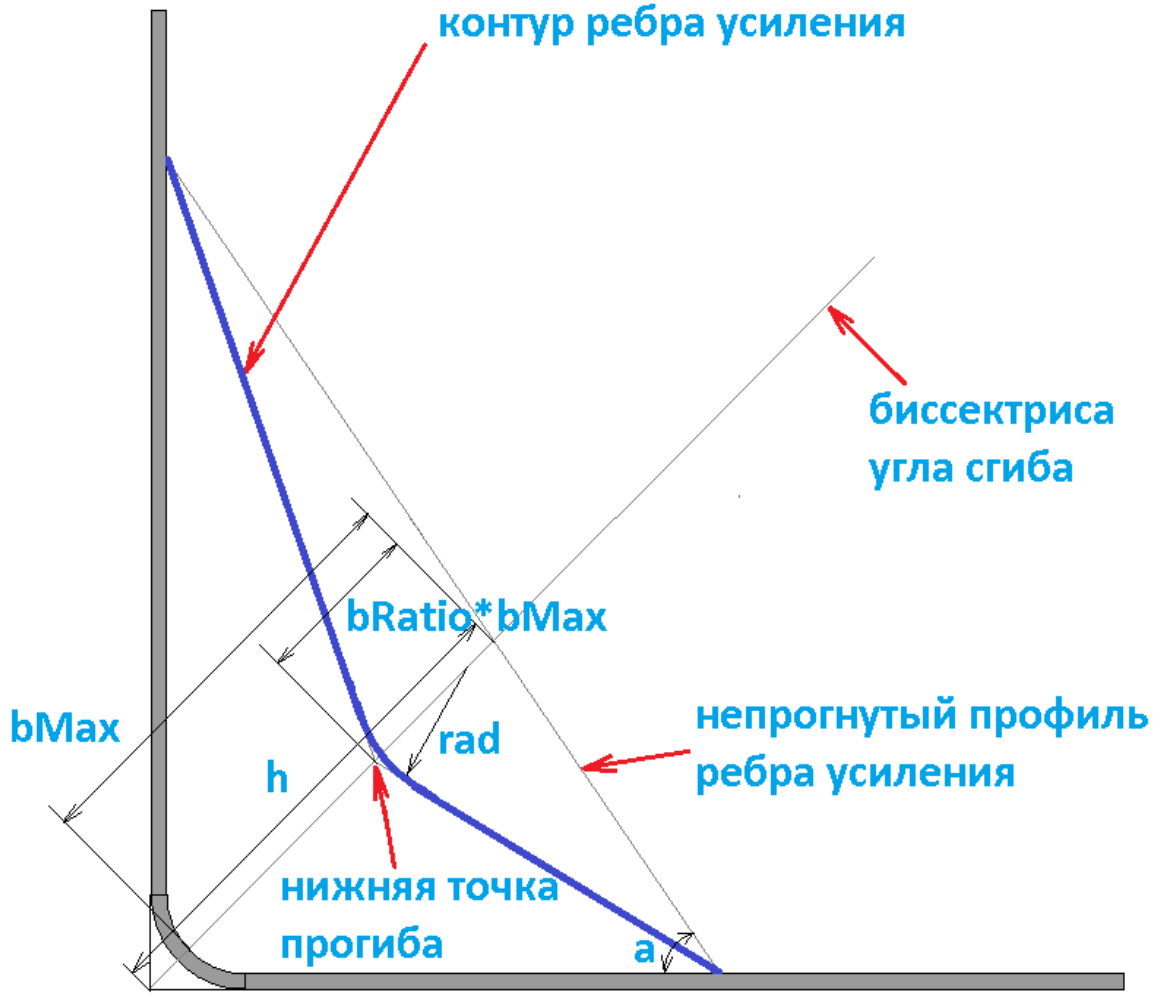


Рис. М.7.28.4

М.7.29. Построение штамповки листового тела произвольным телом

Метод

MbResultType

StampWithToolSolid(MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const MbFace & **targetFace**,
const MbSolid & **toolSolid**,
MbeCopyMode *sameShellTool*,
bool *punch*,

const RPArray<MbFace> & **pierceFaces**,
const MbToolStampingValues & params,
const MbSNameMaker & nameMaker,
MbSolid *& **result**)

выполняет построение штамповки произвольного тела с помощью тела-инструмента, которое может рассматриваться как пуансон или как матрица. Также могут быть указаны грани инструмента для построения вырубки.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **targetFace** – целевая грань исходного листового тела,
- **toolSolid** – тело-инструмент,
- *sameShellTool* – вариант копирования тела-инструмента,
- *punch* — признак того, является тело-инструмент пуансоном или матрицей,
- params – параметры построения штамповки произвольным телом,
- nameMaker – именователь операции.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Штамповка строится на основе пересечения тела-инструмента и листового тела. Имеется возможность управлять толщиной штампованной части, радиусом скругления примыкания штамповки к листовому телу, а также радиусом скругления негладких ребер тела-инструмента. Тело-инструмент не должно пересекать листовых граней сгиба.

При развертке штамповка, выполненная с помощью произвольного тела, игнорируется

На рис. М.7.29.1 приведено листовое тело и тело-инструмент(пуансон), а также результирующее листовое тело после выполнения операции построения штамповки произвольным телом с указанием граней для вырубки.

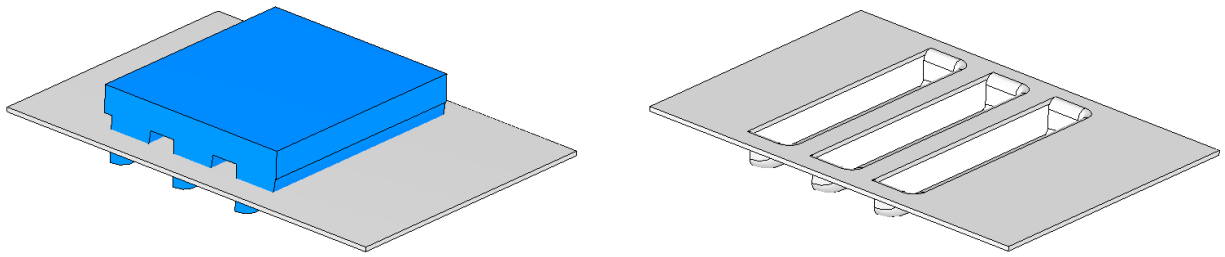


Рис. М.7.29.1

Метод **StampWithToolSolid** добавляет в журнал построенного тела строитель MbUserStampSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbUserStampSolid объявлен в файле cr_stamp_user_solid.h.

М.7.30. Преобразование произвольного тела в листовое

Метод
MbResultType
ConvertSolidToSheetMetal(MbSolid & **solid**,
MbeCopyMode *sameShell*,
const MbFace & **initFace**,
bool *sense*,
const MbSolidToSheetMetalValues & params,
const MbSNameMaker & nameMaker,
MbSolid *& **result**)

выполняет построение листового тела на базе произвольного тела.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное произвольное тело,
- *sameShell* – вариант копирования исходного тела,
- **initFace** – базовая плоская грань исходного тела,
- *sense* — направление придания толщины относительно нормали исходной грани,
- params – параметры преобразования произвольного тела в листовое,
- nameMaker – именователь операции.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_sheet.h.

Преобразование в листовое тело строится на основе базовой опорной грани, наборов ребер сгибов и ребер разъема. Каждое выбранное ребро сгиба включает в построение листового тела новую грань, если другая смежная к ней грань уже участвует в построении листового тела. Таким образом, первое ребро должно быть смежным к базовой грани. При этом по месту указанного ребра будет создан сгиб заданного радиуса. Ребра сгиба должны быть прямолинейными. Если ребро сгиба негладкое, то предполагается, что грани слева и справа от него плоские. В противном случае, если ребро сгиба гладкое, то предполагается, что одна из граней основана на цилиндрической поверхности, а другая грань плоская. При этом по месту цилиндрической грани будет создан сгиб. Каждая грань исходного тела может использоваться в построении листового тела только один раз. Ребра, между включенными в построение листового тела гранями, которые не являются ребрами сгиба, должны входить в набор ребер разъема. По месту ребер разъема будет выполнено замыкание угла с заданными параметрами (см. п. М.7.11).

Рис. М.7.30.1 иллюстрирует преобразование произвольного тела в листовое: на исходном теле слева выбрана базовая грань(зеленая), ребра сгиба(красные) и ребра разъема(синие); результат преобразования представлен справа.

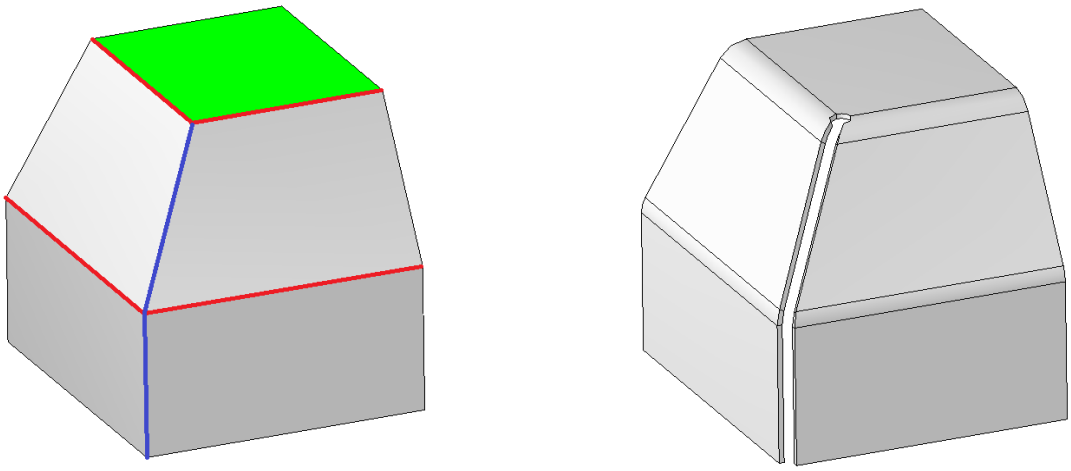


Рис. М.7.30.1

Метод **ConvertSolidToSheetMetal** добавляет в журнал построенного тела строитель MbBuildSheetMetalSolid, который содержит все необходимые данные для выполнения операции. Строитель MbBuildSheetMetalSolid объявлен в файле cr_sheet_builder_solid.h.

M.8. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

Для построения тел требуются параметры, которые в определенных случаях нужно вычислить, или требуются вспомогательные элементы. В данной главе перечислены методы, выполняющие вспомогательные вычисления и построения.

M.8.1. Вычисление глубины тела выдавливания или угла тела вращения

Метод

bool

GetSweptValue (const MbSweptData & **sweptData**,
const MbAxis3D & **axis**,
const MbVector3D & **direction**,
const bool rotation,
const bool operationDirection,
const MbCartPoint3D & **point**,
double & *value*)

вычисляет глубину выдавливания или угол вращения для последующего построения тела путем выдавливания или вращения образующей кривой.

Входными параметрами метода являются:

- **sweptData** – данные об образующей кривой,
- **axis** – ось вращения (для расчёта вращения),
- **direction** – направление выдавливания (для расчёта выдавливания),
- rotation – флаг выполнения расчёта: для вращения (true), для выдавливание (false),
- operationDirection – направление выполнения последующей операции: вперед (true), назад (false),
- **point** – точка, до которой требуется вращать или выдавливать образующую кривую.

Выходным параметром метода является *value* – глубина выдавливания или угол вращения.

При удачном выполнении расчёта метод возвращает true, в противном случае метод возвращает false.

Данный метод является вспомогательным для функций **ExtrusionSolid**, **RevolutionSolid**, **ExtrusionResult** и **RevolutionResult**.

M.8.2. Определение образа кривой для выдавливания или вращения

Метод

GetSweptImagePosition (const MbCurve3D & **curve**,
const MbSurface & **surface**,
const MbVector3D & **direction**,
const MbAxis3D & **axis**,
const bool rotation,
MbCartPoint & ***imagePosition***,
MbResultType & resType)

вычисляет положение образа точки образующей кривой на поверхности для последующего построения тела путем выдавливания или вращения образующей кривой до заданной поверхности.

Входными параметрами метода являются:

- **curve** – образующая кривая,
- **surface** – поверхность, до которой будет выполняться выдавливание или вращение кривой
- **direction** – направление выдавливания (для расчёта выдавливания),
- **axis** – ось вращения (для расчёта вращения),
- rotation – флаг выполнения расчёта: для вращения (true), для выдавливание (false).

Выходными параметрами метода являются:

- ***imagePosition*** – точка на поверхности, в которой лежит образ образующей кривой.

- resType – код результата операции: при удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Данный метод является вспомогательным для функций **ExtrusionSolid**, **RevolutionSolid**, **ExtrusionResult** и **RevolutionResult**.

М.8.3. Определение параметров для выдавливания или вращения

Метод

GetRangeToSurface (const MbSurface & **surface**,
const MbCurve3D & **curve**,
const MbVector3D & **direction**,
const MbAxis3D & **axis**,
const bool rotation,
const bool operationDirection,
const MbCartPoint & ***imagePosition***,
double range[2],
MbRect & rectOnSurface,
MbResultType & resType)

вычисляет глубины выдавливания в прямом и обратном направлениях или углы вращения в прямом и обратном направлениях для последующего построения тела путем выдавливания или вращения образующей кривой до заданной поверхности, а также и габарит образа кривой.

Входными параметрами метода являются:

- **surface** – поверхность, до которой будет выполняться выдавливание или вращение кривой
- **curve** – образующая кривая,
- **direction** – направление выдавливания (для расчёта выдавливания),
- **axis** – ось вращения (для расчёта вращения),
- rotation – флаг выполнения расчёта: для вращения (true), для выдавливание (false),
- operationDirection – направление выполнения последующей операции: вперед (true), назад (false),
- ***imagePosition*** – точка на поверхности, в которой лежит образ образующей кривой.

Выходными параметрами метода являются:

- range – расстояния до поверхности: range[0] – в обратном направлении, range[1] – в прямом направлении,
- rectOnSurface – габарит образа кривой на поверхности,
- resType – код результата операции: при удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Данный метод является вспомогательным для функций **ExtrusionSolid**, **RevolutionSolid**, **ExtrusionResult** и **RevolutionResult**.

М.8.4. Определение ориентации образующей кривой

Метод

AreaSign (const MbCurve3D & **curve**,
const MbAxis3D & **axis**,
const MbVector3D & **direction**,
bool rotation)

вычисляет площадь проекции кривой на виртуальную координатную плоскость для определения ориентации образующей кривой при последующем построении тела путем выдавливания или вращения образующей кривой. Незамкнутая образующая кривая замыкается отрезком.

Входными параметрами метода являются:

- **curve** – образующая кривая,
- **axis** – оь вращения (для расчёта вращения),
- **direction** – направление выдавливания (для расчёта выдавливания),
- rotation – флаг выполнения расчёта: для вращения (true), для выдавливание (false).

Выходным параметром метода является площадь проекции кривой.

Данный метод является вспомогательным для функций **ExtrusionSolid**, **RevolutionSolid**, **ExtrusionResult** и **RevolutionResult**.

М.8.5. Определение ориентации секущей поверхности

Метод

AnalyzeSurfaceRelationToSweptOperation (const MbSurface & **surface**,
const MbCartPoint & ***imagePosition***,
const MbCurve3D & **curve**,
const MbVector3D & **direction**,
const MbAxis3D & **axis**,
const bool rotation,
bool operationDirection,
bool & relativeSense,
MbResultType & resType)

определяет ориентацию секущей поверхности относительно тела, которое будет строиться путём выдавливания или вращения образующей кривой до заданной поверхности.

Входными параметрами метода являются:

- **surface** – поверхность, до которой будет выполняться выдавливание или вращение кривой
- ***imagePosition*** – точка на поверхности, в которой лежит образ образующей кривой,
- **curve** – образующая кривая,
- **direction** – направление выдавливания (для расчёта выдавливания),
- **axis** – ось вращения (для расчёта вращения),
- rotation – флаг выполнения расчёта: для вращения (true), для выдавливание (false),
- operationDirection – направление выполнения последующей операции: вперед (true), назад (false).

Выходными параметрами метода являются:

- relativeSense – ориентация поверхности для операции выдавливания или вращения,
- resType – код результата операции: при удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Данный метод является вспомогательным для функций **ExtrusionSolid**, **RevolutionSolid**, **ExtrusionResult** и **RevolutionResult**.

М.8.6. Ориентация кривых тела заметания

Метод

MbResultType
EvolutionNormalize (const MbPlacement3D & **place**,
const MbContour & **contour**,
const MbCurve3D & **guide**,
EvolutionValues & parameters,
MbAxis3D & **axis**,
double & *angle*,
VERSION version)

выполняет ориентацию образующего контура и направляющей кривой для построения тела заметания.

Входными параметрами метода являются:

- **place** – локальная система координат образующего контура,
- **contour** – образующий контур,
- **guide** – направляющая кривая,
- parameters – параметры операции заметания,
- version – версия операции.

Выходными параметрами метода являются:

- **axis** – ось доворота образующей,
- *angle* – угол доворота образующей,

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Данный метод является вспомогательным для функций **EvolutionSolid** и **EvolutionResult**.

M.8.7. Построение копии направляющей кривой тела заметания

Метод

MbCurve3D * **TrimClosedSpine** (MbCurve3D & **curve**, double *t*)

выполняет построение копии замкнутой кривой с началом в точке, определяемой параметром *t*.

Входными параметрами метода являются:

- **curve** – направляющая кривая,
- *t* – параметр кривой.

При удачной работе метод возвращает построенную копию кривой с началом в заданной точке, в противном случае метод возвращает ноль.

Данный метод является вспомогательной для функций **EvolutionSolid** и **EvolutionResult**.

M.8.8. Построение ребра жёсткости

Метод

```
MbResultType
RibElement ( const MbSolid & solid,
             const  MbPlacement3D & place,
             MbContour & contour,
             size_t           index,
             RibValues & params,
             const MbSNameMaker &  names,
             MbSolid *&  result )
```

выполняет построение ребра жёсткости для исходного тела.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – исходное тело,
- sameShell – вариант копирования исходного тела,
- **place** – локальная система координат, плоскость XY которой является плоскостью симметрии,
- **contour** – формообразующий контур на плоскости XY локальной системы координат,
- index – номер сегмента в контуре,
- params – параметры ребра жёсткости,
- names – именователь граней ребра жесткости.

Выходным параметром метода является построенное тело **result**.

При удачной работе метод возвращает rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод выполняет построение отдельного ребра жёсткости без объединения с исходным телом.

M.8.9. Проверка кривой для построения линейчатого тела

Метод

```
void CheckRuledCurve ( const MbCurve3D & curve1,
                       const MbCurve3D & curve2,
                       bool & isInverted,
                       bool & isShifted,
                       VERSION version )
```

проверяет вторую кривую на согласованность с первой кривой для построения линейчатого незамкнутого тела и выполняет необходимую модификацию второй кривой.

Входными параметрами метода являются:

- **curve**1 – первая кривая,
- **curve**2 – вторая кривая,
- version – версия операции.

Выходными параметрами метода являются:

- флаг isInverted, сигнализирующий о изменении направления второй кривой,
- флаг isShifted, сигнализирующий о смещении начала второй кривой.

Возвращаемое значение у метода отсутствует.

Данный метод является вспомогательным для метода построения линейчатого незамкнутого тела по двум кривым **RuledShell**.

M.8.10. Проверка параметров кривой для построения линейчатого тела

Метод

CheckRuledParams (const MbCurve3D & **curve**,
SArray<double> & params,
bool isAscending)

выполняет проверку параметров кривой и нормализацию параметров замкнутой кривой.

Входными параметрами метода являются:

- **curve** – кривая,
- params – множество параметров кривой.
- isAscending – флаг возрастания параметров множества.

Выходным параметром метода является множество параметров кривой params.

При удачной работе метод возвращает true, в противном случае метод возвращает false.

Данный метод является вспомогательным для метода построения линейчатого незамкнутого тела **RuledShell**.

M.8.11. Проверка кривой для построения тела соединения

Метод

CheckJoinedCurve (const MbCurve3D & **curve**1,
const MbCurve3D & **curve**2,
bool & isInverted1,
bool & isShifted1,
VERSION version)

проверяет вторую кривую на согласованность с первой кривой для построения незамкнутого тела соединения и выполняет необходимую модификацию второй кривой.

Входными параметрами метода являются:

- **curve**1 – первая кривая,
- **curve**2 – вторая кривая,
- version – версия операции.

Выходными параметрами метода являются:

- флаг isInverted, сигнализирующий о изменении направления второй кривой,
- флаг isShifted, сигнализирующий о смещении начала второй кривой.

Возвращаемое значение у метода отсутствует.

Данный метод является вспомогательным для метода построения незамкнутого тела соединения по двум кривым **JoinShell**.

M.8.12. Проверка параметров кривой для построения тела соединения

Метод

CheckJoinedParams (const MbCurve3D & **curve**,
SArray<double> & params,

bool isAscending)

выполняет проверку параметров кривой и нормализацию параметров замкнутой кривой.

Входными параметрами метода являются:

- **curve** – кривая,
- params – множество параметров кривой,
- isAscending – флаг возрастания параметров множества.

Выходным параметром метода является множество параметров кривой params.

При удачной работе метод возвращает true, в противном случае метод возвращает false.

Данный метод является вспомогательным для метода построения незамкнутого тела **JoinShell**.

М.8.13. Построение кривой по множеству рёбер

Метод

CreateJoinedCurve (const RPArray<MbCurveEdge> & **edges**,
const SArray<bool> & orientations,
const MbMatrix3D & **matrix**,
MbResultType & result)

выполняет построение кривой по множеству рёбер.

Входными параметрами метода являются:

- **edges** – множество ребер,
- orients – ориентация ребер,
- **matrix** – матрица преобразования ребер,

Выходным параметром метода является значение result из перечисления MbResultType.

При удачной работе метод возвращает указатель на построенную кривую, в противном случае метод возвращает ноль.

Данный метод является вспомогательным для метода построения незамкнутого тела **JoinShell**.

О.1. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ОБЪЕКТЫ

К элементарным объектам относятся объекты геометрического ядра C3D, которые описывают такие математические сущности, как: вектор, точка, ось, локальная система координат, матрица преобразования, габаритный параллелепипед, габаритный прямоугольник. Элементарные объекты имеют простые структуры данных. Элементарные объекты являются инструментом и строительным материалом для более сложных геометрических объектов и используются всеми модулями геометрического ядра.

О.1.1. Вектор в трёхмерном пространстве MbVector3D

Класс MbVector3D объявлен в файле mb_vector3d.h.

Вектор MbVector3D описывает перемещение или направление в трёхмерном пространстве и определяется тремя компонентами x, y, z в декартовой системе координат.

Для обозначения векторов в трёхмерном пространстве будем использовать одну или несколько строчных букв латинского алфавита, выделенных полужирным шрифтом, а для объединения компонент вектора будем заключать их в квадратные скобки, например,

$$\mathbf{vector} = [x \;\; y \;\; z].$$

Вектор MbVector3D не привязан к точкам пространства и поэтому не имеет метода, перемещающего его в пространстве.

О.1.2. Радиус-вектор точки в трёхмерном пространстве MbCartPoint3D

Класс MbCartPoint3D объявлен в файле mb_cart_point3d.h.

Радиус-вектор MbCartPoint3D (картезианская точка) описывает положение точки в трёхмерном пространстве и определяется тремя координатами x, y, z в декартовой системе координат. Радиус-вектор описывает преобразование, переводящее начальную точку декартовой системы координат в точку пространства с заданными координатами в этой декартовой системе координат.

Для обозначения точек в трёхмерном пространстве будем использовать одну или несколько строчных букв латинского алфавита, выделенных полужирным шрифтом, а для объединения координат точки будем заключать их в квадратные скобки, например,

$$\mathbf{point} = [x \;\; y \;\; z].$$

Радиус-вектор в отличие от вектора связан с началом координат. Координаты радиуса-вектора MbCartPoint3D и компоненты вектора MbVector3D по-разному изменяются при переходе от одной системы координат к другой системе координат и при изменениях положения в пространстве, реализованных в методах:
MbCartPoint3D & **Transform**(const MbMatrix3D &),
MbCartPoint3D & **Rotate**(const MbAxis3D &, double angle),
MbCartPoint3D & **Move**(const MbVector3D &).
Перечисленные методы возвращают ссылку на себя после преобразования.

О.1.3. Расширенный вектор в трёхмерном пространстве MbHomogenius3D

Класс MbHomogenius3D объявлен в файле mb_homogenius3d.h.

Расширенный радиус-вектор MbHomogenius3D описывает положение точки в трёхмерном пространстве и определяется четырьмя координатами x, y, z, w. Четвёртая координата называется весом. Расширенный радиус-вектор используется при вычислении радиуса-вектора B-кривых и B-поверхностей, построенных на основе B-сплайнов. Координаты x_w, y_w, z_w, w расширенного радиуса-вектора MbHomogenius3D связаны с координатами x, y, z радиуса-вектора соотношениями

$$x = \frac{x_w}{w},\ y = \frac{y_w}{w},\ z = \frac{z_w}{w}.$$

В операциях умножения на расширенную матрицу MbMatrix3D можно считать, что векторы и точки также имеют четвёртую координату, для вектора MbVector3D она равна нулю, а для радиуса-вектора MbCartPoint3D она равна единице.

О.1.4. Локальная система координат MbPlacement3D

Класс MbPlacement3D объявлен в файле mb_placement3d.h.

Локальная система координат в трёхмерном пространстве MbPlacement3D описывается начальной точкой **origin** и тремя некомпланарными векторами **axisX**, **axisY**, **axisZ**, рис. О.1.4.1.

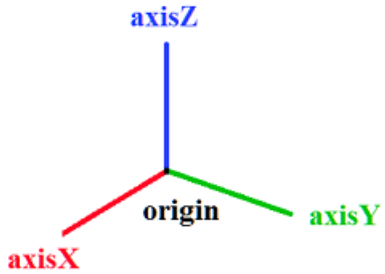


Рис. О.1.4.1.

В большинстве случаев система координат является правой, а векторы системы ортонормированны. С помощью преобразований система координат может стать левой и не ортонормированной. Состояние локальной системы координат можно запросить с помощью методов:
bool **IsLeft**() – является ли системы координат левой,
bool **IsRight**() – является ли системы координат правой.
bool **IsTranslation**() – присутствует ли сдвиг начала **origin** системы координат,
bool **IsRotation**() – присутствует ли поворот системы координат,
bool **IsOrt**() – является ли системы координат ортогональной, но ненормированной,
bool **IsSingle**() – совпадает ли система координат с той, в которой она задана,
bool **IsNormal**() – является ли системы координат ортонормированной,
bool **IsOrtogonal**() – является ли системы координат ортогональной,
bool **IsCircular**() – является ли системы координат ортогональной с равными по длине осями **axisX**, **axisY**, в которой окружность остается окружностью,
bool **IsIsotropic**() – является ли системы координат ортогональной с равными по длине осями **axisX**, **axisY**, **axisZ**, в которой объекты не искажаются, а только масштабируются,
bool **IsAffine**() – является ли системы координат афинной (если нет - то она ортонормированная).

Локальная система координат является декартовой. Точка в декартовой системе координат определяется тремя координатами *x*, *y*, *z*. Локальная система может выступать в роли цилиндрической или сферической системы координат.

При использовании локальной системы координат MbPlacement3D в роли цилиндрической системы ось Z цилиндрической системы координат совпадает с осью Z декартовой системы, полярная ось цилиндрической системы совпадает с осью X декартовой системы, полярный угол цилиндрической системы отсчитывается от оси X в сторону оси Y. Координата *x* играет роль проекции радиуса-вектора на плоскость XY, координата *y* играет роль полярного угла.

При использовании локальной системы координат MbPlacement3D в роли сферической системы плоскость сферической системы координат совпадает с плоскостью XY декартовой системы, долгота сферической системы отсчитывается от оси X в сторону оси Y. Координата *x* играет роль длины радиуса-вектора, координата *y* играет роль долготы.

О.1.5. Расширенная матрица в трёхмерном пространстве MbMatrix3D

Класс MbMatrix3D объявлен в файле mb_matrix3d.h.

В трёхмерном пространстве матрица MbMatrix3D описывает преобразование из одной системы координат в другую. Матрица имеет размерность четыре на четыре. Пусть в выбранной системе координат построена локальная аффинная система координат с началом в точке **r** с координатами r_1, r_2, r_3 и базисными векторами **a**=[a_1 a_2 a_3], **b**=[b_1 b_2 b_3], **c**=[c_1 c_2 c_3]. Векторы **a**, **b**, **c** должны быть линейно независимыми, но могут быть не ортогональными друг другу и иметь произвольную длину. Матрица MbMatrix3D преобразования координат из локальной системы в выбранную систему координат имеет вид

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & 0 \\ b_1 & b_2 & b_3 & 0 \\ c_1 & c_2 & c_3 & 0 \\ r_1 & r_2 & r_3 & 1 \end{bmatrix}.$$

Для обозначения расширенных матриц в трёхмерном пространстве будем использовать прописные буквы латинского алфавита, выделенные полужирным шрифтом, например **M**. Заметим, что каждому базисному вектору **a**, **b**, **c** и начальной точке **r** локальной системы координат соответствует своя строка в матрице преобразования из локальной системы в выбранную систему координат.

Матрица MbMatrix3D является расширенной и работает с однородными радиусами-векторами и однородными векторами MbHomogenius3D в трёхмерном пространстве.

При преобразовании радиуса-вектора MbCartPoint3D по матрице MbMatrix3D точке следует добавить четвёртую координату, равную единице. Пусть точка с координатами x_1, x_2, x_3 в локальной системе координат имеет координаты p_1, p_2, p_3 в выбранной системе координат, тогда при участии расширенной матрицы MbMatrix3D координаты будут связаны соотношением

$$\begin{bmatrix} p_1 & p_2 & p_3 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & 0 \\ b_1 & b_2 & b_3 & 0 \\ c_1 & c_2 & c_3 & 0 \\ r_1 & r_2 & r_3 & 1 \end{bmatrix}.$$

Заметим, что трёхмерный радиус-вектор умножается на расширенную матрицу MbMatrix3D справа.

При преобразовании вектора MbVector3D по матрице MbMatrix3D вектору следует добавить четвёртую компоненту, равную нулю. Пусть вектор с компонентами y_1, y_2, y_3 в локальной системе координат имеет компоненты r_1, r_2, r_3 в выбранной системе координат, тогда при участии расширенной матрицы MbMatrix3D компоненты будут связаны соотношением

$$\begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 & y_2 & y_3 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & 0 \\ b_1 & b_2 & b_3 & 0 \\ c_1 & c_2 & c_3 & 0 \\ r_1 & r_2 & r_3 & 1 \end{bmatrix}.$$

Заметим, что трёхмерный вектор умножается на расширенную матрицу MbMatrix3D справа.

О.1.6. Габаритный параллелепипед в трёхмерном пространстве MbCube

Класс MbCube объявлен в файле mb_cube.h.

Габаритный параллелепипед MbCube описывает габариты протяжённого объекта (кривой, поверхности, тела, нескольких тел) в трёхмерном пространстве и определяется двумя точками **pmin** и **pmax**. Грани габаритного параллелепипеда параллельны плоскостям системы координат, в которой описан куб. Точки **pmin** и **pmax** описывают две противоположные вершины габаритного куба, имеющие наименьшие и наибольшие координаты, соответственно, рис. О.1.6.1.

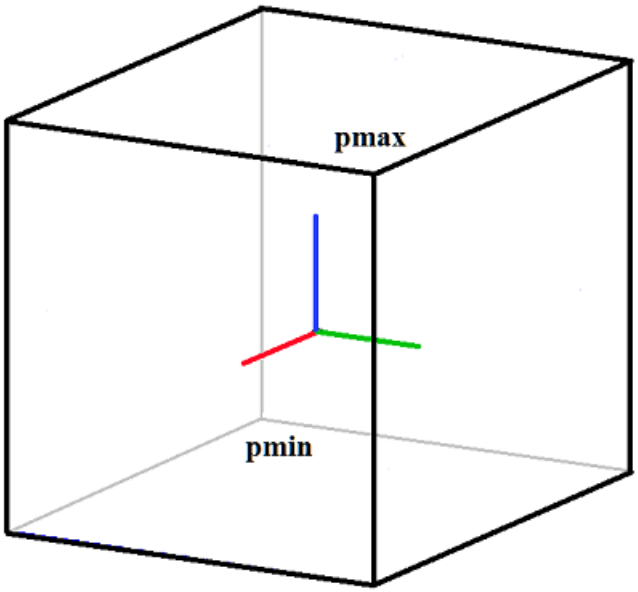


Рис. О.1.6.1.

Если габариты протяжённого объекта не определены, то габаритный параллелепипед считается пустым и **pmin**=[10^{-300} 10^{-300} 10^{-300}], **pmax**=[-10^{-300} -10^{-300} -10^{-300}]. Для пустого габаритного куба **pmin**>**pmax** и метод IsEmpty() возвращает true.

О.1.7. Одномерный габарит MbRect1D

Класс MbRect1D объявлен в файле mb_rect1d.h.

Одномерный габарит MbRect1D описывает одномерную область, например, область определения параметра кривой и определяется двумя числами: *zmin* и *zmax*, рис. О.1.7.1.

Рис. О.1.7.1.

Числа *zmin* и *zmax* описывают начальный и конечный край области. Если одномерная область не определена, то одномерный габарит считается пустым и *zmin*>*zmax*. Для пустого одномерного габарита метод **IsEmpty**() возвращает true.

О.1.8. Вектор в двумерном пространстве MbVector

Класс MbVector объявлен в файле mb_vector.h.

Вектор MbVector описывает перемещение или направление в двумерном пространстве и определяется двумя компонентами *x* и *y* в декартовой системе координат.

Для обозначения векторов в двумерном пространстве будем использовать одну или несколько строчных букв латинского алфавита, выделенных полужирным наклонным шрифтом, а для объединения компонент вектора будем заключать их в квадратные скобки, например,

$$\boldsymbol{vector} = [x \;\; y].$$

Вектор MbVector не привязан к точкам пространства и поэтому не имеет метода, перемещающего его в пространстве.

О.1.9. Нормализованный вектор в двумерном пространстве MbDirection

Класс MbDirection объявлен в файле mb_vector.h.

Нормализованный вектор MbDirection описывает направление или угол поворота в двумерном пространстве и определяется двумя компонентами *ax* и *ay* в декартовой системе координат. Длина нормализованного вектора равна единице, а его компоненты равны соответственно синусу и косинусу угла между остью OX и нормализованным вектором. Таким образом, *ax*=cos(α), *ay*=sin(α), где α – угол между нормализованным вектором и осью абсцисс системы координат.

О.1.10. Радиус-вектор точки в двумерном пространстве MbCartPoint

Класс MbCartPoint объявлен в файле mb_cart_point.h.

Радиус-вектор MbCartPoint (картезианская точка) описывает положение точки в двумерном пространстве и определяется двумя координатами *x* и *y* в декартовой системе координат. Радиус-вектор описывает преобразование, переводящее начальную точку декартовой системы координат в точку пространства с заданными координатами в этой декартовой системе координат.

Для обозначения точек в двумерном пространстве будем использовать одну или несколько строчных букв латинского алфавита, выделенных полужирным наклонным шрифтом, а для объединения координат точки будем заключать их в квадратные скобки, например,

$$\boldsymbol{point} = [x \;\; y].$$

Радиус-вектор в отличие от вектора связан с началом координат. Координаты радиуса-вектора MbCartPoint и компоненты вектора MbVector по-разному изменяются при переходе от одной системы координат к другой системе координат и при изменениях положения в пространстве, реализованных в методах

void **Transform**(const MbMatrix &),
void **Rotate**(const MbCartPoint &, double angle),
void **Move**(const MbVector &).

О.1.11. Расширенный вектор в двумерном пространстве MbHomogenius

Класс MbHomogenius объявлен в файле mb_homogenius.h.

Расширенный радиус-вектор MbHomogenius описывает положение точки в двумерном пространстве и определяется тремя координатами *x*, *y*, *w*. Третья координата называется весом. Расширенный радиус-вектор используется при вычислении радиуса-вектора двумерных *B*-кривых, построенных на основе *B*-сплайнов. Координаты x_w, y_w, w расширенного радиуса-вектора MbHomogenius связаны с координатами *x*, *y* радиуса-вектора MbCartPoint соотношениями

$$x = \frac{x_w}{w}, \;\; y = \frac{y_w}{w}.$$

В операциях умножения на расширенную матрицу MbMatrix можно считать, что двумерные векторы и точки также имеют третью координату, для вектора MbVector она равна нулю, а для радиуса-вектора MbCartPoint она равна единице.

О.1.12. Локальная система координат MbPlacement

Класс MbPlacement объявлен в файле mb_placement.h.

Локальная система координат в двумерном пространстве MbPlacement описывается начальной точкой ***origin*** и двумя непараллельными векторами ***axisX*** и ***axisY***, рис. О.1.12.1.

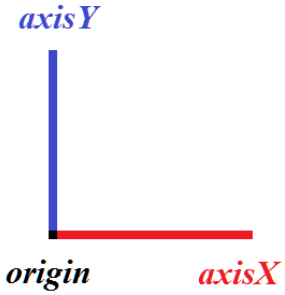


Рис. О.1.12.1.

В большинстве случаев система координат является правой, а векторы системы ортонормированны. С помощью преобразований система координат может стать левой и не ортонормированной. Состояние локальной системы координат можно запросить с помощью методов:
bool **IsLeft**() – является ли системы координат левой,
bool **IsSingle**() – совпадает ли система координат с той, в которой она задана,
bool **IsNormal**() – является ли системы координат ортонормированной,
bool **IsCircular**() – является ли системы координат ортогональной с равными по длине осями ***axisX***, ***axisY***, в которой окружность остается окружностью,
bool **IsIsotropic**() – является ли системы координат ортогональной с равными по длине осями ***axisX***, ***axisY***, в которой объекты не искажаются, а только масштабируются,
bool **IsAffine**() – является ли системы координат афинной (если нет - то она ортонормированная).

Локальная система координат является декартовой.

О.1.13. Расширенная матрица в двумерном пространстве MbMatrix

Класс MbMatrix3D объявлен в файле mb_matrix3d.h.

В двумерном пространстве матрица MbMatrix описывает преобразование из одной системы координат в другую. Матрица имеет размерность три на три. Пусть в выбранной системе координат построена локальная аффинная система координат с началом в точке ***r*** с координатами r_1, r_2 и базисными векторами $\boldsymbol{a}=[a_1\ a_2]$, $\boldsymbol{b}=[b_1\ b_2]$. Векторы ***a*** и ***b*** не должны быть коллинеарными, но могут быть не ортогональными друг другу и иметь произвольную длину. Матрица MbMatrix преобразования координат из локальной системы в выбранную систему координат имеет вид

$$\boldsymbol{M} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & 0 \\ b_1 & b_2 & 0 \\ r_1 & r_2 & 1 \end{bmatrix}.$$

Для обозначения расширенных матриц в двумерном пространстве будем использовать прописные буквы латинского алфавита, выделенные полужирным наклонным шрифтом, например ***M***. Заметим, что каждому базисному вектору ***a***, ***b*** и начальной точке ***r*** локальной системы координат соответствует своя строка в матрице преобразования из локальной системы в выбранную систему координат.

Матрица MbMatrix является расширенной и работает с однородными радиусами-векторами и однородными векторами MbHomogenius в двумерном пространстве.

При преобразовании радиуса-вектора MbCartPoint по матрице MbMatrix точке следует добавить третью координату, равную единице. Пусть точка с координатами x_1, x_2 в локальной системе координат имеет координаты p_1, p_2 в выбранной системе координат, тогда при участии расширенной матрицы MbMatrix координаты будут связаны соотношением

$$\begin{bmatrix} p_1 & p_2 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & 0 \\ b_1 & b_2 & 0 \\ r_1 & r_2 & 1 \end{bmatrix}.$$

Заметим, что двумерный радиус-вектор умножается на расширенную матрицу MbMatrix справа.

При преобразовании вектора MbVector по матрице MbMatrix вектору следует добавить третью компоненту, равную нулю. Пусть вектор с компонентами y_1, y_2 в локальной системе координат имеет компоненты r_1, r_2 в выбранной системе координат, тогда при участии расширенной матрицы MbMatrix компоненты будут связаны соотношением

$$\begin{bmatrix} r_1 & r_2 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 & y_2 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & 0 \\ b_1 & b_2 & 0 \\ r_1 & r_2 & 1 \end{bmatrix}.$$

Заметим, что двумерный вектор умножается на расширенную матрицу MbMatrix справа.

О.1.14. Габаритный прямоугольник в двухмерном пространстве MbRect

Класс MbRect объявлен в файле mb_rect.h.

Габаритный прямоугольник MbRect описывает габариты протяжённого объекта (кривой, нескольких кривых) в двумерном пространстве и определяется четырьмя числами: *left*, *right*, *bottom*, *top*. Стороны габаритного прямоугольник а параллельны осям системы координат, в которой описан прямоугольник. Числа *left* и *right*, описывают минимальную и максимальную абсциссу габаритного прямоугольника, а числа *bottom* и *top* описывают минимальную и максимальную ординату габаритного прямоугольника, рис. О.1.14.1.

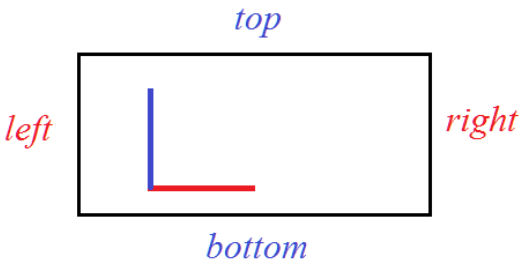


Рис. О.1.14.1.

Если габариты протяжённого объекта не определены, то габаритный прямоугольник считается пустым и *left>right*, и *bottom>top*. Для пустого габаритного прямоугольника метод **IsEmpty**() возвращает true.

О.2. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

Геометрические объекты описывают форму моделируемых объектов. К геометрическим объектам относятся кривые, поверхности, тела, а также топологические объекты, описывающие геометрические свойства, не зависящие от количественных характеристик и характеризующие непрерывную связь точек трёхмерного пространства друг с другом. Геометрические объекты могут быть трёхмерные и двумерные. Двумерные объекты используются для работы в области определения параметров поверхностей и для работы в плоскостях трёхмерных локальных систем координат. В данной части описаны родительские классы геометрических объектов.

О.2.1. Счётчик ссылок MbRefItem

Класс MbRefItem объявлен в файле reference_item.h.

Класс MbRefItem описывается количеством своих владельцев *useCount* и представляет собой счётчик объектов, владеющих данным объектом.

Все геометрические объекты ядра C3D делятся на три группы: двумерные геометрические объекты, трёхмерные геометрические объекты и топологические объекты. Все геометрические объекты являются наследниками классов MbRefItem и TapeBase, рис. О.2.1.1.

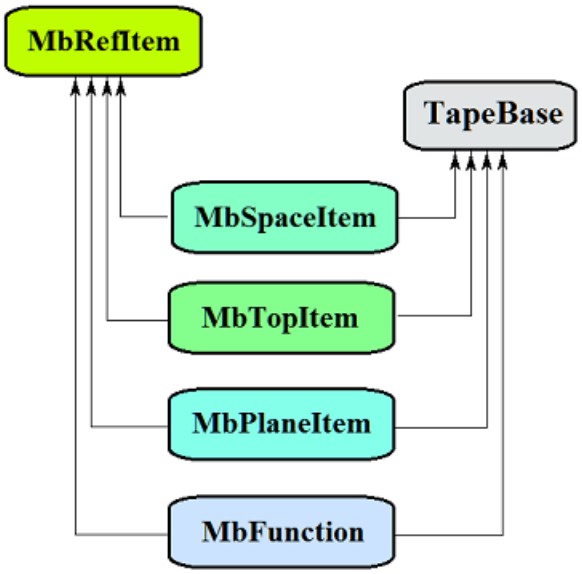


Рис О.2.1.1.

Класс TapeBase обеспечивает для своих наследников запись в поток и и чтение из потока.

Наследниками классов MbRefItem и TapeBase являются следующие геометрические объекты:
MbSpaceItem – базовый абстрактный класс трёхмерных геометрических объектов,
MbTopItem– базовый абстрактный класс топологических объектов,
MbPlaneItem – базовый абстрактный класс двумерных геометрических объектов,
MbFunction – базовый абстрактный класс скалярных функций.

Счётчик ссылок обеспечивает корректную работу классов и методов, содержащих указатели на геометрические объекты. Если некоторый класс в своих данных содержит указатель на геометрический объект, то он обязан в конструкторе увеличить счётчик ссылок у геометрического объекта на единицу методом **AddRef**(), а в деструкторе должен вызвать у геометрического объекта метод **Release**(), который уменьшает счётчик ссылок геометрического объекта на единицу и, при достижении счётчиком ссылок нуля, удаляет геометрический объект. Метод **DecRef**() уменьшает счётчик ссылок геометрического объекта на единицу. Класс MbRefItem обрабатывается регистратором дублирования MbRegDuplicate и регистратором преобразования MbRegTransform.

Метод
MbeRefType **RefType**()
возвращает регистрационный тип объекта, использующего счётчик ссылок.

О.2.2. Трёхмерный геометрический объект MbSpaceItem

Класс MbSpaceItem объявлен в файле space_item.h.

Класс MbSpaceItem является наследником классов MbRefItem, TapeBase и родительским классом для трёхмерных геометрических объектов.

К трёхмерным геометрическим объектам ядра C3D относятся: точка, кривые, поверхности, вспомогательные объекты и объекты геометрической модели, рис. О.2.2.1.

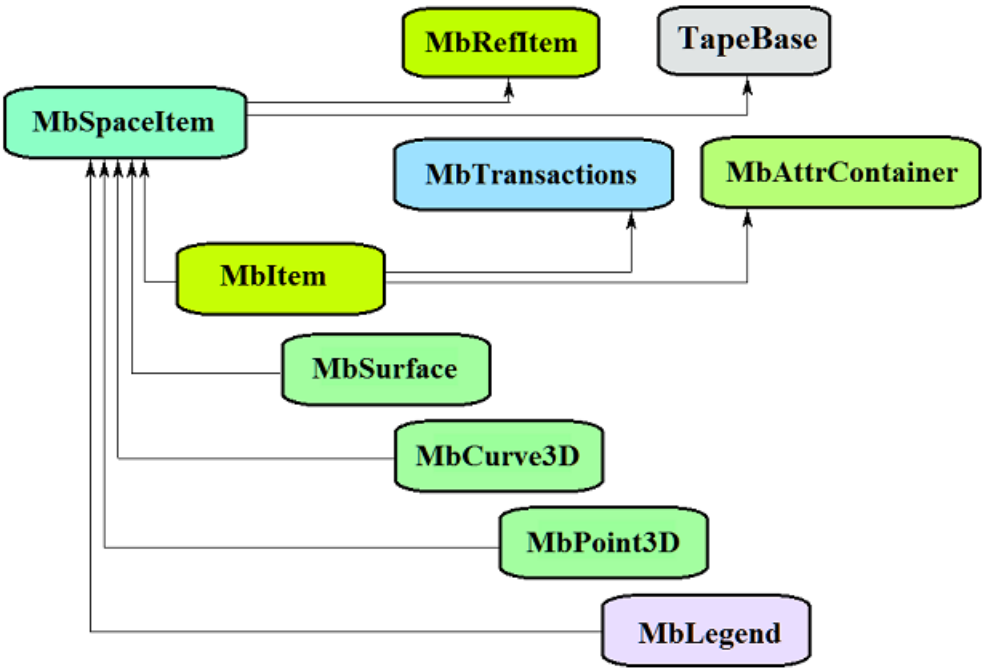


Рис О.2.2.1.

Наследниками класса MbSpaceItem являются следующие семейства трёхмерных геометрических объектов:
MbPoint3D – точка, кривая,
MbSurface – поверхность,
MbLegend – вспомогательный геометрический объект,
MbItem – объект геометрической модели.

Основными методами трёхмерных геометрических объектов являются
void **Move**(const MbVector3D & **v**, MbRegTransform * iReg = NULL), MbMatrix3D
void **Rotate**(const MbAxis3D & **axis**, double **angle**, MbRegTransform * iReg = NULL),
void **Transform**(const & **m**, MbRegTransform * iReg = NULL),
обслуживающие преобразование геометрического объекта. При преобразовании используется регистратор MbRegTransform для предотвращения многократного преобразования вложенных объектов. Если объект содержит указатели или ссылки на другие объекты, то вложенные объекты так же трансформируются. Регистратор необходимо использовать, если надо последовательно преобразовать несколько взаимосвязанных объектов, связь которых обусловлена наличием в них указателей или ссылок на общие объекты. При преобразовании без регистратора можно получить многократное преобразование общих вложенных объектов.

Кроме того, все геометрические объекты имеют методы, обеспечивающие копирование, проверку на совпадение, проверку на возможность сделать совпадающими и делающие объекты совпадающими:

MbSpaceItem & **Duplicate**(MbRegDuplicate * iReg = NULL),
bool **IsSame**(const MbSpaceItem & **item**),
bool **IsSimilar**(const MbSpaceItem & **item**),
bool **SetEqual**(const MbSpaceItem & **item**).
При создании копии используется регистратор MbRegDuplicate для предотвращения многократного копирования вложенных объектов. Если объект содержит указатели или ссылки на другие объекты, то вложенные объекты так же копируются. Регистратор необходимо использовать, если надо последовательно копировать несколько взаимосвязанных объектов, связь которых обусловлена наличием в них указателей или ссылок на общие объекты. При копировании без регистратора можно получить набор копий одного и того же вложенного объекта вместо одной его копии.

Для идентификации типа геометрические объекты снабжены методами
MbeSpaceType **IsA**(),
MbeSpaceType **Type**(),
MbeSpaceType **Family**().
возвращающими тип из перечисления трёхмерных геометрических объектов.

Методы
MbProperty & **CreateProperty**(MbePrompt name),
void **GetProperties**(MbProperties & *properties*),
void **SetProperties**(MbProperties & *properties*)
обеспечивают выдачу и редактирование внутренних данных геометрических объектов. Метод **GetProperties** добавляет к множеству *properties* данные объекта в виде наследников класса MbProperty.

Метод **CalculateWire**(double sag, MbMesh & **mesh**) строит полигональную копию геометрического объекта, которая используется для визуализации.

O.2.3. Топологический объект MbTopItem

Класс MbTopItem объявлен в файле topology_item.h.

Класс MbTopItem является наследником классов MbRefItem, TapeBase и родительским классом для топологических объектов. Среди топологических объектов выделен класс именованных топологических объектов MbTopologyItem, который является наследником классов MbTopItem и MbAttributeContainer. Класс MbTopologyItem объявлен также в файле topology_item.h.

Геометрическое ядро C3D оперирует топологическими объектами, которые приведены на рис. O.2.3.1.

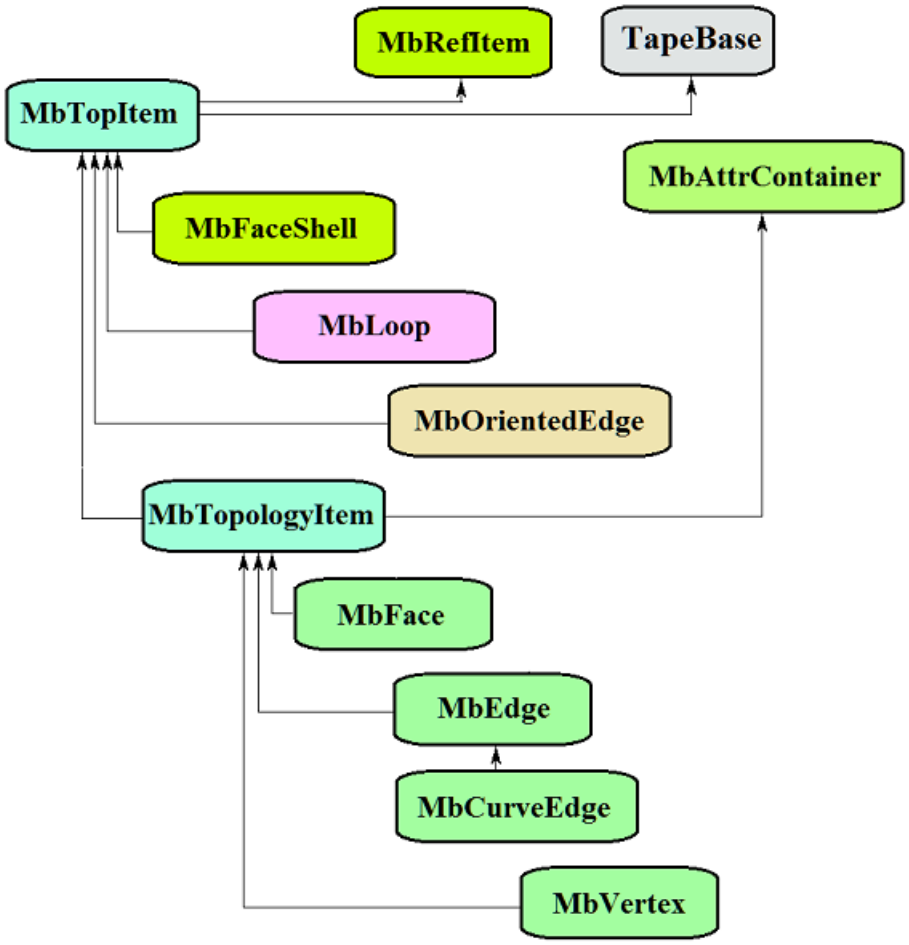


Рис О.2.3.1.

Наследниками класса MbTopItem являются следующие топологические объекты:
MbFaceShell – множество граней,
MbLoop – цикл рёбер границы грани,
MbOrientedEdge – ориентированное ребро цикла,
MbTopologyItem – именованный топологический объект.

Наследниками именованного топологического объекта MbTopologyItem являются следующие объекты:
MbVertex – вершина,
MbEdge – ребро,
MbFace – грань.
Ребро имеет наследника MbCurveEdge, описывающее гладкий участок стыковки двух граней или край грани.

Работу именованных топологических объектов с атрибутами обеспечивает контейнер атрибутов MbAttrContainer.

Основными методами именованных топологических объектов являются
void **Move**(const MbVector3D & **v**, MbRegTransform * iReg = NULL),
void **Rotate**(const MbAxis3D & **axis**, double **angle**, MbRegTransform * iReg = NULL),
void **Transform**(const MbMatrix3D & **m**, MbRegTransform * iReg = NULL),
обслуживающие преобразование топологического объекта и методы работы с именем и атрибутами. При преобразовании используется регистратор MbRegTransform для предотвращения многократного преобразования вложенных объектов. Если объект содержит указатели или ссылки на другие объекты, то вложенные объекты так же трансформируются. Регистратор необходимо использовать, если надо последовательно преобразовать несколько взаимосвязанных объектов, связь которых обусловлена наличием в них указателей или ссылок на общие объекты. При преобразовании без регистратора можно получить многократное преобразование общих вложенных объектов.

Для идентификации типа топологические объекты снабжены методом **IsA**(), возвращающим тип из перечисления топологических объектов MbeTopologyType.

О.2.4. Двумерный геометрический объект MbPlaneItem

Класс MbPlaneItem объявлен в файле plane_item.h.

Класс MbPlaneItem является наследником классов MbRefItem, TapeBase и родительским классом для всех двумерных геометрических объектов.

К двумерным геометрическим объектам ядра C3D относятся: кривые, мультилиния и регион, рис. О.2.4.1.

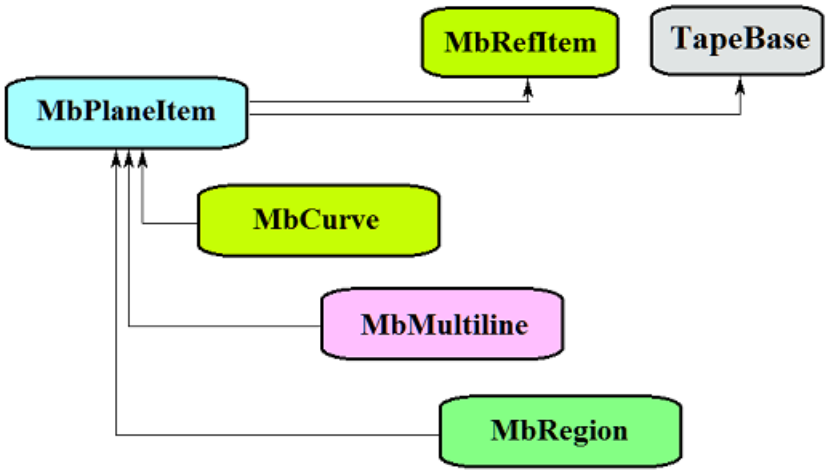


Рис О.2.4.1.

Наследниками класса MbPlaneItem являются следующие семейства двумерных геометрических объектов:

MbCurve – двумерная кривая,

MbMultiline – мультилиния,

MbRegion – регион.

Основными методами двумерных геометрических объектов являются

void **Move**(const MbVector3D & **v**, MbRegTransform * iReg = NULL, …),

void **Rotate**(const MbCartPoint & **p**, const MbDirection & **angle**, MbRegTransform * iReg = NULL, …),

void **Transform**(const MbMatrix & **m**, MbRegTransform * iReg = NULL, ...),

обслуживающие преобразование двумерного геометрического объекта. При преобразовании используется регистратор MbRegTransform для предотвращения многократного преобразования вложенных объектов. Если объект содержит указатели или ссылки на другие объекты, то вложенные объекты так же трансформируются. Регистратор необходимо использовать, если надо последовательно преобразовать несколько взаимосвязанных объектов, связь которых обусловлена наличием в них указателей или ссылок на общие объекты. При преобразовании без регистратора можно получить многократное преобразование общих вложенных объектов.

Кроме того все геометрические объекты имеют методы, обеспечивающие дублирование, проверку на совпадение, проверку на возможность сделать совпадающими и делающие объекты совпадающими:

MbPlaneItem & **Duplicate**(MbRegDuplicate * iReg = NULL),

bool **IsSame**(const MbPlaneItem & **item**),

bool **IsSimilar**(const MbPlaneItem & **item**),

bool **SetEqual**(const MbPlaneItem & **item**).

При создании копии используется регистратор MbRegDuplicate для предотвращения многократного копирования вложенных объектов. Если объект содержит указатели или ссылки на другие объекты, то вложенные объекты так же копируются. Регистратор необходимо использовать, если надо последовательно копировать несколько взаимосвязанных объектов, связь которых обусловлена

наличием в них указателей или ссылок на общие объекты. При копировании без регистратора можно получить набор копий одного и того же вложенного объекта вместо одной его копии.

Для идентификации типа геометрические объекты снабжены методами

MbePlaneType **IsA**(),
MbePlaneType **Type**(),
MbePlaneType **Family**(),

возвращающими тип из перечисления двумерных геометрических объектов.

Методы

MbProperty & **CreateProperty**(MbePrompt name),
void **GetProperties**(MbProperties & *properties*),
void **SetProperties**(MbProperties & *properties*)

обеспечивают выдачу и редактирование внутренних данных геометрических объектов. Метод **GetProperties** добавляет к множеству *properties* данные объекта в виде наследников класса MbProperty.

О.3. КРИВЫЕ ДВУМЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА

Двумерные кривые используются для описания области определения параметров поверхностей, построения плоских эскизов, построения трёхмерных кривых на поверхностях, кривых пересечения поверхностей, проекций трёхмерных кривых на поверхности и плоскости локальных систем координат. Многие двумерные кривые устроены аналогично трёхмерным кривым с той разницей, что вместо трёхмерных точек и векторов в двумерных кривых используются двумерные точки и векторы. Векторы, радиусы-векторы точек, матрицы в двумерном пространстве будем обозначать буквами латинского алфавита, выделенными ***полужирным наклонным*** шрифтом.

О.3.1. Двумерная кривая MbCurve

Абстрактный класс MbCurve объявлен в файле curve.h.

Двумерная кривая MbCurve является наследником класса MbPlaneItem рис. О.3.1.1.

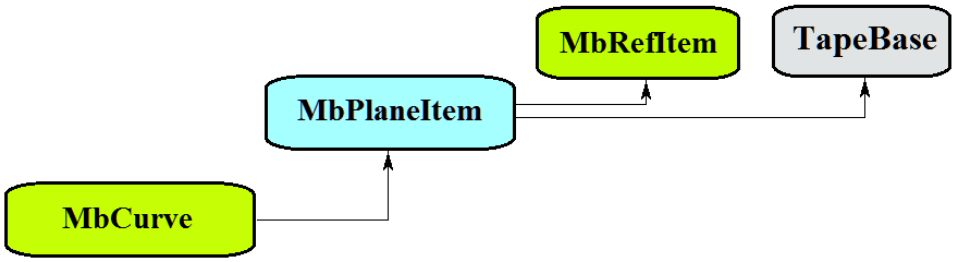


Рис. О.3.1.1.

Двумерная кривая является абстрактным классом. В геометрическом ядре C3D реализованы следующие двумерные кривые, которые являются наследниками класса MbCurve:

MbLine – двумерная прямая линия,
MbLineSegment – двумерный отрезок прямой,
MbArc – двумерная дуга эллипса,
MbPolyline – двумерная ломаная линия,
MbNurbs – двумерная B-кривая (NonUniform Rational B-Spline),
MbBezier – двумерная составная кривая Безье,
MbHermit – двумерная кривая Эрмита,
MbCubicSpline – двумерный кубический сплайн,
MbOffsetCurve– двумерная эквидистантная кривая,
MbTrimmedCurve – двумерная усеченная кривая,
MbReparamCurve – двумерная репараметризованная кривая,
MbCharacterCurve – двумерная кривая, координатные функции которой заданы в символьном виде,
MbCosinusoid – двумерная косинусоида,
MbPointCurve – кривая-точка,
MbProjCurve – проекционная кривая,
MbContour – двумерный контур (составная кривая),
MbContourWithBreaks – двумерный контур с разрывами.

Двумерная кривая MbCurve представляет собой векторную функцию

$$\mathrm{curve}(t)=\begin{bmatrix} u(t) & v(t) \end{bmatrix}$$

скалярного параметра t, принимающего значения на отрезке $[t_{min}, t_{max}]$. Кривая представляет собой непрерывное отображение некоторого участка числовой оси в двумерное пространство. Двумерным пространством будут служить плоскость XY локальной трёхмерной системы координат и область определения параметров поверхности. Область изменения параметра кривой есть отрезок $[t_{min}, t_{max}]$ в

одномерном пространстве. Координаты $u(t)$, $v(t)$ точки кривой ***curve***(t) являются однозначными непрерывными функциями параметра t.

Граничные значения t_{min} и t_{max} области определения параметра выдают методы кривой double **GetTMin**() и double **GetTMax**(), соответственно.

Кривую будем называть периодической, если существует $p>0$, такое, что ***curve***$(t\pm kp)$=***curve***(t), где k – целое число. Метод bool **IsClosed**() периодической кривой возвращает true. Метод double **GetPeriod**() периодической кривой или кривой, которая может быть расширена до периодической, выдает период p. Область определения параметра периодической кривой всегда лежит в пределах одного периода.

Основным методом кривой является метод
void **PointOn**(double & t, MbCartPoint & ***r***).
Он выдаёт радиус-вектор ***r*** точки кривой для заданного параметра t. Методы
void **FirstDer**(double & t, MbVector & $\boldsymbol{r}_t$),
void **SecondDer**(double & t, MbVector & $\boldsymbol{r}_{tt}$),
void **ThirdDer**(double & t, MbVector & $\boldsymbol{r}_{ttt}$)
выдают соответственно первую $\boldsymbol{r}_t$, вторую $\boldsymbol{r}_{tt}$ и третью $\boldsymbol{r}_{ttt}$ производные радиуса-вектора кривой для заданного параметра t. Перечисленные методы корректируют параметр кривой при его выходе за пределы области определения (исключение составляет прямая MbLine). При выходе параметра t кривой за пределы отрезка $[t_{min}, t_{max}]$ непериодические кривые смещают параметр t к ближайшей границе t_{min} или t_{max}, а периодические кривые добавляют или вычитают необходимое количество периодов.

Метод
void **_PointOn**(double t, MbCartPoint & ***r***)
выдаёт радиус-вектор ***r*** точки кривой для заданного параметра t как в области определения параметра t кривой, так и за её пределами. В общем случае непериодическая кривая за пределами области определения параметра продолжается по касательной в крайней точке. Исключение составляют периодические кривые, дуга (MbArc), косинусоида (MbCosinusoid), символьная кривая (MbCharacterCurve) и усечённая кривая (MbTrimmedCurve) в пределах базовой кривой. Периодические кривые за пределами области определения параметра продолжаются циклически.
Методы
void **_FirstDer**(double t, MbVector & $\boldsymbol{r}_t$),
void **_SecondDer**(double t, MbVector & $\boldsymbol{r}_{tt}$),
void **_ThirdDer**(double t, MbVector & $\boldsymbol{r}_{ttt}$)
выдают соответственно первую $\boldsymbol{r}_t$, вторую $\boldsymbol{r}_{tt}$ и третью $\boldsymbol{r}_{ttt}$ производные радиуса-вектора кривой для заданного параметра t как в области определения кривой, так и за её пределами.

Кривые перегружают такие методы двумерного геометрического объекта как:
методы, обслуживающие преобразование геометрического объекта,
void **Move**(const MbVector & **v**, MbRegTransform * iReg = NULL, …),
void **Rotate**(const MbCartPoint & **p**, const MbDirection& **angle**, MbRegTransform * iReg = NULL, …),
void **Transform**(const MbMatrix & **m**, MbRegTransform * iReg = NULL, ...),
методы, обеспечивающие копирование, проверку на совпадение, проверку на возможность сделать совпадающими, делающие объекты совпадающими,
MbPlaneItem & **Duplicate**(MbRegDuplicate * iReg = NULL),
bool **IsSame**(const MbPlaneItem & **item**),
bool **IsSimilar**(const MbPlaneItem & **item**),
bool **SetEqual**(const MbPlaneItem & **item**),
методы, возвращающие тип из перечисления геометрических объектов,
MbePlaneType **IsA**(),
MbePlaneType **Type**(),
MbePlaneType **Family**(),
методы, обеспечивающие выдачу и редактирование внутренних данных объекта,
MbProperty & **CreateProperty**(MbePrompt name),
void **GetProperties**(MbProperties & *properties*),
void **SetProperties**(MbProperties & *properties*).

Все кривые, кроме MbContour и MbContourWithBreaks, как правило не имеют изломов. MbContour и MbContourWithBreaks представляют собой составные кривые и могут иметь изломы в точках сочленения составляющих их сегментов.

О.3.2. Двумерная прямая MbLine

Класс MbLine объявлен в файле cur_line.h.

Двумерная прямая линия MbLine описывается начальной точкой MbCartPoint ***origin*** и вектором направления MbVector ***direction***, рис. О.3.2.1.

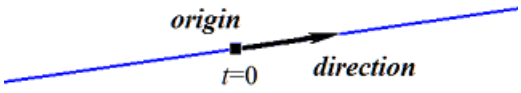


Рис. О.3.2.1.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint & ***r***) радиус-вектор прямой ***r*** описывается векторной функцией

$$\boldsymbol{r}(t) = \boldsymbol{origin} + t\,\boldsymbol{direction}.$$

Прямая линия ведёт себя как бесконечный объект, хотя в своих данных имеет граничные значения параметра *tmin* и *tmax*. Заметим, что в отличие от других кривых, в методах вычисления радиуса-вектора и его производных прямая не корректирует параметр *t* при его выходе за предельные значения *tmin* и *tmax*.

О.3.3. Двумерный отрезок прямой MbLineSegment

Класс MbLineSegment объявлен в файле cur_line_segment.h.

Двумерный отрезок прямой MbLineSegment описывается начальной точкой MbCartPoint ***point1*** и конечной точкой MbCartPoint ***point2***, рис. О.3.3.1.

Рис. О.3.3.1.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint & ***r***) радиус-вектор отрезка ***r*** описывается векторной функцией

$$\boldsymbol{r}(t) = (1 - t)\,\boldsymbol{point1} + t\,\boldsymbol{point2}.$$

Область определения параметра отрезка располагается в пределах от нуля до единицы. Начальной точке отрезка **point1** соответствует параметр t_{min}=0, конечной точке отрезка **point2** соответствует параметр t_{max}=1.

О.3.4. Двумерная дуга эллипса MbArc

Класс MbArc объявлен в файле cur_arc.h.

Двумерная дуга эллипса является наследником кривой MbCurve. Дуга эллипса MbArc описывается двумя радиусами *a* и *b*, двумя углами *trim*1 и *trim*2 и направлением *sense*, заданными в локальной системе координат MbPlacement ***position***.

Углы *trim*1 и *trim*2 отсчитываются по дуге в направлении движения от вектора ***position.axisX*** к вектору ***position.axisY***. Углы *trim*1 и *trim*2 будем называть параметрами усечения. Значения параметров усечения, равные нулю и 2π, соответствуют точке на оси ***position.axisX***. Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: $0 \le t \le |trim2 - trim1|$. Кривая может быть периодической. У периодической кривой $|trim2 - trim1| = 2\pi$. Параметр *sense* принимает значения +1 или –1 и указывает направление построения дуги. Если *sense*=+1, то *trim*1<*trim*2 и дуга строится от параметра *trimm*1 в сторону возрастания угла. Если *sense*=–1, то *trim*1>*trim*2 и дуга строится от параметра *trimm*1 в сторону уменьшения угла.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint & ***r***) радиус-вектор кривой ***r*** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{position.origin} + a\cos(trim1+(sense)t)\,\mathbf{position.axisX} + b\sin(trim1+(sense)t)\,\mathbf{position.axisY}.$$

Дуга эллипса приведена на рис. О.3.4.1.

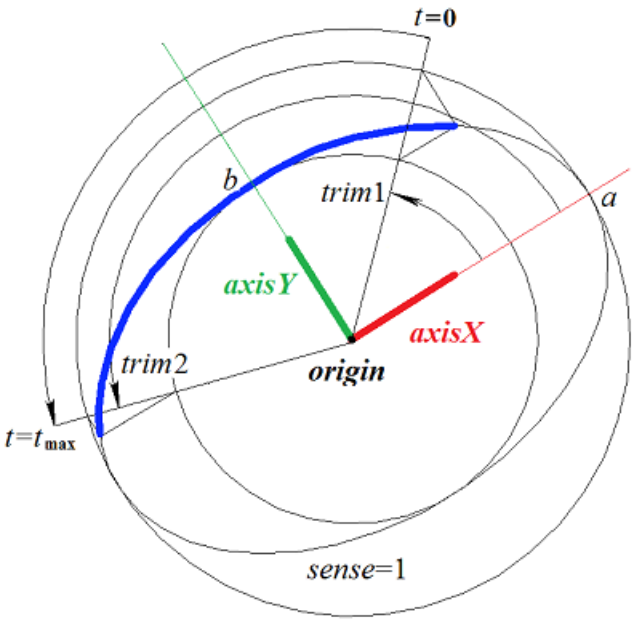


Рис. О.3.4.1.

Радиусы кривой должны быть больше нуля: *a*>0, *b*>0. Для параметров усечения должны соблюдаться неравенства: *trim*1<*trim*2 при *sense*=1 и *trim* 1> *trim* 2 при *sense*=–1.

Локальная система координат ***position*** может быть как правой, так и левой. Если локальная система координат правая и *sense*=+1 или локальная система координат левая и *sense*=–1, то дуга направлена против движения часовой стрелки.

О.3.5. Двумерная ломаная линия MbPolyline

Класс MbPolyline объявлен в файле cur_polyline.h.

Ломаная является наследником кривой PolyCurve. Двумерная ломаная MbPolyline описывается количеством сегментов *segmentsCount*, множеством контрольных точек SArray<MbCartPoint>***pointList*** и признаком периодичности кривой *closed*.

Кривая проходит через множество точек ***pointList***[*i*], *i*=0,...,*segmentsCount.* при значениях параметра *t*=0,...,*segmentsCount.* Если *closed*=*true*, то кривая содержит сегмент, соединяющий последнюю точку множества ***pointList***[*segmentsCount*-1] с начальной точкой ***pointList***[0]. Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: $0 \le t \le segmentsCount$.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint & ***r***) радиус-вектор кривой ***r*** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{pointList}[i]\,(1-w) + \mathbf{pointList}[i+1]\,w,$$

где $w=\frac{t-t_i}{t_{i+1}-t_i}$, а $t_i \le t \le t_{i+1}$.

Ломаная является простейшей кривой, построенной по набору точек. Она состоит из отрезков, последовательно соединяющих контрольные точки. Кривая может быть периодической. Период периодической кривой равен *segmentsCount*. Периодическая ломаная приведена на рис. О.3.5.1.

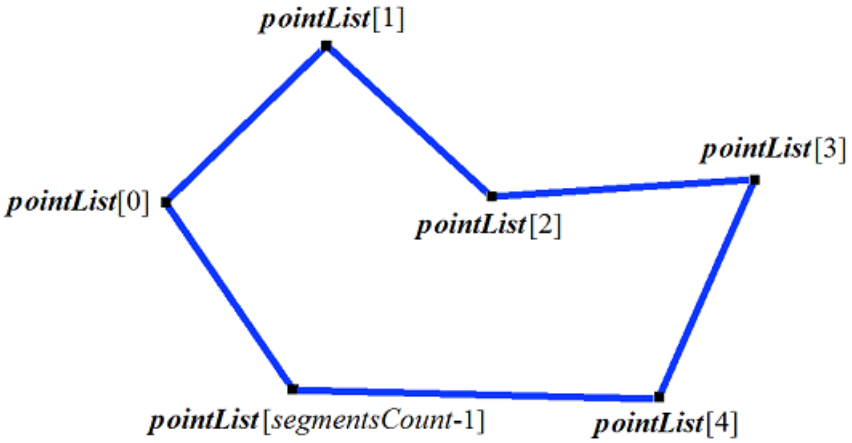


Рис. О.3.5.1.

Производные кривой в контрольных точках (при целочисленных значениях параметра) теряют непрерывность по длине и направлению. Производные кривой в контрольных точках имеют особое направление и длину.

О.3.6. Двумерная NURBS-кривая MbNurbs

Класс MbNurbs объявлен в файле cur_nurbs.h.

B-кривая или NURBS-кривая получила название от первых букв сочетания слов NonUniform Rational B-Spline. Кривая является наследником кривой MbPolyCurve. Кривая описывается множеством двумерных контрольных точек SArray<MbCartPoint>***pointList***, множеством весов контрольных точек *weights*, узловым вектором *knots*, порядком сплайна *degree*, параметром формы кривой *form* и признаком периодичности кривой *closed*. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Кривая построена на основе B-сплайнов. Узловой вектор *knots* представляет собой неубывающую последовательность действительных чисел и определяет область определения параметра кривой и форму кривой. Параметр формы кривой *form* в общем случае принимает значение ncf_Unspecified, в частных случаях он хранит информацию об исходной кривой, с которой была получена NURBS-копия. Порядок *degree* NURBS-кривой равен порядку разделённых разностей, по которым вычисляются B-сплайны. Пусть узловой вектор содержит *knotsCount* элементов, а множество контрольных точек содержит *pointsCount* элементов. Для не периодической NURBS-кривой количества элементов в множествах связаны равенством *knotsCount=pointsCount+degree*. Для периодической NURBS-кривой количество элементов в множествах связаны равенством *knotsCount=pointsCount+2degree–1*.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint & ***r***) радиус-вектор кривой ***r*** описывается векторной функцией

$$r(t)=\frac{\sum_{j=0}^{pointsCount-1} N_{j}^{degree}(t)\,weight[j]\,\mathrm{pointList}[j]}{\sum_{j=0}^{pointsCount-1} N_{j}^{degree}(t)\,weight[j]},$$

где $N_j^{degree}(t)$ – B-сплайны порядка *degree* для *j*–ой контрольной точки ***pointList***[*j*]. NURBS-кривая четвёртого порядка приведена на рис. О.3.6.1.

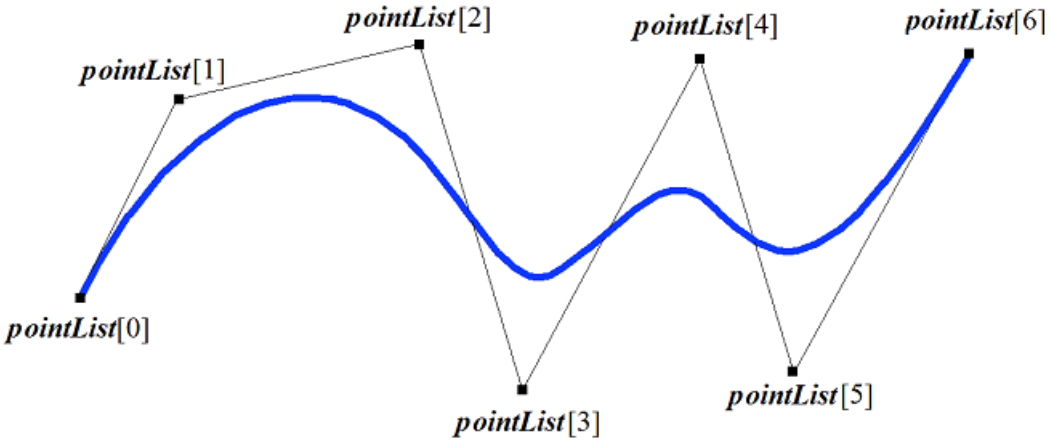


Рис. О.3.6.1.

Кривая может быть периодической. Периодическая NURBS-кривая приведена на рис. О.3.6.2.

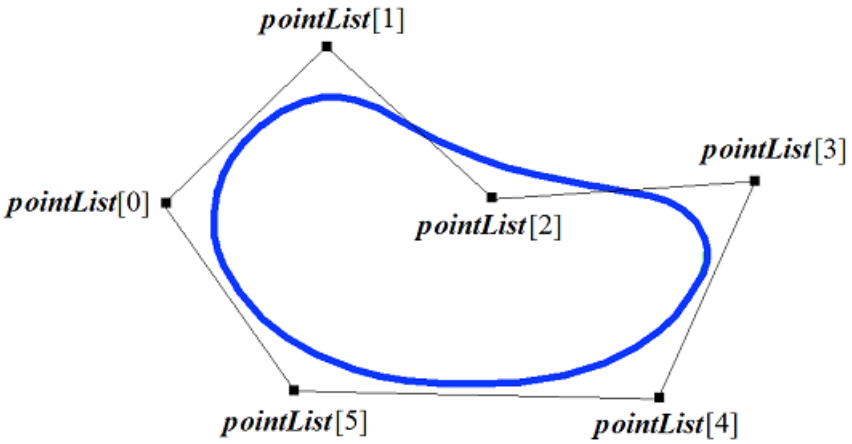


Рис. О.3.6.2.

Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: *tmin*≤*t*≤*tmax*, где *tmin*=*knots*[*degree*–1], *tmax*=*knots*[*knotsCount*–*degree*].

Форма NURBS-кривой зависит от расположения контрольных точек, от веса контрольных точек и от значений узлового вектора. NURBS-кривая в общем случае не проходит через множество точек ***pointList***[i], i=0,...,*pointsCount*–1. Чтобы незамкнутая NURBS-кривая проходила через крайние контрольные точки, требуется чтобы первые *degree* элементов и последние *degree* элементов узлового вектора *knots* совпадали. Чем больше вес контрольной точки, тем ближе к этой точке проходит кривая при прочих равных условиях.

Каждая кривая может построить свою NURBS-копию виртуальным методом **NurbsCurve**(const MbNurbsParameters & *tParameters*).

О.3.7. Двумерная кривая Эрмита MbHermit

Класс MbHermit объявлен в файле cur_hermit.h.

Двумерная кривая Эрмита является наследником кривой MbPolyCurve. Кривая описывается множеством контрольных точек SArray<MbCartPoint>***pointList***, множеством производных кривой в контрольных точках SArray<MbVector>***vectorList***, множеством значений параметра кривой в контрольных точках *tList*, количеством *splinesCount* кубических сплайнов Эрмита и признаком периодичности кривой *closed*. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Кривая Эрмита при значении параметра *tList*[*i*], *i*=0,1,...,*splinesCount*, проходит через контрольную точку ***pointList***[*i*] и имеет в ней производную ***vectorList***[*i*]. Кривая построена на основе *splinesCount* двумерных сплайнов Эрмита третьей степени, которые гладко стыкуются между собой. Каждый кубический сплайн Эрмита описывает участок кривой между двумя соседними контрольными точками. Каждый кубический сплайн Эрмита определяется двумя крайними точками и двумя производными кривой в этих точках.

При вычислении радиуса-вектора точки кривой Эрмита сначала по значению параметра *t* кривой определяется номер *i* рабочего участка (номер кубического сплайна Эрмита), из условия *tList*[*i*]≤*t*≤*tList*[*i*+1]. Радиус-вектор кривой вычисляется как радиус-вектор найденного участка для его локального параметра *w,* который определяется по *tList*[*i*] и *tList*[*i*+1].

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint & ***r***) радиус-вектор кривой ***r*** описывается векторной функцией найденного участка для его локального параметра *w*:

$$r(t)=(1-3w^2+2w^3)\,\mathrm{pointList}[i]+(3w^2-2w^3)\,\mathrm{pointList}[i+1]+$$
$$+\big((w-2w^2+w^3)\,\mathrm{vectorList}[i]+(-w^2+w^3)\,\mathrm{vectorList}[i+1]\big)\big(tList[i+1]-tList[i]\big)\ ,$$

где $w=\dfrac{t-tList[i]}{tList[i+1]-tList[i]}$, а $tList[i]\le t\le tList[i+1]$.

Кривая Эрмита приведена на рис. О.3.7.1.

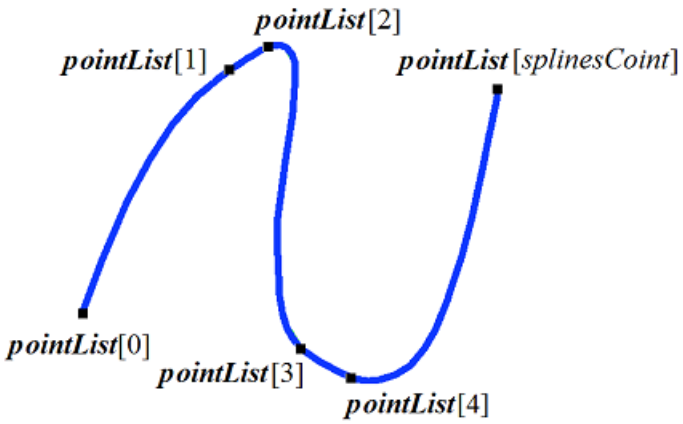


Рис. О.3.7.1.

Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: *tmin*≤*t*≤*tmax*, где *tmin*=*tList*[0], *tmax*=*tList*[*splinesCount*]. Кривая может быть периодической.

Форма кривой зависит от расположения контрольных точек, от производных кривой в контрольных точках и от множества *tList* значений параметра в контрольных точках. При построении кривой только по контрольным точкам значения параметра кривой в контрольных точках *tList*[*i*], *i*=0,1,...,*splinesCount*, изменяются пропорционально расстоянию между точками, а производные ***vectorList***[*i*], *i*=1,2,...,*splinesCount*–1 вычисляются путём построения параболы, проходящей по трём соседним точкам ***pointList***[*i*–1], ***pointList***[*i*], ***pointList***[*i*+1] при соответствующих значениях параметра *tList*[*i*–1], *tList*[*i*], *tList*[*i*+1], и вычисления производной параболы в средней точке.

О.3.8. Двумерная составная кривая Безье MbBezier

Класс MbBezier объявлен в файле cur_bezier.h.

Двумерная составная кривая Безье является наследником кривой MbPolyCurve. Кривая описывается множеством контрольных точек SArray<MbCartPoint>***pointList***, количеством *splinesCount* кривых Безье и признаком периодичности кривой *closed*. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Кривая построена на основе *splinesCount* кривых Безье третьей степени, которые гладко стыкуются между собой. Каждая кривая Безье определяется четырьмя контрольными точками и проходит только через две крайние точки. Составная кривая используется для построения сплайна, проходящего через

заданные точки. Заданные точки служат точками сочленения кривых Безье третьей степени. Пара внутренних контрольных точек каждой кривой Безье третьей степени определяется из условия гладкой стыковки кривой с соседними кривыми. Для составной кривой количество контрольных точек равно 3(*splinesCount*+1). У непериодической составной кривой первая ***pointList***[0] и последняя контрольные точки не используются.

На каждой кривой Безье третьей степени параметр составной кривой увеличивается на единицу. При вычислении радиуса-вектора точки составной кривой сначала по значению параметра *t* кривой определяется номер рабочего участка (номер кривой Безье третьей степени), который равен максимальному целому числу, не превосходящему *t*. Пусть номер кривой Безье третьей степени равен *n*. Далее определяется дробная часть параметра *w*=*t*–*n*. Радиус-вектор составной кривой вычисляется как радиус-вектор найденного участка для его локального параметра *w*.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint & ***r***) радиус-вектор кривой ***r*** описывается векторной функцией найденного участка для его локального параметра *w*:

$$r(t)=\sum_{j=0}^{3}\frac{3!}{j!(3-j)!}w^{j}(1-w)^{3-j}\,\mathrm{pointList}[3n+j]\,,$$

где $w=t-n$, $n\le t\le n+1$, $0\le w\le 1$, $B_j^3(w)=\frac{3!}{j!(3-j)!}w^j(1-w)^{3-j}$ – функции Бернштейна третьей степени для *j*–ой, *j*=0,1,2,3, контрольной точки ***pointList***[3*n*+*j*] найденного участка с номером *n*.

Составная кривая Безье приведена на рис. О.3.8.1.

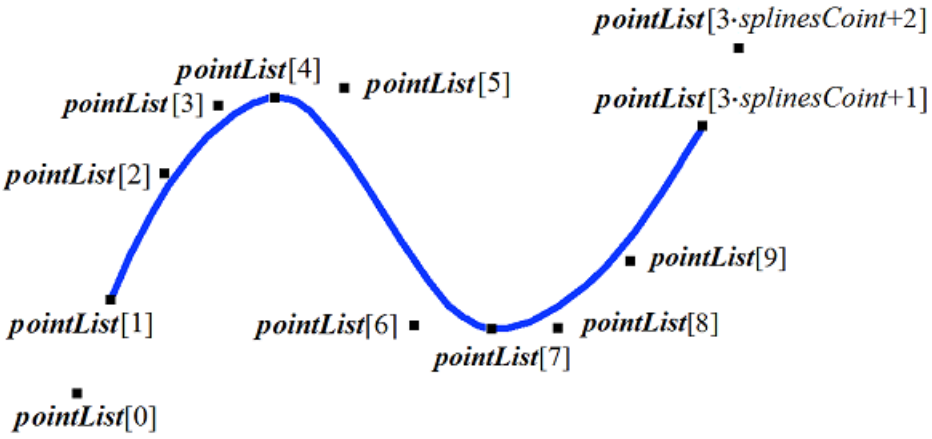


Рис. О.3.8.1.

Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: 0≤*t*≤*splinesCount*. Кривая может быть периодической. Период периодической кривой равен *splinesCount*.

При целочисленных значениях параметра кривая проходит через контрольные точки, например, при параметре *t*=*n* кривая пройдёт через контрольную точку ***pointList***[3*n*], *n*=0,1,...,*splinesCount*. Производные кривой в точках сочленения кривых Безье третьей степени (при целочисленных значениях параметра) теряют непрерывность по длине.

О.3.9. Двумерная кубический сплайн MbCubicSpline

Класс MbCubicSpline объявлен в файле cur_cubic_spline.h.

Двумерный кубический сплайн является наследником кривой MbPolyCurve. Кривая описывается множеством двумерных контрольных точек SArray<MbCartPoint>***pointList***, множеством вторых производных кривой в контрольных точках SArray<MbVector>***vectorList***, множеством значений параметра кривой в контрольных точках *tList*, максимальным значением индекса множества параметров *splinesCount* и признаком периодичности кривой *closed*. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Кубический сплайн при значении параметра *tList*[*i*], *i*=0,1,...,*splinesCount*, проходит через контрольную точку ***pointList***[*i*] и имеет в ней вторую производную ***vectorList***[*i*]. Кривая построена так,

что при переходе из точки ***pointList***[*i*] в точку ***pointList***[*i*+1] вторая производная радиуса вектора кривой изменяется линейно от ***vectorList***[*i*] до ***vectorList***[*i*+1].

При вычислении радиуса-вектора точки составной кривой сначала по значению параметра *t* кривой определяется номер *i* рабочего участка, из условия *tList*[*i*]≤*t*≤*tList*[*i*+1]. Радиус-вектор кривой вычисляется по значениям ***pointList***[*i*], ***pointList***[*i*+1], ***vectorList***[*i*], ***vectorList***[*i*+1] найденного участка для локального параметра *w,* который определяется по *tList*[*i*] и *tList*[*i*+1].

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint & ***r***) радиус-вектор кривой ***r*** описывается векторной функцией

$$r(t)=(1-w)\,\boldsymbol{pointList}[i]+w\,\boldsymbol{pointList}[i+1]+$$
$$+\left((-2w+3w^2-w^3)\,\mathrm{vectorList}[i]+(-w+w^3)\,\boldsymbol{vectorList}[i+1]\right)\frac{(tList[i+1]-tList[i])^2}{6},$$

где $w=\dfrac{t-tList[i]}{tList[i+1]-tList[i]}$, а *tList*[*i*]≤*t*≤*tList*[*i*+1].

Кубический сплайн, построенный по тем же контрольным точкам, что и составная кривая Эрмита, приведён на рис. О.3.9.1.

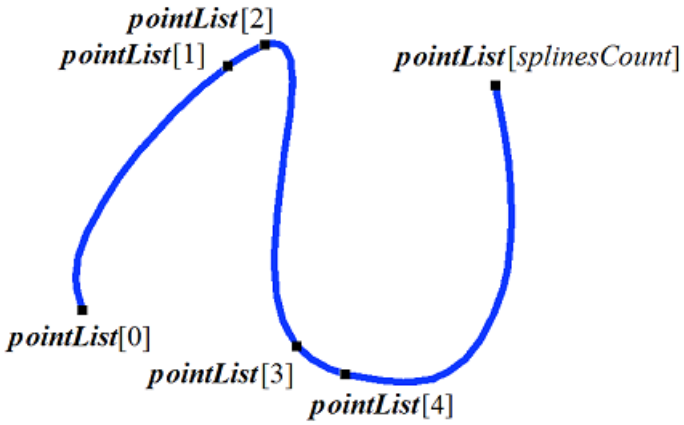


Рис. О.3.9.1.

Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: *tmin*≤*t*≤*tmax*, где *tmin*=*tList*[0], *tmax*=*tList*[*splinesCount*]. Кривая может быть периодической.

Форма кривой зависит от расположения контрольных точек и от множества *tList* значений параметра в контрольных точках. При построении кривой только по контрольным точкам значения параметра кривой в контрольных точках *tList*[*i*], *i*=0,1,...,*splinesCount*, изменяются пропорционально расстоянию между точками, а вторые производные ***vectorList***[*i*], *i*=1,2,...,*splinesCount*–1 вычисляются путём решение системы уравнений.

О.3.10. Двумерная усечённая кривая MbTrimmedCurve

Класс MbTrimmedCurve объявлен в файле cur_trimmed_curve.h.

Двумерная усечённая кривая описывается базовой кривой MbCurve* ***basisCurve***, начальным параметром усечения базовой кривой *trim*1, конечным параметром усечения базовой кривой *trim*2 и признаком совпадения направлений базовой кривой и усечённой кривой *sense*.

Усечённая кривая совпадает с базовой кривой на участке, определённом параметрами *trim*1 и *trim*2, но может иметь противоположное с ним направление. Если *sense*=1, то *trim*1<*trim*2 и усечённая кривая совпадает по направлению с базовой кривой. Если *sense*=–1, то *trim*2<*trim*1 и усечённая кривая направлена против базовой кривой.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint & ***r***) радиус-вектор кривой ***r*** описывается векторной функцией

$$\boldsymbol{r}(t) = \boldsymbol{basisCurve}(trim1+sense\cdot t).$$

Усеченная кривая приведена на рис. О.3.10.1.

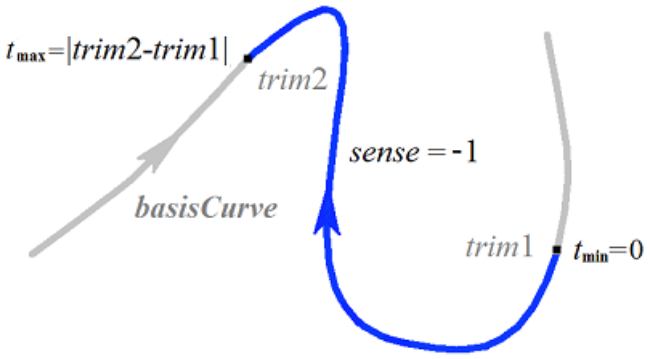


Рис. О.3.10.1.

Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: 0≤*t*≤*sense*(*trim*2–*trim*1).

Усечённая кривая теоретически может применяться для изменения направления кривой, но лучше пользоваться методом **Inverse**().

Усечённая кривая может применяться для изменения положения начальной точки периодической кривой. Для этого базовая кривая должна быть периодической и *trim*2=*trim*1+*period*. В этом случае усечённая кривая так же будет периодической.

В качестве базовой кривой для усеченной кривой не должна использоваться другая усеченная кривая, а должна использоваться базовая кривая последней с соответствующим пересчетом параметров усечения.

Каждая кривая может построить свою усеченную копию виртуальным методом **Trimmed**(double *t*1, double *t*2, int *sense*).

О.3.11. Двумерная репараметризованная кривая MbReparamCurve

Класс MbReparamCurve объявлен в файле cur_reparam_curve.h.

Двумерная репараметризованная кривая описывается базовой кривой MbCurve* ***basisCurve***, начальным параметром *tmin*, конечным параметром *tmin* и производной *dt* параметра базовой кривой по параметру репараметризованной кривой.

Репараметризованная кривая полностью совпадает с базовой кривой, но имеет другую область изменения параметра.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint & ***r***) радиус-вектор кривой ***r*** описывается векторной функцией

$$\boldsymbol{r}(t) = \boldsymbol{basisCurve}(v(t)),$$

где $v(t)=b\,\mathbf{min}\dfrac{trim2-t}{trim2-trim1}+b\,\mathbf{max}\dfrac{t-trim1}{trim2-trim1}$, *bmin*, *bmax* – граничные значения области определения параметра базовой кривой.

Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: *tmin*≤*t*≤*tmax*.

Репараметризованная кривая совпадает с базовой кривой, но имеет другую область определения параметра. Кривая с измененной длиной параметра применяется для согласования областей изменения параметра двух кривых. Например, если требуется, чтобы отрезок и дуга имели одинаковые области изменения параметра, то на базе одной из указанных кривых создаётся репараметризованная кривая с областью изменения параметра, взятой у другой кривой.

В качестве базовой кривой для репараметризованной кривой не должна использоваться другая репараметризованная кривая, а должна использоваться базовая кривая последней.

О.3.12. Двумерная эквидистантная кривая MbOffsetCurve

Класс MbOffsetCurve объявлен в файле cur_offset_curve.h.

Двумерная эквидистантная кривая описывается базовой кривой MbCurve* ***basisCurve***, смещением MbVector *distance*, изменением минимального параметра базовой кривой *dmin*, изменением максимального параметра базовой кривой *dmax*, минимальным параметром базовой кривой *tmin*, максимальным параметром базовой кривой *tmax*, матрицей преобразования MbMatrix ***transform*** и признаком периодичности кривой *closed*. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Двумерная эквидистантная кривая представляет собой кривую, соответствующие по параметру точки которой смещены на расстояние *distance* от соответствующих точек базовой кривой ***basisCurve***. Область изменения параметра двумерной эквидистантной кривой отличается от области изменения параметра базовой кривой на *dmin* для минимального значения и на *dmax* для максимального значения.

Вычисление радиуса-вектора точки эквидистантной кривой выполняется следующим образом. Для заданного параметра базовой кривой вычисляется точка и нормаль. Далее точка смещается на расстояние *distance* вдоль нормали кривой.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint & ***r***) радиус-вектор кривой ***r*** описывается векторной функцией

$$\boldsymbol{r}(t) = \boldsymbol{basisCurve}(t) + \boldsymbol{normal}(t) \cdot distance,$$

где ***normal***(*t*) – нормаль базовой кривой, получена поворотом на 90 градусов (против часовой стрелки) касательной базовой кривой в заданной точке.

Эквидистантная и базовая кривые приведены на рис. О.3.12.1.

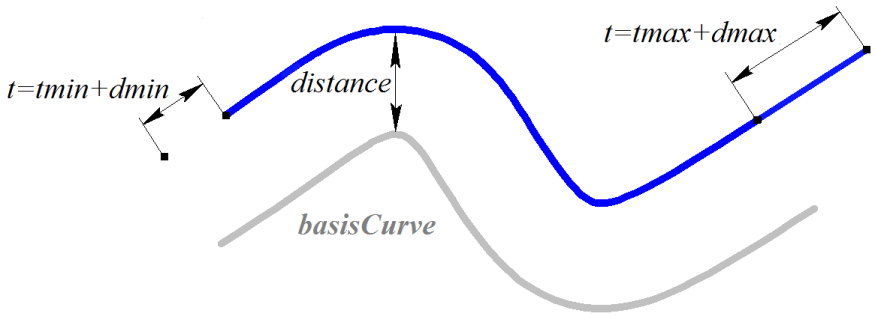


Рис. О.3.12.1.

Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: *tmin+dmin≤t≤tmax+dmax*. При выходе параметра за пределы области определения радиус-вектор точки базовой кривой вычисляется методом **_PointOn**(double *t*, MbCartPoint & ***r***). При *distance*=0, *dmin*=0, *dmax*=0 эквидистантная кривая совпадает с базовой кривой.

В качестве базовой кривой для эквидистантной кривой не должна использоваться другая эквидистантная кривая, а должна использоваться базовая кривая последней с соответствующим пересчетом смещения.

Каждая кривая может построить эквидистантную кривую виртуальным методом **Offset**(double *distance*).

О.3.13. Двумерная символьная кривая MbCharacterCurve

Класс MbCharacterCurve объявлен в файле cur_character_curve.h.

Символьная кривая описывается координатными функциями *xFunction*, *yFunction*, локальной системой координат MbPlacement ***position*** функций, матрицей трансформации ***transform***, граничными значениями области определения параметра кривой *tmin* и *tmax*, признаком периодичности кривой *closed* и типом системы координат (декартова, полярная) *coordinateType*, в которой заданы

координатные функции. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Координатные функции *xFunction*(*t*), *yFunction*(*t*) символьной кривой представляют собой скалярные функции общего параметра *t* и заданы в виде символьных выражений. Для каждого символьного выражения выполнен лексический анализ и построено дерево, которое вычисляет значение символьного выражения для заданного параметра и производные символьного выражения по параметру. Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: *tmin*≤*t*≤*tmax*.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint & ***r***) радиус-вектор кривой ***r*** описывается векторной функцией

$$\boldsymbol{r}(t) = [xFunction(t) \quad yFunction(t)].$$

Символьная кривая приведена на рис. О.3.13.1.

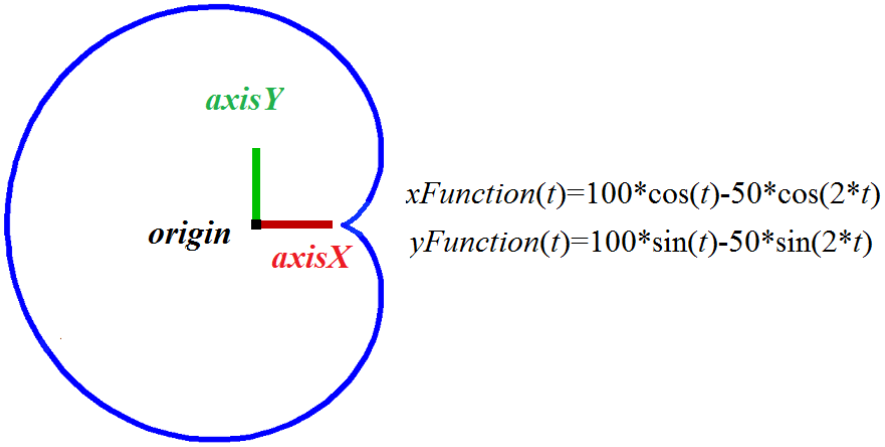


Рис. О.3.13.1.

Кривая может быть периодической. Символьные выражения на области определения кривой должны описывать непрерывные конечные и однозначные функции.

Синтаксический анализатор входных выражений распознает базовые математические операции с учетом приоритетов и скобок: сложение (+), вычитание (-), умножение (*), деление (/), возведение в степень (^), а также унарный минус (-). Операции осуществляются над переменными, константами и функциями.

Синтаксический анализатор распознает имена основных математических функций, которые приведены в таблице О.3.13.1.

Таблица О.3.13.1. Математические функции, применяемые в символьных выражениях.

Имя функции	**Описание**
sin	синус
cos	косинус
tan	тангенс
sind	синус, входной аргумент задается в градусах
cosd	косинус, входной аргумент задается в градусах
tand	тангенс, входной аргумент задается в градусах
asin	арксинус
acos	арккосинус
atan	арктангенс
asind	арксинус, значение выходного параметра в градусах
acosd	арккосинус, значение выходного параметра в градусах

atand	арктангенс, значение выходного параметра в градусах
sqrt	квадратный корень
exp	экспонента
ln	натуральный логарифм
lg	десятичный логарифм
deg	функция конвертации радиан в градусы
rad	функция конвертации градусов в радианы
abs	модуль

Неименованные константы (числа) могут быть заданы как числа с плавающей точкой (строка из цифр, разделенных точкой), либо в формате целого числа.

В символьных выражениях возможно использование именованных констант, приведенных в таблице О.3.13.2.

Таблица О.3.13.2. Именованные константы.

Имя константы	**Описание**
M_PI	π – отношение длины окружности к ее диаметру
M_PI_2	$\pi / 2$
M_PI_4	$\pi / 4$
M_SQRT2	$\sqrt{2}$
M_E	e – экспонента
M_FI	φ – число золотого сечения
M_RADDEG	$180 / \pi$ – коэффициент перевода радиан в градусы
M_DEGRAD	$\pi / 180$ – коэффициент перевода градусов в радианы

Именем переменной аналитического выражения может являться последовательность строковых и числовых литералов (первый символ – литерал строкового типа), которая не совпадает с именами функций и именами констант.

Ограничения при создании символьной кривой:

- максимальная длина переменной – 512 символов;
- максимальная длина выражения – 2048 символов;
- отсутствие операций интегрирования, дифференцирования, вычисления пределов функций;
- отсутствие возможности упрощения математических выражений (например, сокращения дробей).

Ввиду имеющихся ограничений, верное вычисление значения аналитического выражения может быть получено для относительно простых математических выражений и функций. Например, значение отношения $sin(x)/x$ в нуле может быть вычислено неверно.

Ниже приведен пример кода, демонстрирующего возможность создания символьной двумерной кривой. Построенная символьная кривая приведена на рисунке О.3.13.1.

```
MbCharacterCurve * CreateAnalyticalCurve2D() {
  MbCharacterCurve * curve( nullptr );
  // Строковые представления заданных координатных функций.
  string_t xFunction = _T( "100*cos(t)-50*cos(2*t)" );
  string_t yFunction = _T( "100*sin(t)-50*sin(2*t)" );
  string_t argument  = _T( "t" );
  double t1 = 0.0, t2 = 2.0 * M_PI;
  // Создание аналитических координатных функций с помощью фабрики функций.
  MbFunctionFactory factory;
  SPtr<MbFunction> x( factory.CreateAnalyticalFunction(xFunction, argument, t1, t2, true) );
  SPtr<MbFunction> y( factory.CreateAnalyticalFunction(yFunction, argument, t1, t2, true) );
```

```
  if ( x != nullptr && y != nullptr ) {
    MbCartPoint point( 0.0, 0.0 ); // Начало локальной системы координат.
    MbVector axisX( 1.0, 0.0 ), axisY( 0.0, 1.0 );
    MbPlacement place( point, axisX, axisY ); // Локальная система координта.
    MbeLocalSystemType cs = ls_CartesSystem; // Тип локальной системы координат.
    // Создание символьной двумерной кривой.
    curve = new MbCharacterCurve( *x, *y, cs, place, t1, t2 );
  }
  return curve;
}
```

О.3.14. Двумерная косинусоида MbCosinusoid

Класс MbCosinusoid объявлен в файле cur_cosinusoid.h.

Двумерная косинусоида описывается локальной системой координат MbPlacement ***position***, циклической частотой *frequency*, начальной фазой *phase*, амплитудой *amplitude*, минимальным параметром кривой *tmin*, максимальным параметром кривой *tmax*. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Двумерная косинусоида представляет собой функцию косинуса, аргумент которой задается вдоль вектора ***position.axisX***, а значение функции откладывается вдоль вектора ***position.axisY***. Функция имеет амплитуду *amplitude*, частоту *frequency* и начальную фазу *phase*. В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint & ***r***) радиус-вектор кривой ***r*** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{position.origin} + (((tmin+t-phase) / frequency)\ \mathbf{position.axisX}) + (amplitude\ \cos(tmin+t)\ \mathbf{position.axisY}).$$

Косинусоида приведена на рис. О.3.14.1.

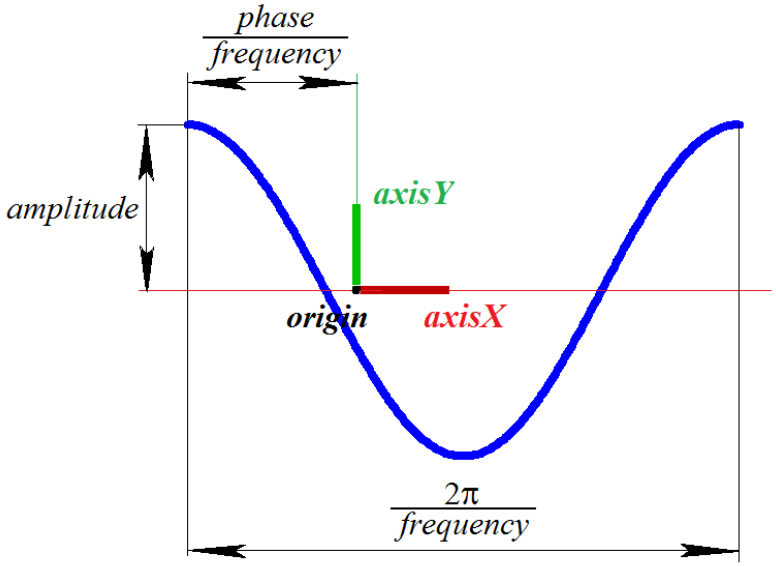


Рис. О.3.14.1.

Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: $tmin \le t \le tmax$. Для параметров должно соблюдаться неравенство: $tmin < tmax$. Кривая не может быть периодической. Амплитуда и частота кривой должны быть больше нуля: $amplitude > 0$, $frequency > 0$.

Локальная система координат ***position*** может быть как правой, так и левой. Косинусоида используется для описания пересечения цилиндрической поверхности и плоскости.

О.3.15. Двумерная кривая-точка MbPointCurve

Класс MbPointCurve объявлен в файле cur_point_curve.h.

Двумерная кривая-точка описывается точкой MbCartPoint ***point***, минимальным параметром кривой *tmin*, максимальным параметром кривой *tmax* и признаком периодичности кривой *closed.*

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint & ***r***) радиус-вектор кривой ***r*** описывается векторной функцией

$$\boldsymbol{r}(t) = \boldsymbol{point}.$$

Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: $tmin \le t \le tmax$. Кривая может быть периодической. Для параметров должно соблюдаться неравенство: $tmin < tmax$.

Двумерная кривая-точка используется в паре с другой двумерной кривой для описания пересечения поверхностей, одна из которых имеет особую точку, например, полюс. Параметры *tmin*, *tmax*, *closed* кривой-точки соответствуют параметрам двумерной кривой, используемой в паре с кривой-точкой.

О.3.16. Двумерная проекционная кривая MbProjCurve

Класс MbProjCurve объявлен в файле cur_projection_curve.h.

Двумерная проекционная кривая описывается пространственной кривой MbCurve3D* **spaceCurve**, поверхностью MbSurface* **surface** и двумерной кривой MbCurve* ***curve***. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Двумерная проекционная кривая представляет собой проекцию пространственной кривой **spaceCurve** на поверхность **surface**, которая приближенно описывается двумерной кривой ***curve*** в области определения параметров поверхности. Области определения параметров кривых **spaceCurve** и ***curve*** совпадают. Двумерная кривая ***curve***, как правило, является сплайном, контрольные точки которого получены проецированием точек пространственной кривой **spaceCurve** на поверхность **surface**. Параметризация кривой ***curve*** согласована с параметризацией пространственной кривой в контрольных точках. Двумерная кривая ***curve*** может располагаться за пределами области определения параметров поверхности.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint & ***r***) радиус-вектор кривой ***r*** описывается векторной функцией

$$\boldsymbol{r}(t) = [u \;\; v],$$

где *u*, *v* – параметры проекции точки **spaceCurve**(*t*) на поверхность **surface**. Начальное приближение параметров *u* и *v* вычисляется методом ***curve***–>**PointOn**(*t*,***point***), *u*=***point***.*x*, *v*=***point***.*y*. Далее параметры *u* и *v* уточняются итерационным методом, использующим уравнения

$$\begin{aligned} \mathbf{deriveU} \cdot (\mathbf{spaceCurve}(t) - \mathbf{surface}(\, u, v\,)) = 0, \\ \mathbf{deriveV} \cdot (\mathbf{spaceCurve}(t) - \mathbf{surface}(\, u, v\,)) = 0, \end{aligned}$$

где **deriveU** и **deriveV** – частные производные радиуса-вектора поверхности, которые вычисляются методами **surface**–>**_DeriveU**(*u,v*,**deriveU**) и **surface**–>**_DeriveV**(*u,v*,**deriveV**), соответственно.

Проекционная кривая приведена на рис. О.3.16.1.

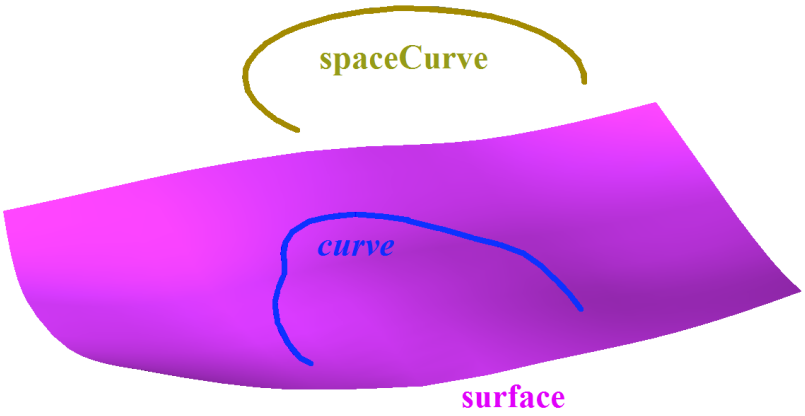


Рис. О.3.16.1.

Проекционная кривая используется для точного описания проекции пространственной кривой на поверхность.

О.3.17. Двумерный контур MbContour

Класс MbContour объявлен в файле cur_contour.h.

Двумерный контур MbContour описывается множеством RPArray<MbCurve>***segments*** стыкующихся друг да другом кривых и признаком периодичности кривой *closed*.

Двумерный контур представляет собой составную кривую. В отличие от других кривых контур может иметь изломы. Кривые, образующие контур, будем называть сегментами. Для сегментов контура выполняются следующие условия: начало каждого последующего сегмента совпадает с концом предыдущего сегмента. Для периодического контура начало первого сегмента совпадает с концом последнего сегмента. В общем случае в местах стыковки сегментов производные контура терпят разрыв по длине и направлению.

Начальное значение параметра контура равно нулю: $t_{min}=0$. Параметрическая длина контура равна сумме параметрических длин составляющих его сегментов: $t_{max}=\sum\left(w_{i\,max}-w_{i\,min}\right)$, где w_{imin} и w_{imax} – минимальное и максимальное значение параметра i–го сегмента. При вычислении радиуса-вектора точки контура сначала по значению параметра определяется рабочий сегмент и значение его локального параметра, далее вычисляется радиус-вектор рабочего сегмента, который служит радиусом-вектором контура.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint & ***r***) радиус-вектор кривой ***r*** описывается векторной функцией

$$\boldsymbol{r}(t) = \boldsymbol{segments}[k](w_k),$$

где ***segments***$[k](w_k)$ – рабочий сегмент контура с индексом k, w_k – параметр рабочего сегмента, равный: $w_k=w_{k\,min}+t-\sum_{i=0}^{k-1}\left(w_{i\,max}-w_{i\,min}\right)$.

Сегмент с индексом k определяется по значению параметра контура t из условия $\sum_{i=0}^{k-1}\left(w_{i\,max}-w_{i\,min}\right)\le t<\sum_{i=0}^{k}\left(w_{i\,max}-w_{i\,min}\right)$, где w_{imin} и w_{imax} – минимальное и максимальное значение параметра i–го сегмента.

Контур приведён на рис. О.3.17.1.

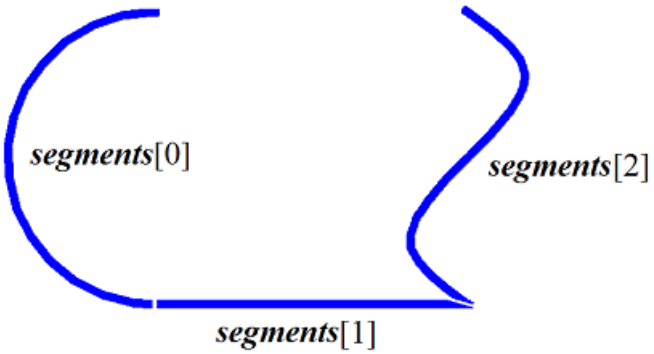


Рис. О.3.17.1.

В качестве сегментов двумерного контура не должны использоваться другие двумерные контуры. Если контур нужно построить на основе других контуров, то последние должны рассматриваться как совокупность составляющих их кривых, а не как единые кривые.

О.4. КРИВЫЕ

Кривые являются представителями семейства трёхмерных геометрических объектов MbSpaceItem. Все кривые имеют общий родительский класс MbCurve3D. В геометрическом ядре C3D используются кривые, которые построены с помощью аналитических функций, по набору точек, на базе кривых и на базе поверхностей. Кривые используются для построения поверхностей, а также вспомогательных элементов геометрической модели. Векторы, радиусы-векторы точек, матрицы в трехмерном пространстве будем обозначать буквами латинского алфавита, выделенными **полужирным** шрифтом.

О.4.1. Кривая MbCurve3D

Класс MbCurve3D объявлен в файле curve3d.h.
Кривая MbCurve3D является наследником класса MbSpaceItem, рис. О.4.1.1.

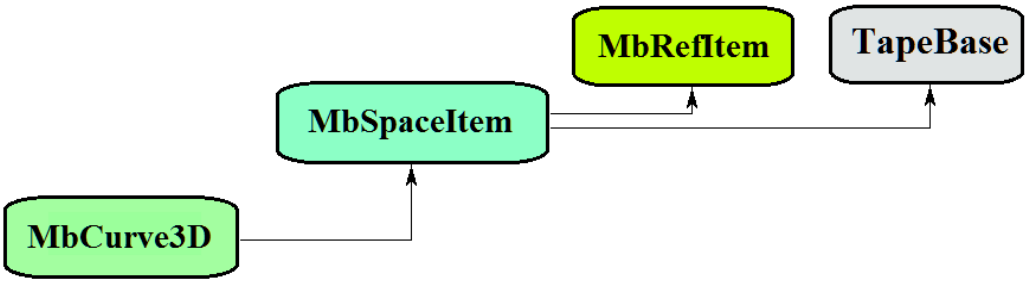


Рис. О.4.1.1.

Кривая является абстрактным классом. В геометрическом ядре C3D реализованы следующие кривые, которые являются наследниками класса MbCurve3D:
MbLine3D – прямая линия,
MbLineSegment3D – отрезок прямой,
MbArc3D – дуга эллипса,
MbPolyline3D – ломаная линия,
MbNurbs3D – B-кривая (NonUniform Rational B-Spline),
MbBezier3D – составная кривая Безье,
MbHermit3D – кривая Эрмита,
MbCubicSpline3D – кубический сплайн,
MbOffsetCurve3D – эквидистантная кривая,
MbTrimmedCurve3D – усеченная кривая,
MbReparamCurve3D – репараметризованная кривая,
MbReparamCurve3D – кривая, координатные функции которой заданы в символьном виде,
MbConeSpiral – коническая спираль,
MbCurveSpiral – спираль с прямолинейной осью и переменным радиусом,
MbCrookedSpiral – спираль с осью в виде плоской кривой,
MbBridgeCurve3D – сплайн Эрмита, соединяющий две кривые,
MbContour3D – контур (составная кривая),
MbPlaneCurve – плоская кривая в пространстве,
MbSurfaceCurve – кривая на поверхности,
MbSilhouetteCurve – силуэтная кривая поверхности,
MbContourOnSurface – контур на поверхности,
MbContourOnPlane – контур на плоскости,
MbSurfaceIntersectionCurve – кривая пересечения поверхностей.
Кривая MbCurve3D представляет собой векторную функцию

$$\mathbf{curve}(t) = \begin{bmatrix} x(t) & y(t) & z(t) \end{bmatrix}$$

скалярного параметра t, принимающего значения на отрезке $[t_{min}, t_{max}]$. Кривая представляет собой непрерывное отображение некоторого участка числовой оси в трёхмерное пространство. Область изменения параметра кривой есть отрезок $[t_{min}, t_{max}]$ в одномерном пространстве. Координаты $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ точки кривой **curve**(t) являются однозначными непрерывными функциями параметра t.

Граничные значения t_{min} и t_{max} области определения параметра выдают методы кривой double **GetTMin**() и double **GetTMax**(), соответственно.

Кривую будем называть периодической, если существует $p>0$, такое, что **curve**($t\pm kp$)=**curve**(t), где k – целое число. Метод bool **IsClosed**() периодической кривой возвращает true. Метод double **GetPeriod**() периодической кривой или кривой, которая может быть расширена до периодической, выдает период p. Область определения параметра периодической кривой всегда лежит в пределах одного периода.

Основным методом кривой является метод
void **PointOn**(double & t, MbCartPoint3D & **r**).
Он выдаёт радиус-вектор **r** точки кривой для заданного параметра t. Методы
void **FirstDer**(double & t, MbVector3D & $\mathbf{r}_t$),
void **SecondDer**(double & t, MbVector3D & $\mathbf{r}_{tt}$),
void **ThirdDer**(double & t, MbVector3D & $\mathbf{r}_{ttt}$)
выдают соответственно первую $\mathbf{r}_t$, вторую $\mathbf{r}_{tt}$ и третью $\mathbf{r}_{ttt}$ производные радиуса-вектора кривой для заданного параметра t. Перечисленные методы корректируют параметр кривой при его выходе за пределы области определения (исключение составляет прямая MbLine3D). При выходе параметра t кривой за пределы отрезка $[t_{min}, t_{max}]$ непериодические кривые смещают параметр t к ближайшей границе t_{min} или t_{max}, а периодические кривые добавляют или вычитают необходимое количество периодов.

Метод
void **_PointOn**(double t, MbCartPoint3D & **r**)
выдаёт радиус-вектор **r** точки кривой для заданного параметра t как в области определения параметра кривой, так и за её пределами. В общем случае непериодическая кривая за пределами области определения параметра продолжается по касательной в крайней точке. Исключение составляют периодические кривые, дуга (MbArc3D), спирали (MbSpiral), символьная кривая (MbCharacterCurve3D) и усечённая кривая (MbTrimmedCurve3D) в пределах базовой кривой. Периодические кривые за пределами области определения параметра продолжаются циклически. Методы
void **_FirstDer**(double t, MbVector3D & $\mathbf{r}_t$),
void **_SecondDer**(double t, MbVector3D & $\mathbf{r}_{tt}$),
void **_ThirdDer**(double t, MbVector3D & $\mathbf{r}_{ttt}$)
выдают соответственно первую $\mathbf{r}_t$, вторую $\mathbf{r}_{tt}$ и третью $\mathbf{r}_{ttt}$ производные радиуса-вектора кривой для заданного параметра t как в области определения кривой, так и за её пределами.

Кривые перегружают такие методы трёхмерного геометрического объекта как:
методы, обслуживающие преобразование геометрического объекта,
void **Move**(const MbVector3D & **v**, MbRegTransform * iReg = NULL),
void **Rotate**(const MbAxis3D & **axis**, double **angle**, MbRegTransform * iReg = NULL),
void **Transform**(const MbMatrix3D & **m**, MbRegTransform * iReg = NULL),
методы, обеспечивающие копирование, проверку на совпадение, проверку на возможность сделать совпадающими, делающие объекты совпадающими,
MbSpaceItem & **Duplicate**(MbRegDuplicate * iReg = NULL),
bool **IsSame**(const MbSpaceItem & **item**),
bool **IsSimilar**(const MbSpaceItem & **item**),
bool **SetEqual**(const MbSpaceItem & **item**),
методы, возвращающие тип из перечисления геометрических объектов,
MbeSpaceType **IsA**(),
MbeSpaceType **Type**(),
MbeSpaceType **Family**(),
методы, обеспечивающие выдачу и редактирование внутренних данных объекта,
MbProperty & **CreateProperty**(MbePrompt name),
void **GetProperties**(MbProperties & *properties*),
void **SetProperties**(MbProperties & *properties*),
метод, наполняющий полигональную копию геометрического объекта,

CalculateWire(double sag, MbMesh & **mesh**).

Все кривые, кроме MbContour3D, MbContourOnSurface MbContourOnPlane, как правило не имеют изломов. MbContour3D, MbContourOnSurface MbContourOnPlane представляют собой составные кривые и могут иметь изломы в точках сочленения составляющих их сегментов.

О.4.2. Прямая линия MbLine3D

Класс MbLinet3D объявлен в файле cur_line_3d.h.

Прямая линия MbLine3D описывается начальной точкой MbCartPoint3D **origin** и вектором направления MbVector3D **direction**, рис. О.4.2.1.

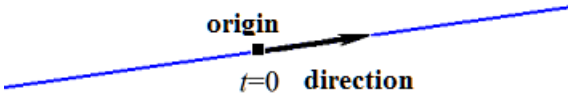


Рис. О.4.2.1.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор прямой **r** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{origin} + t\,\mathbf{direction}.$$

Прямая линия ведёт себя как бесконечный объект, хотя в своих данных имеет граничные значения параметра *tmin* и *tmax*. Заметим, что в отличие от других кривых в методах вычисления радиуса-вектора и его производных прямая не корректирует параметр *t* при его выходе за предельные значения *tmin* и *tmax*.

О.4.3. Отрезок прямой MbLineSegment3D

Класс MbLineSegment3D объявлен в файле cur_line_segment_3d.h.

Отрезок прямой MbLineSegment3D описывается начальной точкой MbCartPoint3D **point1** и конечной точкой MbCartPoint3D **point2**, рис. О.4.3.1.

Рис. О.4.3.1.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор отрезка **r** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = (1 - t)\,\mathbf{point1} + t\,\mathbf{point2}.$$

Область определения параметра отрезка располагается в пределах от нуля до единицы. Начальной точке отрезка **point1** соответствует параметр t_{min}=0, конечной точке отрезка **point2** соответствует параметр t_{max}=1.

О.4.4. Дуга эллипса MbArc3D

Класс MbArc3D объявлен в файле cur_arc_3d.h.

Дуга эллипса является наследником кривой MbCurve3D. Дуга эллипса MbArc3D описывается двумя радиусами *a* и *b* и двумя углами *trim*1 и *trim*2, заданными в локальной системе координат MbPlacement3D **position**.

Углы *trim*1 и *trim*2 отсчитываются по дуге в направлении движения от вектора **position.axisX** к вектору **position.axisY**. Углы *trim*1 и *trim*2 будем называть параметрами усечения. Значения параметров усечения, равные нулю и 2π, соответствуют точке на координатной оси **position.axisX**. Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: $0 \le t \le trim2 - trim1$. Кривая может быть периодической. У периодической кривой $trim2 - trim1 = 2\pi$.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{position.origin} + a\cos(trim1+t)\,\mathbf{position.axisX} + b\sin(trim1+t)\,\mathbf{position.axisY}.$$

Дуга эллипса приведена на рис. О.4.4.1.

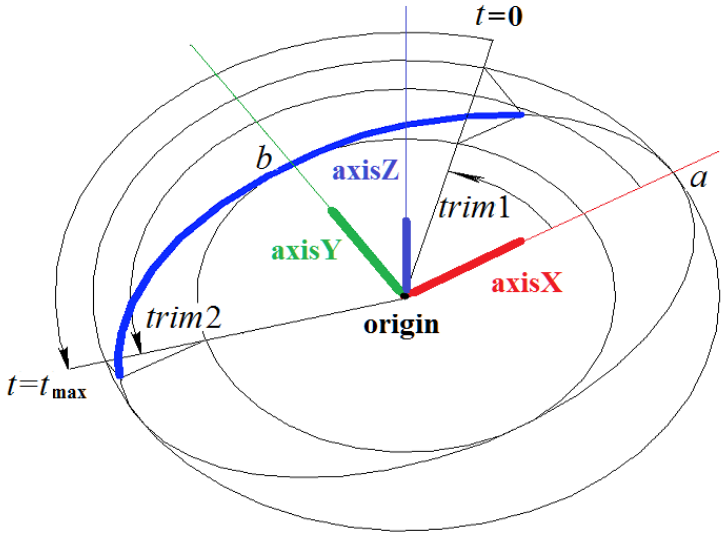


Рис. О.4.4.1.

Радиусы кривой должны быть больше нуля: $a>0$, $b>0$. Для параметров усечения должны соблюдаться неравенства: $trim1<trim2$.

Локальная система координат **position** может быть как правой, так и левой.

О.4.5. Ломаная линия MbPolyline3D

Класс MbPolyline3D объявлен в файле cur_polyline3d.h.

Ломаная является наследником кривой MbPolyCurve3D. Ломаная MbPolyline3D описывается количеством сегментов *segmentsCount*, множеством контрольных точек SArray<MbCartPoint3D>**pointList** и признаком периодичности кривой *closed*.

Кривая проходит через множество точек **pointList**[*i*], $i=0,...,segmentsCount$. при значениях параметра $t=0,...,segmentsCount$. Если *closed*=*true*, то кривая содержит сегмент, соединяющий последнюю точку множества **pointList**[*segmentsCount*-1] с начальной точкой **pointList**[0]. Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: $0 \le t \le segmentsCount$.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{pointList}[i]\,(1-w) + \mathbf{pointList}[i+1]\,w,$$

где $w = \frac{t - t_i}{t_{i+1} - t_i}$, а $t_i \le t \le t_{i+1}$. Ломаная является простейшей кривой, построенной по набору точек. Она состоит из отрезков, последовательно соединяющих контрольные точки.

Ломаная приведена на рис. О.4.5.1.

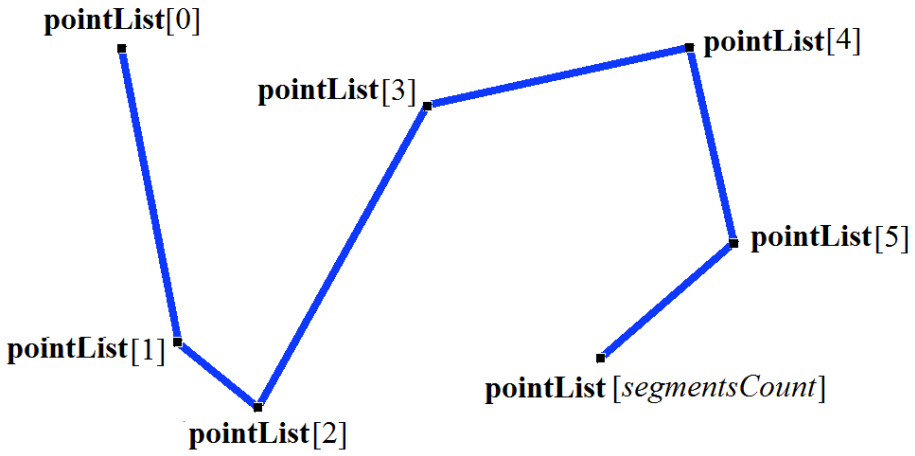


Рис. О.4.5.1.

Кривая может быть периодической. Период периодической кривой равен *segmentsCount*. Производные кривой в контрольных точках (при целочисленных значениях параметра) теряют непрерывность по длине и направлению. Производные кривой в контрольных точках имеют особое направление и длину. Ломаная обладает рядом полезных свойств: работа с ней требует минимум вычислений, проекция ломаной линии также будет ломаной линией.

О.4.6. NURBS-кривая MbNurbs3D

Класс MbNurbs3D объявлен в файле cur_nurbs3d.h.

NURBS-кривая получила название от первых букв сочетания слов NonUniform Rational B-Spline. Кривая является наследником кривой MbPolyCurve3D. Кривая описывается множеством контрольных точек SArray<MbCartPoint3D>**pointList**, множеством весов контрольных точек *weights*, узловым вектором *knots*, порядком сплайна *degree*, параметром формы кривой *form* и признаком периодичности кривой *closed*. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Кривая построена на основе B-сплайнов. Узловой вектор *knots* представляет собой неубывающую последовательность действительных чисел и определяет область определения параметра кривой и форму кривой. Параметр формы кривой *form* в общем случае принимает значение ncf_Unspecified, в частных случаях он хранит информацию об исходной кривой, с которой была получена NURBS-копия. Порядок *degree* NURBS-кривой равен порядку разделённых разностей, по которым вычисляются B-сплайны. Пусть узловой вектор содержит *knotsCount* элементов, а множество контрольных точек содержит *pointsCount* элементов. Для не периодической NURBS-кривой количества элементов в множествах связаны равенством *knotsCount=pointsCount+degree*. Для периодической NURBS-кривой количество элементов в множествах связаны равенством *knotsCount=pointsCount+2degree*–1.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = \frac{\sum_{j=0}^{pointsCount-1} N_j^{degree}(t)\, weight[j]\, \mathbf{pointList}[j]}{\sum_{j=0}^{pointsCount-1} N_j^{degree}(t)\, weight[j]},$$

где $N_j^{degree}(t)$ – B-сплайны порядка *degree* для *j*–ой контрольной точки **pointList**[*j*].

NURBS-кривая приведена на рис. О.4.6.1.

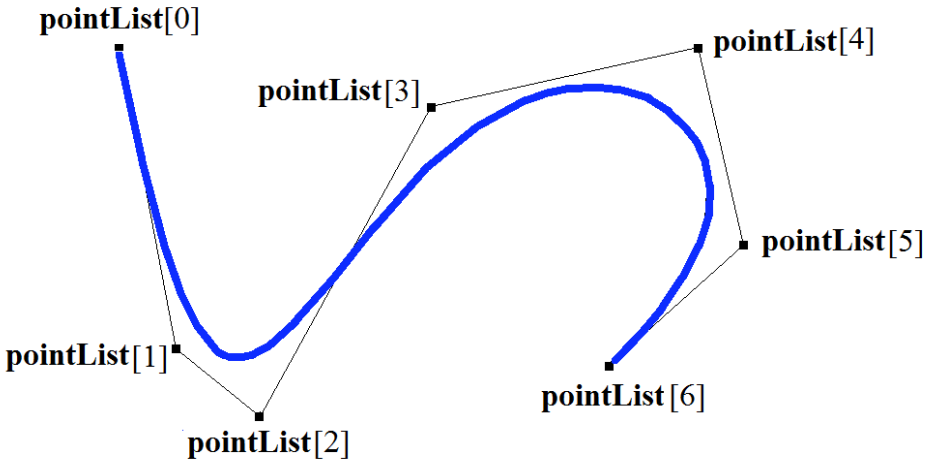


Рис. О.4.6.1.

Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: *tmin*≤*t*≤*tmax*, где *tmin*=*knots*[*degree*–1], *tmax*=*knots*[*knotsCount*–*degree*]. Кривая может быть периодической. Периодическая NURBS-кривая приведена на рис. О.4.6.2.

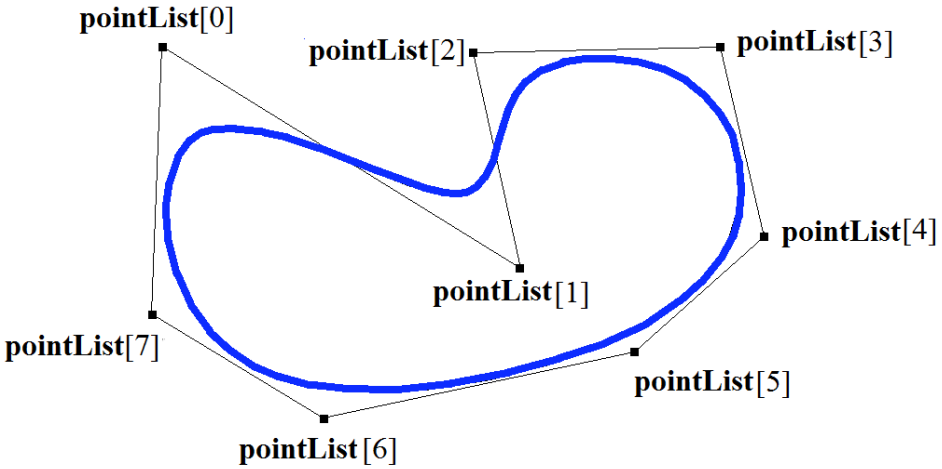


Рис. О.4.6.2.

Форма NURBS-кривой зависит от расположения контрольных точек, от веса контрольных точек и от значений узлового вектора. NURBS-кривая в общем случае не проходит через множество точек **pointList**[i], i=0,...,*pointsCount*–1. Чтобы незамкнутая NURBS-кривая проходила через крайние контрольные точки, требуется чтобы первые *degree* элементов и последние *degree* элементов узлового вектора *knots* совпадали. Чем больше вес контрольной точки, тем ближе к этой точке проходит кривая при прочих равных условиях.

Каждая кривая может построить свою NURBS-копию виртуальным методом **NurbsCurve**(const MbNurbsParameters & *tParameters*).

О.4.7. Кривая Эрмита MbHermit3D

Класс MbHermit3D объявлен в файле cur_hermit3d.h.

Кривая Эрмита является наследником кривой MbPolyCurve3D. Кривая описывается множеством контрольных точек SArray<MbCartPoint3D>**pointList**, множеством производных кривой в контрольных точках SArray<MbVector3D>**vectorList**, множеством значений параметра кривой в контрольных точках *tList*, количеством *splinesCount* кубических сплайнов Эрмита и признаком

периодичности кривой *closed*. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Кривая Эрмита при значении параметра *tList*[*i*], *i*=0,1,...,*splinesCount*, проходит через контрольную точку **pointList**[*i*] и имеет в ней производную **vectorList**[*i*]. Кривая построена на основе *splinesCount* сплайнов Эрмита третьей степени, которые гладко стыкуются между собой. Каждый кубический сплайн Эрмита описывает участок кривой между двумя соседними контрольными точками. Каждый кубический сплайн Эрмита определяется двумя крайними точками и двумя производными кривой в этих точках.

При вычислении радиуса-вектора точки кривой Эрмита сначала по значению параметра *t* кривой определяется номер *i* рабочего участка (номер кубического сплайна Эрмита), из условия *tList*[*i*]≤*t*≤*tList*[*i*+1]. Радиус-вектор кривой вычисляется как радиус-вектор найденного участка для его локального параметра *w,* который определяется по *tList*[*i*] и *tList*[*i*+1].

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией найденного участка для его локального параметра *w*:

$$r(t)=(1-3w^2+2w^3)\mathbf{pointList}[i]+(3w^2-2w^3)\mathbf{pointList}[i+1]+$$
$$+\left((w-2w^2+w^3)\mathbf{vectorList}[i]+(-w^2+w^3)\mathbf{vectorList}[i+1]\right)(tList[i+1]-tList[i]),$$

где $w=\dfrac{t-tList[i]}{tList[i+1]-tList[i]}$, а *tList*[*i*]≤*t*≤*tList*[*i*+1].

Кривая Эрмита приведена на рис. О.4.7.1.

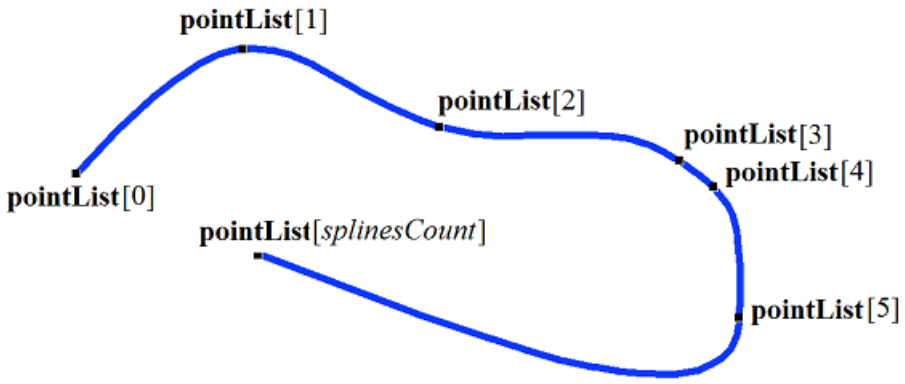


Рис. О.4.7.1.

Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: *tmin*≤*t*≤*tmax*, где *tmin*=*tList*[0], *tmax*=*tList*[*splinesCount*]. Кривая может быть периодической.

Форма кривой зависит от расположения контрольных точек, от производных кривой в контрольных точках и от множества *tList* значений параметра в контрольных точках. При построении кривой только по контрольным точкам значения параметра кривой в контрольных точках *tList*[*i*], *i*=0,1,...,*splinesCount*, изменяются пропорционально расстоянию между точками, а производные **vectorList**[*i*], *i*=1,2,...,*splinesCount*–1 вычисляются путём построения параболы, проходящей по трём соседним точкам **pointList**[*i*–1], **pointList**[*i*], **pointList**[*i*+1] при соответствующих значениях параметра *tList*[*i*–1], *tList*[*i*], *tList*[*i*+1], и вычисления производной параболы в средней точке.

О.4.8. Составная кривая Безье MbBezier3D

Класс MbBezier3D объявлен в файле cur_bezier3d.h.

Составная кривая Безье является наследником кривой MbPolyCurve3D. Кривая описывается множеством контрольных точек SArray<MbCartPoint3D>**pointList**, количеством *splinesCount* кривых Безье и признаком периодичности кривой *closed*. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Кривая построена на основе *splinesCount* кривых Безье третьей степени, которые гладко стыкуются между собой. Каждая кривая Безье определяется четырьмя контрольными точками и проходит только

через две крайние точки. Составная кривая используется для построения сплайна, проходящего через заданные точки. Заданные точки служат точками сочленения кривых Безье третьей степени. Пара внутренних контрольных точек каждой кривой Безье третьей степени определяется из условия гладкой стыковки кривой с соседними кривыми. Для составной кривой количество контрольных точек равно 3(*splinesCount*+1). У непериодической составной кривой первая **pointList**[0] и последняя контрольные точки не используются.

На каждой кривой Безье третьей степени параметр составной кривой увеличивается на единицу. При вычислении радиуса-вектора точки составной кривой сначала по значению параметра *t* кривой определяется номер рабочего участка (номер кривой Безье третьей степени), который равен максимальному целому числу, не превосходящему *t*. Пусть номер кривой Безье третьей степени равен *n*. Далее определяется дробная часть параметра *w*=*t*–*n*. Радиус-вектор составной кривой вычисляется как радиус-вектор найденного участка для его локального параметра *w*.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией найденного участка для его локального параметра *w*:

$$\mathbf{r}(t) = \sum_{j=0}^{3} \frac{3!}{j!(3-j)!} w^j (1-w)^{3-j} \mathbf{pointList}[3n+j],$$

где $w=t-n$, $n \le t \le n+1$, $0 \le w \le 1$, $B_j^3(w) = \frac{3!}{j!(3-j)!} w^j (1-w)^{3-j}$ – функции Бернштейна третьей степени для *j*–ой, *j*=0,1,2,3, контрольной точки **pointList**[3*n*+*j*] найденного участка с номером *n*.

Составная кривая Безье приведена на рис. О.4.8.1.

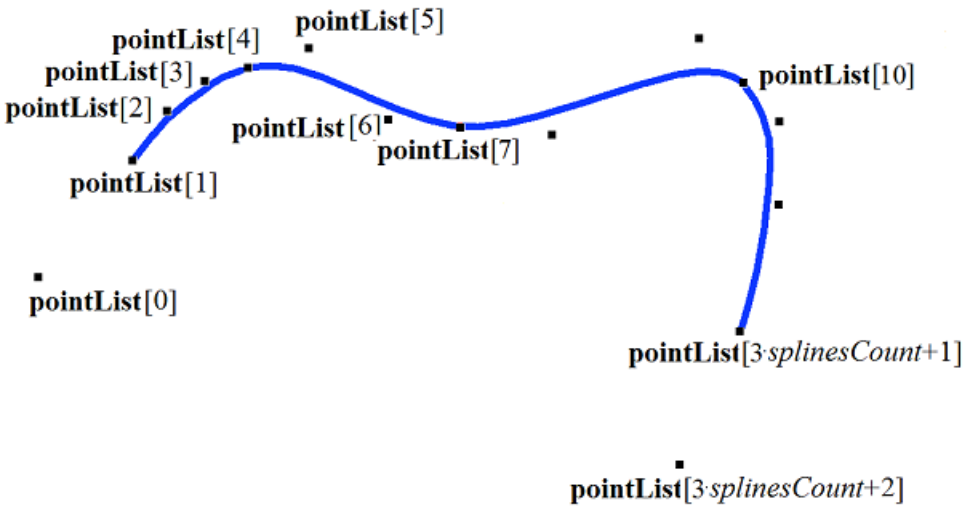


Рис. О.4.8.1.

Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: 0≤*t*≤*splinesCount*. Кривая может быть периодической. Период периодической кривой равен *splinesCount*.

При целочисленных значениях параметра кривая проходит через контрольные точки, например, при параметре *t*=*n* кривая пройдёт через контрольную точку **pointList**[3*n*], *n*=0,1,...,*splinesCount*. Производные кривой в точках сочленения кривых Безье третьей степени (при целочисленных значениях параметра) теряют непрерывность по длине.

О.4.9. Кубический сплайн MbCubicSpline3D

Класс MbCubicSpline3D объявлен в файле cur_cubic_spline3d.h.

Кубический сплайн является наследником кривой MbPolyCurve3D. Кривая описывается множеством контрольных точек SArray<MbCartPoint3D>**pointList**, множеством вторых производных кривой в контрольных точках SArray<MbVector3D>**vectorList**, множеством значений параметра кривой в контрольных точках *tList*, максимальным значением индекса множества параметров

splinesCount и признаком периодичности кривой *closed*. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Кубический сплайн при значении параметра *tList*[*i*], *i*=0,1,...,*splinesCount*, проходит через контрольную точку **pointList**[*i*] и имеет в ней вторую производную **vectorList**[*i*]. Кривая построена так, что при переходе из точки **pointList**[*i*] в точку **pointList**[*i*+1] вторая производная радиуса вектора кривой изменяется линейно от **vectorList**[*i*] до **vectorList**[*i*+1].

При вычислении радиуса-вектора точки составной кривой сначала по значению параметра *t* кривой определяется номер *i* рабочего участка, из условия *tList*[*i*]≤*t*≤*tList*[*i*+1]. Радиус-вектор кривой вычисляется по значениям **pointList**[*i*], **pointList**[*i*+1], **vectorList**[*i*], **vectorList**[*i*+1] найденного участка для локального параметра *w*, который определяется по *tList*[*i*] и *tList*[*i*+1].

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = (1-w)\mathbf{pointList}[i] + w\mathbf{pointList}[i+1] +$$
$$+\left((-2w+3w^2-w^3)\mathbf{vectorList}[i] + (-w+w^3)\mathbf{vectorList}[i+1]\right)\frac{(tList[i+1]-tList[i])^2}{6},$$

где $w = \dfrac{t - tList[i]}{tList[i+1] - tList[i]}$, а *tList*[*i*]≤*t*≤*tList*[*i*+1].

Кубический сплайн, построенный по тем же контрольным точкам, что и составная кривая Эрмита, приведён на рис. О.4.9.1.

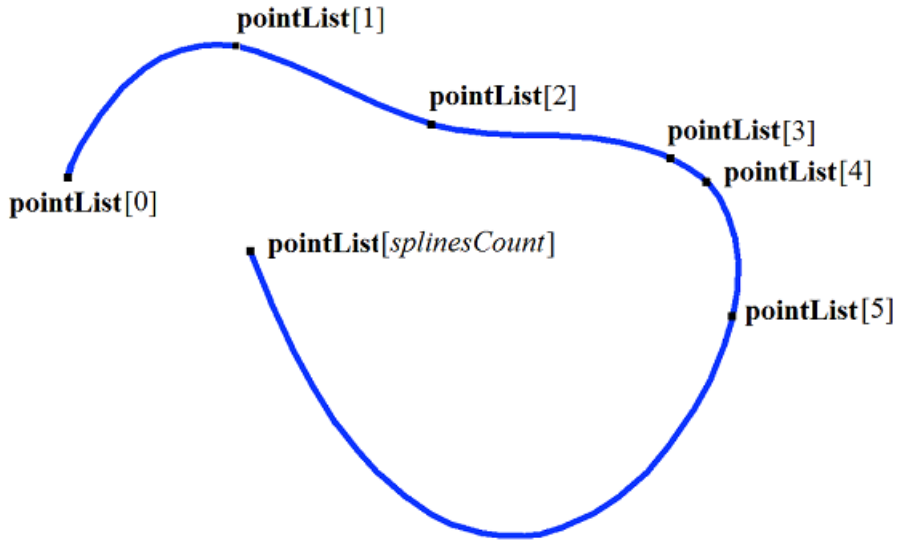


Рис. О.4.9.1.

Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: *tmin*≤*t*≤*tmax*, где *tmin*=*tList*[0], *tmax*=*tList*[*splinesCount*]. Кривая может быть периодической.

Форма кривой зависит от расположения контрольных точек и от множества *tList* значений параметра в контрольных точках. При построении кривой только по контрольным точкам значения параметра кривой в контрольных точках *tList*[*i*], *i*=0,1,...,*splinesCount*, изменяются пропорционально расстоянию между точками, а вторые производные **vectorList**[*i*], *i*=1,2,...,*splinesCount*–1 вычисляются путём решение системы уравнений.

О.4.10. Усечённая кривая MbTrimmedCurve3D

Класс MbTrimmedCurve3D объявлен в файле cur_trimmed_curve3d.h.

Усечённая кривая описывается базовой кривой MbCurve3D* **basisCurve**, начальным параметром усечения базовой кривой *trim*1, конечным параметром усечения базовой кривой *trim*2 и признаком совпадения направлений базовой кривой и усечённой кривой *sense*.

Усечённая кривая совпадает с базовой кривой на участке, определённом параметрами *trim*1 и *trim*2, но может иметь противоположное с ним направление. Если *sense*=1, то *trim*1<*trim*2 и усечённая кривая совпадает по направлению с базовой кривой. Если *sense*=–1, то *trim*2<*trim*1 и усечённая кривая направлена против базовой кривой.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{basisCurve}(trim1+sense\cdot t).$$

Усеченная кривая приведена на рис. О.4.10.1.

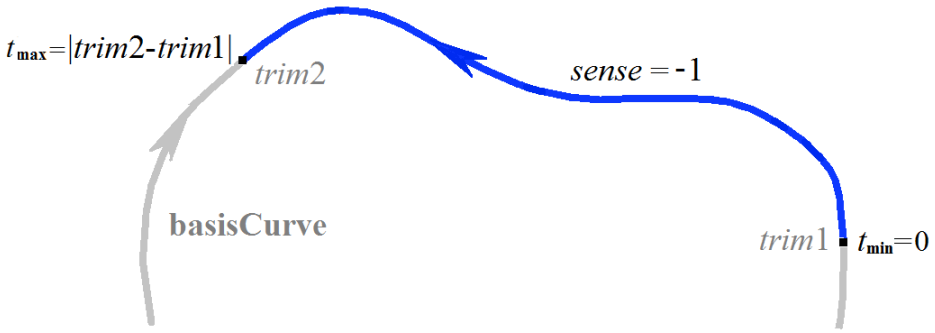


Рис. О.4.10.1.

Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: $0 \le t \le sense(trim2 - trim1)$.

Усечённая кривая теоретически может применяться для изменения направления кривой, но лучше пользоваться методом **Inverse**().

Усечённая кривая может применяться для изменения положения начальной точки периодической кривой. Для этого базовая кривая должна быть периодической и *trim*2=*trim*1+*period*. В этом случае усечённая кривая так же будет периодической.

В качестве базовой кривой для усеченной кривой не должна использоваться другая усеченная кривая, а должна использоваться базовая кривая последней с соответствующим пересчетом параметров усечения.

Каждая кривая может построить свою усеченную копию виртуальным методом **Trimmed**(double *t*1, double *t*2, int *sense*).

О.4.11. Репараметризованная кривая MbReparamCurve3D

Класс MbReparamCurve3D объявлен в файле cur_reparam_curve3d.h.

Репараметризованная кривая описывается базовой кривой MbCurve3D* **basisCurve**, начальным параметром *tmin*, конечным параметром *tmin* и производной *dt* параметра базовой кривой по параметру репараметризованной кривой.

Репараметризованная кривая полностью совпадает с базовой кривой, но имеет другую область изменения параметра.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{basisCurve}(v(t)),$$

где $v(t) = bmin\dfrac{trim2 - t}{trim2 - trim1} + bmax\dfrac{t - trim1}{trim2 - trim1}$, *bmin*, *bmax* – граничные значения области определения параметра базовой кривой.

Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: $tmin \le t \le tmax$.

Репараметризованная кривая совпадает с базовой кривой, но имеет другую область определения параметра. Кривая с измененной длиной параметра применяется для согласования областей изменения параметра двух кривых. Например, если требуется, чтобы отрезок и дуга имели

одинаковые области изменения параметра, то на базе одной из указанных кривых создаётся репараметризованная кривая с областью изменения параметра, взятой у другой кривой.

В качестве базовой кривой для репараметризованной кривой не должна использоваться другая репараметризованная кривая, а должна использоваться базовая кривая последней.

О.4.12. Эквидистантная кривая MbOffsetCurve3D

Класс MbOffsetCurve3D объявлен в файле cur_offset_curve3d.h.

Эквидистантная кривая описывается базовой кривой MbCurve3D* **basisCurve** и вектором смещения MbVector3D **offset**. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Базовая кривая **basisCurve**, представляет собой объект MbSpine, который для кривой строит перемещающуюся по ней локальную систему координат, первая координатная ось которой направлена по касательной к кривой. Вектор смещения **offset** определяет смещение начальной точки базовой кривой в начальную точку эквидистантной кривой. Вектор смещения **offset** ортогонален касательному вектору базовой кривой в начальной точке. В движущейся локальной системе координат смещение всех точек базовой кривой в соответствующую точку эквидистантной кривой равно вектору смещения и ортогонально касательному вектору базовой кривой в текущей точке.

Вычисление радиуса-вектора точки эквидистантной кривой выполняется следующим образом. Для заданного параметра базовой кривой вычисляется точка на направляющей кривой и локальная система координат с началом в этой точке и первой координатной осью, направленной по касательной к кривой в этой точке. Далее вычисляется матрица поворота локальной системы координат при её перемещении из начальной точки базовой кривой в заданную точку. По матрице поворота трансформируется копия вектора смещения и на вычисленный вектор смещается вычисленная точка базовой кривой.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{basisCurve}(t) + \mathbf{offset} \cdot \mathbf{A}(t),$$

где $\mathbf{A}(t)$ – матрица поворота локальной системы координат при её перемещении из начальной точки базовой кривой в заданную точку.

Эквидистантная кривая к конической спирали приведена на рис. О.4.12.1.

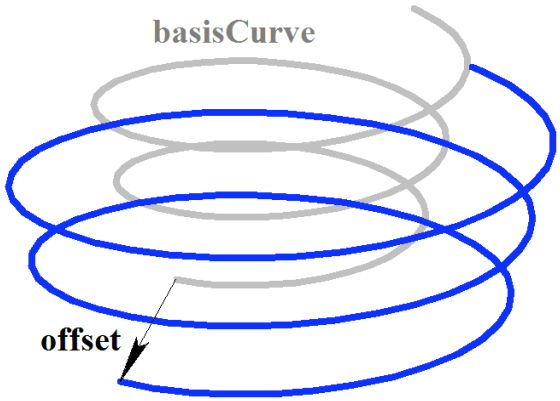


Рис. О.4.12.1.

Область изменения параметра эквидистантной кривой совпадает с областью изменения параметра базовой кривой.

В качестве базовой кривой для эквидистантной кривой не должна использоваться другая эквидистантная кривая, а должна использоваться направляющая кривая последней с соответствующим пересчетом вектора смещения.

О.4.13. Символьная кривая MbCharacterCurve3D

Класс MbCharacterCurve3D объявлен в файле cur_character_curve3d.h.

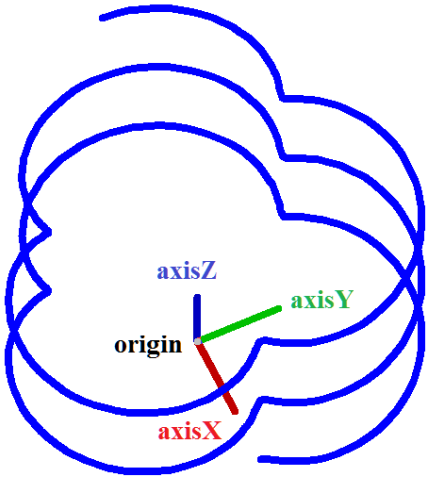
Символьная кривая описывается координатными функциями *xFunction*, *yFunction*, *zFunction*, локальной системой координат MbPlacement3D **position** функций, матрицей трансформации **transform**, граничными значениями области определения параметра кривой *tmin* и *tmax*, признаком периодичности кривой *closed* и типом системы координат (декартова, цилиндрическая, сферическая) *coordinateType*, в которой заданы координатные функции. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Координатные функции *xFunction*(*t*), *yFunction*(*t*), *zFunction*(*t*) символьной кривой представляют собой скалярные функции общего параметра *t* и заданы в виде символьных выражений. Для каждого символьного выражения выполнен лексический анализ и построено дерево, которое вычисляет значение символьного выражения для заданного параметра и производные символьного выражения по параметру. Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: $tmin \le t \le tmax$.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = [xFunction(t) \quad yFunction(t) \quad zFunction(t)].$$

Символьная кривая приведена на рис. О.4.13.1.



xFunction(*t*)=100*cos(*t*)-20*cos(4**t*)

yFunction(*t*)=100*sin(*t*)-20*sin(4**t*)

zFunction(*t*)=*t*10

Рис. О.4.13.1.

Кривая может быть периодической. Символьные выражения на области определения кривой должны описывать непрерывные конечные и однозначные функции.

Синтаксический анализатор входных выражений распознает базовые математические операции с учетом приоритетов и скобок: сложение (+), вычитание (-), умножение (*), деление (/), возведение в степень (^), а также унарный минус (-). Операции осуществляются над переменными, константами и функциями.

Синтаксический анализатор распознает имена основных математических функций, которые приведены в таблице О.4.13.1.

Таблица О.4.13.1. Математические функции, применяемые в символьных выражениях.

Имя функции	**Описание**
sin	синус
cos	косинус
tan	тангенс
sind	синус, входной аргумент задается в градусах
cosd	косинус, входной аргумент задается в градусах

tand	тангенс, входной аргумент задается в градусах
asin	арксинус
acos	арккосинус
atan	арктангенс
asind	арксинус, значение выходного параметра в градусах
acosd	арккосинус, значение выходного параметра в градусах
atand	арктангенс, значение выходного параметра в градусах
sqrt	квадратный корень
exp	экспонента
ln	натуральный логарифм
lg	десятичный логарифм
deg	функция конвертации радиан в градусы
rad	функция конвертации градусов в радианы
abs	модуль

Неименованные константы (числа) могут быть заданы как числа с плавающей точкой (строка из цифр, разделенных точкой), либо в формате целого числа.

В символьных выражениях возможно использование именованных констант, приведенных в таблице О.4.13.2.

Таблица О.4.13.2. Именованные константы.

Имя константы	**Описание**
M_PI	π – отношение длины окружности к ее диаметру
M_PI_2	$\pi / 2$
M_PI_4	$\pi / 4$
M_SQRT2	$\sqrt{2}$
M_E	e – экспонента
M_FI	φ – число золотого сечения
M_RADDEG	$180 / \pi$ – коэффициент перевода радиан в градусы
M_DEGRAD	$\pi / 180$ – коэффициент перевода градусов в радианы

Именем переменной аналитического выражения может являться последовательность строковых и числовых литералов (первый символ – литерал строкового типа), которая не совпадает с именами функций и именами констант.

Ограничения при создании символьной кривой:

- максимальная длина переменной – 512 символов;
- максимальная длина выражения – 2048 символов;
- отсутствие операций интегрирования, дифференцирования, вычисления пределов функций;
- отсутствие возможности упрощения математических выражений (например, сокращения дробей).

Ввиду имеющихся ограничений, верное вычисление значения аналитического выражения может быть получено для относительно простых математических выражений и функций. Например, значение отношения $sin(x)/x$ в нуле может быть вычислено неверно.

Ниже приведен пример кода, демонстрирующего возможность создания символьной трехмерной кривой. Построенная символьная кривая приведена на рисунке О.4.13.1.

```
MbCharacterCurve3D * CreateAnalyticalCurve3D() {
  MbCharacterCurve3D * curve( nullptr );
  // Строковые представления заданных координатных функций.
  string_t xFunction = _T( "100*cos(t)-20*cos(4*t)" );
  string_t yFunction = _T( "100*sin(t)-20*sin(4*t)" );
  string_t zFunction = _T( "t*10" );
  string_t argument  = _T( "t" );
  double t1 = 0.0, t2 = 5.0 * M_PI;
  // Создание аналитических координатных функций с помощью фабрики функций.
  MbFunctionFactory factory;
  SPtr<MbFunction> x( factory.CreateAnalyticalFunction(xFunction, argument, t1, t2, true) );
  SPtr<MbFunction> y( factory.CreateAnalyticalFunction(yFunction, argument, t1, t2, true) );
  SPtr<MbFunction> z( factory.CreateAnalyticalFunction(zFunction, argument, t1, t2, true) );
  if ( x != nullptr && y != nullptr && z != nullptr ) {
    MbCartPoint3D point( 0.0, 0.0, 0.0 ); // Начало локальной системы координат.
    MbVector3D axisX( 1.0, 0.0, 0.0 ), axisY( 0.0, 1.0, 0.0 );
    MbPlacement3D place( point, axisX, axisY ); // Локальная система координта.
    MbeLocalSystemType3D cs = ls_CartesianSystem; // Тип локальной системы координат.
    // Создание символьной трехмерной кривой.
    curve = new MbCharacterCurve3D( *x, *y, *z, cs, place, t1, t2 );
  }
  return curve;
}
```

О.4.14. Коническая спираль MbConeSpiral

Класс MbConeSpiral объявлен в файле cur_cone_spiral.h.

Коническая спираль является наследником кривой MbSpiral. Спираль описывается локальной системой координат MbPlacement3D **position**, радиусом *radius*, тангенсом угла конусности *tgAlpha*, шагом спирали, делённым на 2π, *step_2pi* и двумя граничными параметрами спирали *tmin* и *tmax*. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Ось спирали совпадает с координатной осью **position.axisZ** локальной системы координат. Параметр *tgAlpha* равен тангенсу угла между осью спирали и образующей конуса спирали. Параметры *tmin* и *tmax* являются углами и отсчитываются от вектора **position.axisX** к вектору **position.axisY**. Значения углов, кратные 2π, соответствуют точке кривой в плоскости XZ локальной системы координат. Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: $tmin \le t \le tmax$.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{position.origin} + (radius + t\ tgAlpha\ step\_2pi)(\cos(t)\ \mathbf{position.axisX} + \sin(t)\ \mathbf{position.axisY}) + ((t\ step\_2pi)\ \mathbf{position.axisZ}).$$

Коническая спираль приведена на рис. О.4.14.1.

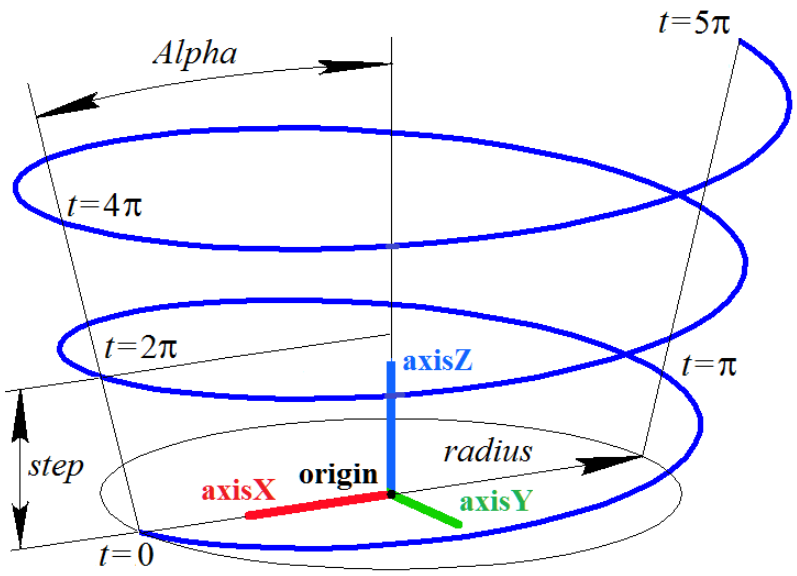


Рис. О.4.14.1.

Радиус кривой должен быть больше нуля: *radius*>0. Для граничных параметров должны соблюдаться неравенства: *tmin*<*tmax*. Кривая не может быть периодической.

Локальная система координат **position** может быть как правой, так и левой. Для цилиндрической спирали *tgAlpha*=0.

О.4.15. Спираль переменного радиуса MbCurveSpiral

Класс MbCurveSpiral объявлен в файле cur_curve_spiral.h.

Спираль переменного радиуса является наследником кривой MbSpiral. Спираль описывается локальной системой координат MbPlacement3D **position**, двумерной кривой ***curve***, задающей закон изменения радиуса, шагом спирали *step,* двумя граничными параметрами спирали *tmin* и *tmax*. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Ось спирали совпадает с координатной осью **position.axisZ** локальной системы координат. Двумерная кривая ***curve*** располагается в плоскости XZ локальной системы координат и определяет закон изменения радиуса спирали. Ось **position.axisZ** служит осью абсцисс, а ось **position.axisX** служит осью ординат двумерного пространства кривой ***curve***. Начало двумерной системы координат кривой ***curve*** совпадает с началом локальной системы координат **position**. Радиус спирали равен ординате точек двумерной кривой ***curve***. Параметры *tmin* и *tmax* являются углами и отсчитываются от вектора **position.axisX** к вектору **position.axisY**. Значения углов, кратные 2π, соответствуют точке кривой в плоскости XZ локальной системы координат.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{position.origin} + radius(t)\,(\cos(t)\,\mathbf{position.axisX} + \sin(t)\,\mathbf{position.axisY}) + ((t \cdot step / 2\pi)\,\mathbf{position.axisZ}),$$

где *radius*(*t*) – локальный радиус. Локальный радиус *radius*(*t*) вычисляется следующим образом. По заданному параметру *t* определяем абсциссу *t*·*step*/2π искомой двумерной точки кривой. Далее определяем точку пересечения кривой ***curve*** и вертикальной прямой, пересекающей ось абсцисс в точке *t*·*step*/2π. Ордината двумерной точки пересечения ***curve*** и вертикальной прямой равна искомому радиусу спирали *radius*(*t*). Локальный радиус равен расстоянию от локальной оси абсцисс до точки пересечения вертикальной прямой с кривой ***curve*** в двумерном пространстве плоскости XZ локальной системы координат **position**.

Спираль переменного радиуса приведена на рис. О.4.15.1.

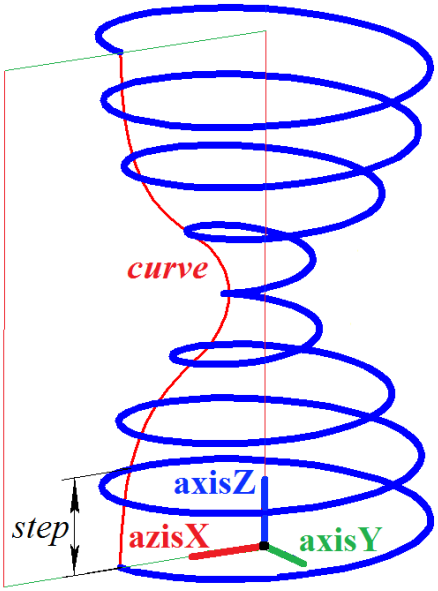


Рис. О.4.15.1.

Кривая ***curve*** должна располагаться выше оси абсцисс и не должна пересекать ось абсцисс своей двумерной системы координат. Кривая ***curve*** не должна иметь вертикальных касательных. Для граничных параметров должны соблюдаться неравенства: *tmin*<*tmax*. Кривая не может быть периодической.

Локальная система координат **position** может быть как правой, так и левой.

О.4.16. Спираль с криволинейной плоской осью MbCrookedSpiral

Класс MbCrookedSpiral объявлен в файле cur_crooked_spiral.h.

Спираль с криволинейной плоской осью является наследником кривой MbSpiral. Спираль описывается локальной системой координат MbPlacement3D **position**, двумерной кривой MbCurve* ***curve***, определяющей ось спирали, радиусом спирали *radius*, шагом спирали *step,* двумя граничными параметрами спирали *tmin* и *tmax*. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Двумерная кривая ***curve*** располагается в плоскости XZ локальной системы координат **position** и определяет ось спирали. Ось **position.axisZ** служит осью абсцисс, а ось **position.axisX** служит осью ординат двумерного пространства кривой ***curve***. Начало двумерной системы координат кривой ***curve*** совпадает с началом локальной системы координат **position**. Радиус спирали постоянен. Параметры *tmin* и *tmax* являются углами и отсчитываются от вектора **position.axisX** к вектору **position.axisY**. Значения углов, кратные 2π, соответствуют точке кривой в плоскости XZ локальной системы координат.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией

$$\begin{gathered}\mathbf{r}(t) = \mathbf{position.origin} + \\ ((\boldsymbol{point}.y + radius\ \cos(t)\ \boldsymbol{normal}.y)\ \mathbf{position.axisX}) + \\ (radius\ \sin(t)\ \mathbf{position.axisY}) + \\ ((\boldsymbol{point}.x + radius\ cos(t)\ \boldsymbol{normal}.x)\ \mathbf{position.axisZ}),\end{gathered}$$

где ***point*** – точка двумерной кривой, которая вычисляется методом ***curve***–>**PointOn**(*t*,***point***), ***normal*** – нормаль двумерной кривой, которая вычисляется методом ***curve***–>**Normal**(*t*,***normal***).

Спираль переменного радиуса приведена на рис. О.4.16.1.

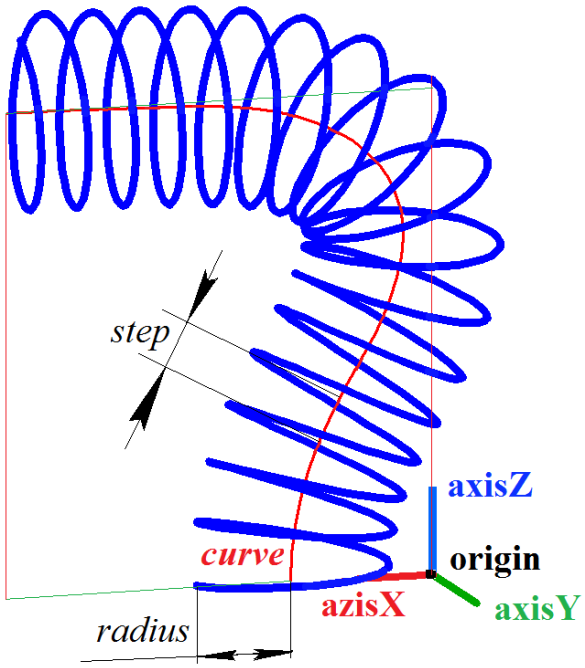


Рис. О.4.16.1.

Минимальный радиус кривизны кривой ***curve*** не должен быть меньше радиуса спирали. Для граничных параметров должны соблюдаться неравенства: *tmin*<*tmax*. Кривая не может быть периодической.

Локальная система координат **position** может быть как правой, так и левой.

О.4.17. Соединительная кривая MbBridgeCurve3D

Класс MbBridgeCurve3D объявлен в файле cur_bridge3d.h.

Соединительная кривая является наследником кривой MbCurve3D. Кривая описывается двумя кривыми MbCurve3D* **curve1** и MbCurve3D* **curve2**, параметрами точек этих кривых *param*1 и *param*2, признаками *sense*1 и *sense*2 совпадения направлений производных соединительной кривой и соединяемых кривых, двумя граничными параметрами соединительной кривой *tmin* и *tmax*. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Соединительная кривая служит для плавного соединения двух указанных точек кривых **curve1** и **curve2**. Точки кривых **curve1** и **curve2** заданы параметрами *param*1 и *param*2. Направление соединительной кривой в этих точках определяют параметры *sense*1 и *sense*2. Соединительная кривая представляет собой кубический сплайн Эрмита, построенный по двум крайним точкам и производным кривой в этих точках. Параметр кривой *t* принимает значения на отрезке: *tmin*≤*t*≤*tmax*.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = (1 - 3w^2 + 2w^3)\mathbf{point1} + (3w^2 + 2w^3)\mathbf{point2} +$$
$$+ \big((w - 2w^2 + w^3)\mathbf{derive1} + (-w^2 + w^3)\mathbf{derive2}\big)(tmax - tmin),$$

где $w = \dfrac{t - tmin}{tmax - tmin}$ – относительное значение параметра, **point1** – точка кривой **curve1**, которая вычисляется методом **curve1**–>**PointOn**(*param*1,**point1**), **point2** – точка кривой **curve2**, которая вычисляется методом **curve2**–>**PointOn**(*param*2,**point2**), **derive1** и **derive2** – производные соединительной кривой в крайних точках. Векторы **derive1** и **derive2** направлены параллельно производным соединяемых кривых. Длина векторов **derive1** и **derive2** равна расстоянию между крайними точками, делённому на *tmax*–*tmin*. Соединительная кривая приведена на рис. О.4.17.1.

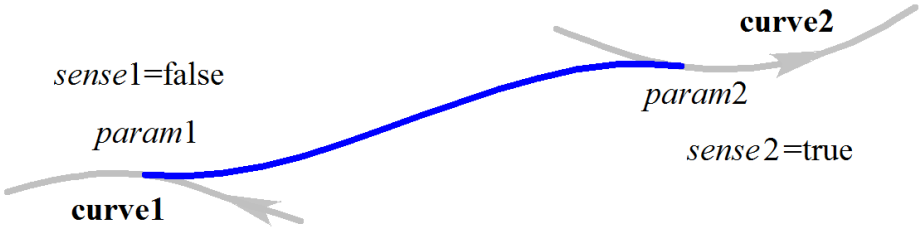


Рис. О.4.17.1.

Форма кривой зависит от расположения крайних точек и направлений соединяемых кривых в этих точках. Для граничных параметров должны соблюдаться неравенства: *tmin<tmax*. Кривая не может быть периодической.

О.4.18. Контур MbContour3D

Класс MbContour3D объявлен в файле cur_contour3d.h.

Контур MbContour3D описывается множеством RPArray<MbCurve3D>**segments** стыкующихся друз да другом кривых и признаком периодичности кривой *closed*.

Контур представляет собой составную кривую. В отличие от других кривых контур может иметь изломы. Кривые, образующие контур, будем называть сегментами. Для сегментов контура выполняются следующие условия: начало каждого последующего сегмента совпадает с концом предыдущего сегмента. Для периодического контура начало первого сегмента совпадает с концом последнего сегмента. В общем случае в местах стыковки сегментов производные контура терпят разрыв по длине и направлению.

Начальное значение параметра контура равно нулю: $t_{min}=0$. Параметрическая длина контура равна сумме параметрических длин составляющих его сегментов: $t_{max} = \sum \left(w_{i\,max} - w_{i\,min} \right)$, где w_{imin} и w_{imax} – минимальное и максимальное значение параметра *i*–го сегмента. При вычислении радиуса-вектора точки контура сначала по значению параметра определяется рабочий сегмент и значение его локального параметра, далее вычисляется радиус-вектор рабочего сегмента, который служит радиусом-вектором контура.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{segments}[k](w_k),$$

где **segments**[*k*](w_k) – рабочий сегмент контура с индексом *k*, w_k – параметр рабочего сегмента, равный: $w_k = w_{k\,min} + t - \sum_{i=0}^{k-1} \left(w_{i\,max} - w_{i\,min} \right)$.

Сегмент с индексом *k* определяется по значению параметра контура *t* из условия $\sum_{i=0}^{k-1} \left(w_{i\,max} - w_{i\,min} \right) \le t < \sum_{i=0}^{k} \left(w_{i\,max} - w_{i\,min} \right)$, где w_{imin} и w_{imax} – минимальное и максимальное значение параметра *i*–го сегмента. Контур приведён на рис. О.4.18.1.

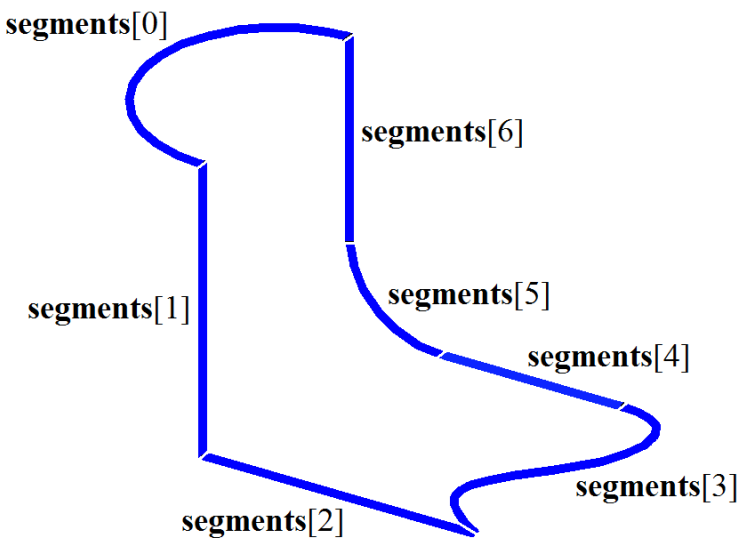


Рис. О.4.18.1.

В качестве сегментов контура не должны использоваться другие контуры. Если контур нужно построить на основе других контуров, то последние должны рассматриваться как совокупность составляющих их кривых, а не как единые кривые.

Контур MbContour3D представляет собой наиболее общий вид кривой.

О.4.19. Плоская кривая MbPlaneCurve

Класс MbPlaneCurve объявлен в файле cur_plane_curve.h.

Плоская кривая MbPlaneCurve описывается локальной системой координат MbPlacement3D **position** и двумерной кривой MbCurve* ***curve*** в плоскости XY локальной системы координат.

Плоская кривая представляет собой отображение кривой двумерного пространства плоскости XY локальной системы координат в трёхмерное пространство.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией

r(*t*) = **position.origin** + (***point***.*x* **position.axisX**) + (***point***.*y* **position.axisY**) ,

где ***point*** – точка двумерной кривой, которая вычисляется методом ***curve***–>**PointOn**(*t*,***point***).

Плоская кривая в составе двумерного эллипса и локальной системы координат приведена на рис. О.4.19.1.

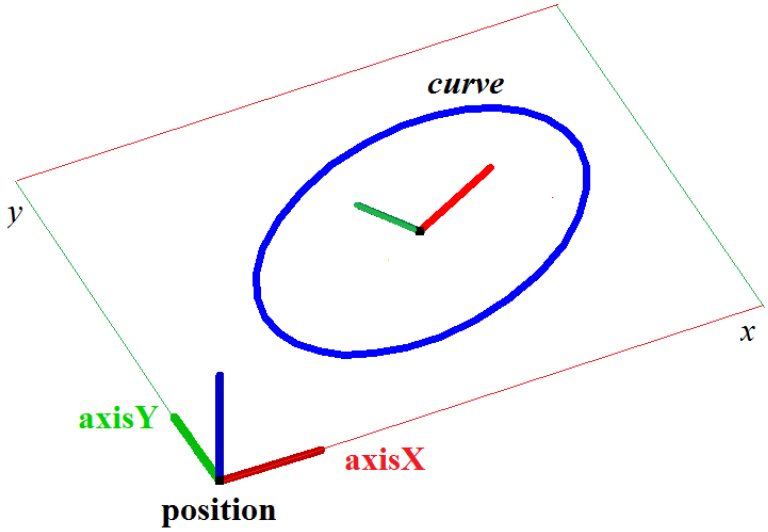


Рис. О.4.19.1.

Область определения параметров и периодичность плоской кривой совпадают с областью определения параметров и периодичностью двумерной кривой ***curve***.

О.4.20. Кривая на поверхности MbSurfaceCurve

Класс MbSurfaceCurve объявлен в файле cur_surface_curve.h.

Кривая на поверхности MbSurfaceCurve описывается поверхностью MbSurface* **surface**, двумерной кривой MbCurve* ***curve*** в пространстве параметров поверхности и признаком периодичности кривой *closed*. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Кривая на поверхности представляет собой отображение кривой двумерного пространства параметров поверхности в трёхмерное пространство. Двумерная кривая ***curve*** может располагаться за пределами области определения параметров поверхности. Область определения параметров кривой на поверхности совпадает с областью определения параметров двумерной кривой ***curve***.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{surface}(\ \boldsymbol{point}.x, \boldsymbol{point}.y\ ),$$

где ***point*** – точка двумерной кривой, которая вычисляется методом ***curve***–>**PointOn**(*t*,***point***). Координаты *x* и *y* двумерной точки ***point*** служат параметрами *u* и *v* поверхности **surface**(*u*,*v*). Кривая на поверхности построена путём введения зависимости параметров поверхности *u* и *v* от некоторого общего для них параметра *t*: *u*=*u*(*t*), *v*=*v*(*t*). Эту зависимость описывает двумерная кривая ***curve***.

Кривая на поверхности приведена на рис. О.4.20.1.

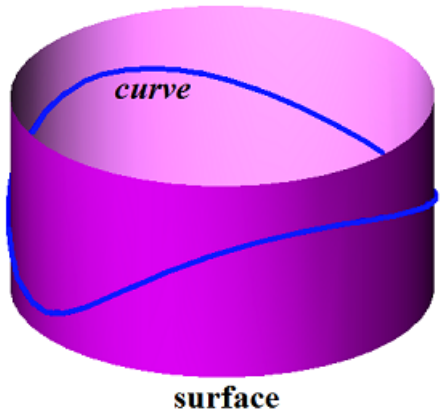


Рис. О.4.20.1.

Двумерная кривая в области определения параметров поверхности приведена на рис. О.4.20.2.

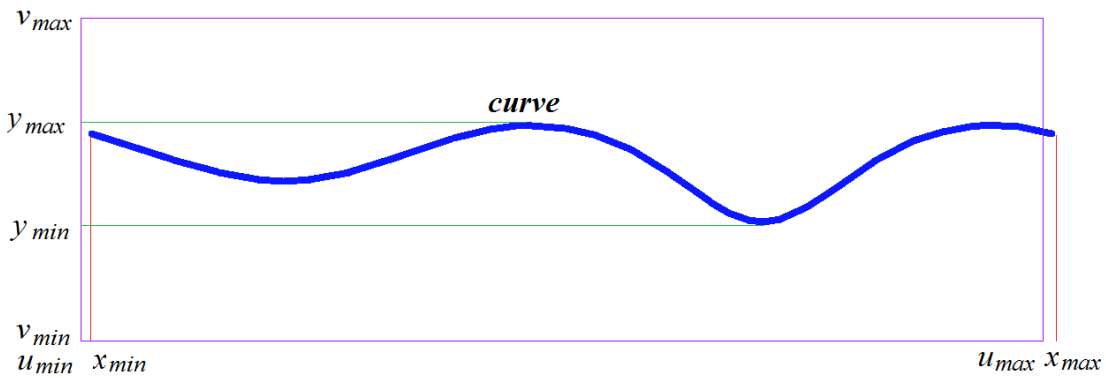


Рис. О.4.20.2.

Производная кривой на поверхности вычисляется как сложная функция

$$\frac{d\mathbf{r}(t)}{dt} = \frac{\partial \mathbf{surface}(u,v)}{\partial u}\,\boldsymbol{derive}.x + \frac{\partial \mathbf{surface}(u,v)}{\partial v}\,\boldsymbol{derive}.y\,,$$

где ***derive*** – производная двумерной кривой, которая вычисляется методом ***curve***–>**FirstDer**(*t*,***derive***). Производная кривой на поверхности лежит в касательной плоскости поверхности, построенной в рассматриваемой точке.

Кривая на поверхности может быть периодической, если периодической является двумерная кривая ***curve*** или если периодической является поверхность **surface**, а кривая ***curve*** имеет совпадающие производные на краях и крайние точки кривой смещены на соответствующий период периодической по первому или второму параметру поверхности **surface**.

Поверхностью **surface** кривой на поверхности может служить любая поверхность, кроме поверхности, ограниченной кривыми MbCurveBoundedSurface. Если требуется построить кривую на поверхности, ограниченной кривыми, то поверхностью будет служить базовая поверхность MbCurveBoundedSurface.

О.4.21. Силуэтная кривая MbSilhouetteCurve

Класс MbSilhouetteCurve объявлен в файле cur_silhouette_curve.h.

Силуэтная кривая поверхности MbSilhouetteCurve является наследником кривой на поверхности MbSurfaceCurve. Силуэтная кривая описывается поверхностью MbSurface* **surface**, двумерной кривой MbCurve* ***curve*** в пространстве параметров поверхности, признаком периодичности кривой *closed*, признаком перспективы *perspective*, вектором взгляда **eye** и типом кривой *species*. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Силуэтная кривая представляет собой кривую на поверхности **surface**, разделяющую видимую из точки наблюдения часть этой поверхности и невидимую из точки наблюдения часть этой поверхности. Если *perspective=true*, то точку наблюдения описывает вектор взгляда **eye**. Если *perspective=false*, то точка наблюдения находится на бесконечном расстоянии, а вектор взгляда **eye** описывает направление из точки наблюдения к поверхности. Нормаль поверхности **surface** на силуэтной кривой ортогональна прямой линии, соединяющей эту точку поверхности и точку наблюдения.

В частном случае, когда можно построить точную силуэтную кривую поверхности, тип кривой *species* принимает значение *cbt_Ordinary*. Например, для сферы силуэтной кривой служит окружность. В частном случае строится точная пространственная кривая **exactCurve**, которая точно описывает силуэт поверхности и используется для вычисления радиуса-вектора силуэтной кривой и его производных.

В общем случае тип кривой *species* принимает значение *cbt_Specific*, двумерная кривая ***curve*** является сплайном и аппроксимирует силуэт поверхности. В общем случае точка силуэтной кривой вычисляется итерационным методом, использующим двумерную кривую ***curve*** в качестве начального приближения.

Область определения параметров силуэтной кривой поверхности совпадает с областью определения параметров двумерной кривой ***curve***.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{surface}(\,u,\,v\,),$$

где *u*, *v* – координаты двумерной точки, начальное приближение которой вычисляется методом ***curve***–>**PointOn**(*t*,***point***), *u*=***point***.*x*, *v*=***point***.*y*. Далее параметры *u* и *v* уточняются итерационным методом, использующим уравнение

$$\mathbf{vector} \cdot \mathbf{n}(u,v) = 0,$$

где **n**(*u*,*v*) – нормаль поверхности, которая вычисляется методом **surface**–>**Normal**(*u*,*v*,**n**), **vector** – вектор взгляда (для бесконечно удалённой точки наблюдения **vector**=**eye**).

Силуэтная кривая поверхности тора приведена на рис. О.4.21.1.

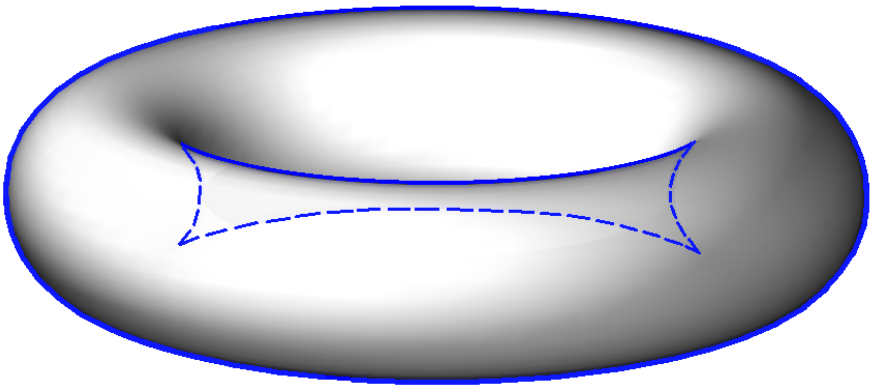


Рис. О.4.21.1.

Силуэтная кривая поверхности тора с другого направления приведена на рис. О.4.21.2.

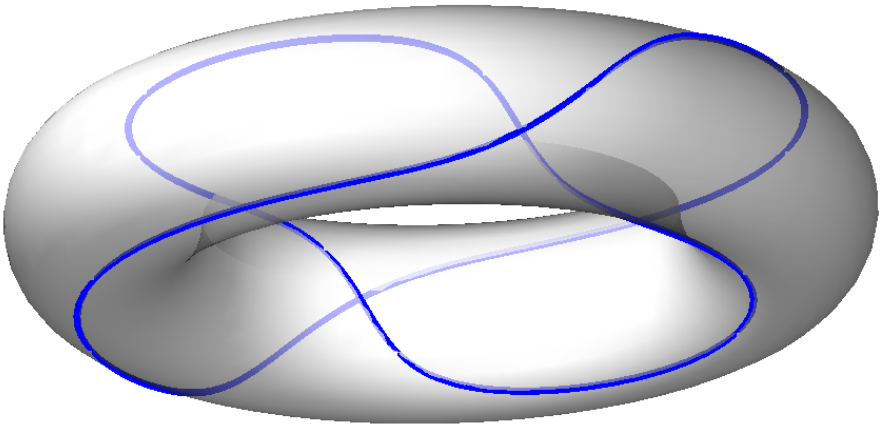


Рис. О.4.21.2.

При переходе через силуэтную кривую скалярное произведение вектора нормали поверхности и вектора взгляда меняет знак. Силуэтная кривая всегда или замкнута, или начинается и оканчивается на краях поверхности. Силуэтная кривая используется для построения проекций силуэта криволинейной поверхности на плоскость.

О.4.22. Контур на поверхности MbContourOnSurface

Класс MbContourOnSurface объявлен в файле cur_contour_on_surface.h.

Контур на поверхности MbContourOnSurface описывается поверхностью MbSurface* **surface** и двумерным контуром MbContour* ***contour*** в пространстве параметров поверхности. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Контур на поверхности представляет собой составную кривую, поэтому может иметь изломы в точках стыковки сегментов двумерного контура. Контур на поверхности представляет собой отображение контура двумерного пространства параметров поверхности в трёхмерное пространство. Двумерный контур ***contour*** может располагаться за пределами области определения параметров поверхности. Область определения параметров контура на поверхности совпадает с областью определения параметров двумерного контура ***contour***.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{surface}(\ \boldsymbol{point}.x, \boldsymbol{point}.y\ ),$$

где ***point*** – точка двумерного контура, которая вычисляется методом ***contour***–>**PointOn**(*t*,***point***). Координаты *x* и *y* двумерной точки ***point*** служат параметрами *u* и *v* поверхности **surface**(*u*,*v*). Контур на поверхности построен путём введения зависимости параметров поверхности *u* и *v* от некоторого общего для них параметра *t*: *u*=*u*(*t*), *v*=*v*(*t*). Эту зависимость описывает двумерный контур ***contour***. Производная контура на поверхности вычисляется как сложная функция

$$\frac{d\mathbf{r}(t)}{dt} = \frac{\partial \mathbf{surface}(u,v)}{\partial u}\boldsymbol{derive}.x + \frac{\partial \mathbf{surface}(u,v)}{\partial v}\boldsymbol{derive}.y\,,$$

где ***derive*** – производная двумерного контура, которая вычисляется методом ***contour***–>**FirstDer**(*t*,***derive***). Производная контура на поверхности лежит в касательной плоскости поверхности, построенной в рассматриваемой точке.

Контур на поверхности приведен на рис. О.4.22.1.

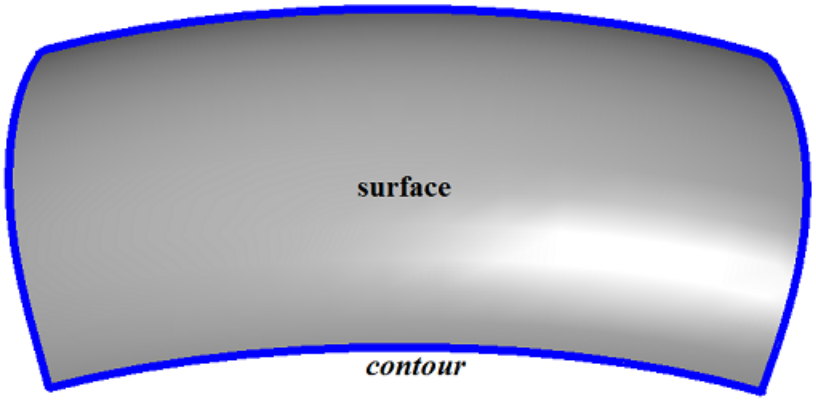


Рис. О.4.22.1.

Контур на поверхности может быть периодическим, если периодическим является двумерный контур ***contour*** или если периодической является поверхность **surface**, а крайние точки контура ***contour*** смещены на соответствующий период периодической по первому или второму параметру поверхности **surface**.

Периодический контур на поверхности обычно используется для описания границы этой поверхности.

Поверхностью **surface** контура на поверхности может служить любая поверхность, кроме поверхности, ограниченной кривыми MbCurveBoundedSurface. Если требуется построить контур на поверхности, ограниченной кривыми, то поверхностью будет служить базовая поверхность MbCurveBoundedSurface.

О.4.23. Контур на плоскости MbContourOnPlane

Класс MbContourOnPlane объявлен в файле cur_contour_on_plane.h.

Контур на плоскости MbContourOnPlane является наследником класса MbContourOnSurface. Контур на плоскости описывается плоскостью MbSurface* **surface** и двумерным контуром MbContour* ***contour*** в пространстве параметров плоскости. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Контур на плоскости представляет собой составную кривую, поэтому может иметь изломы в точках стыковки сегментов двумерного контура. Контур на плоскости представляет собой отображение контура двумерного пространства параметров плоскости в трёхмерное пространство. Двумерный контур ***contour*** может располагаться за пределами области определения параметров плоскости. Область определения параметров контура на плоскости совпадает с областью определения параметров двумерного контура ***contour***.

В методе **PointOn**(double & *t*, MbCartPoint3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией

r(*t*) = **position.origin** + (***point***.*x* **position.axisX**) + (***point***.*y* **position.axisY**) ,

где **position** – локальная система координат плоскости **surface**, ***point*** – точка двумерного контура, которая вычисляется методом ***contour***–>**PointOn**(*t*,***point***).

Контур на плоскости приведен на рис. О.4.23.1.

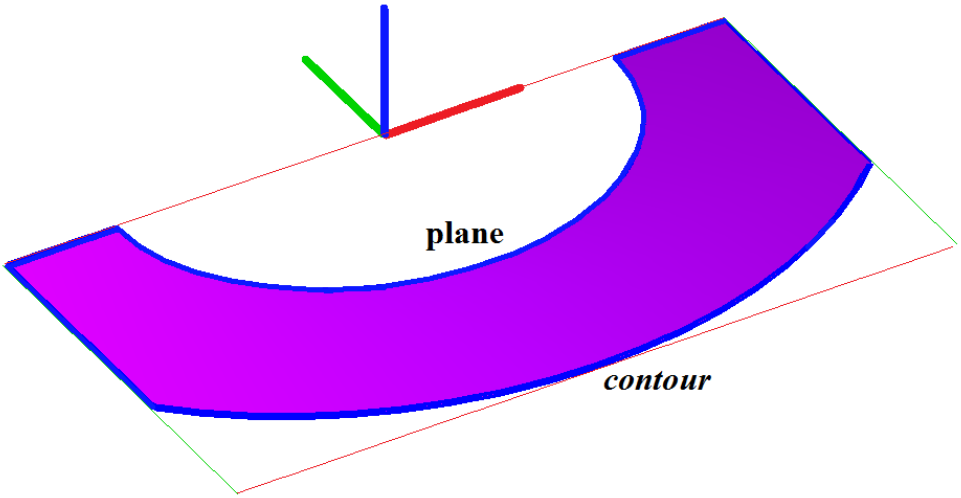


Рис. О.4.23.1.

Контур на плоскости может быть периодическим, если периодическим является двумерный контур ***contour*** или если периодической является плоскость **surface**, а крайние точки контура ***contour*** смещены на соответствующий период периодической по первому или второму параметру плоскости **surface**.

Периодический контур на плоскости обычно используется для описания границы этой плоскости.

Контур на плоскости аналогичен контуру на поверхности, но обладает более высокой скоростью вычислений.

О.4.24. Кривая пересечения поверхностей MbSurfaceIntersectionCurve

Класс MbSurfaceIntersectionCurve объявлен в файле cur_surface_intersection.h.

Кривая пересечения поверхностей MbSurfaceIntersectionCurve описывается двумя кривыми MbSurfaceCurve **curveOne** и MbSurfaceCurve **curveTwo** на пересекающихся поверхностях, параметром построения *buildType* и точностью *tolerance*. У кривой есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов кривой.

Кривые **curveOne**(*t*) и **curveTwo**(*t*) имеют одинаковые области определения параметра *t* и совпадают в пространстве с некоторой известной точностью. Параметр *buildType* кривой пересечения описывает тип кривой и несет информацию о способе вычисления радиуса-вектора точки кривой. Параметр *buildType* принимает значения: cbt_Specific, cbt_Ordinary, cbt_Boundary, cbt_Tolerant. На рис. О.4.24.1 приведены две поверхности и кривая их пересечения.

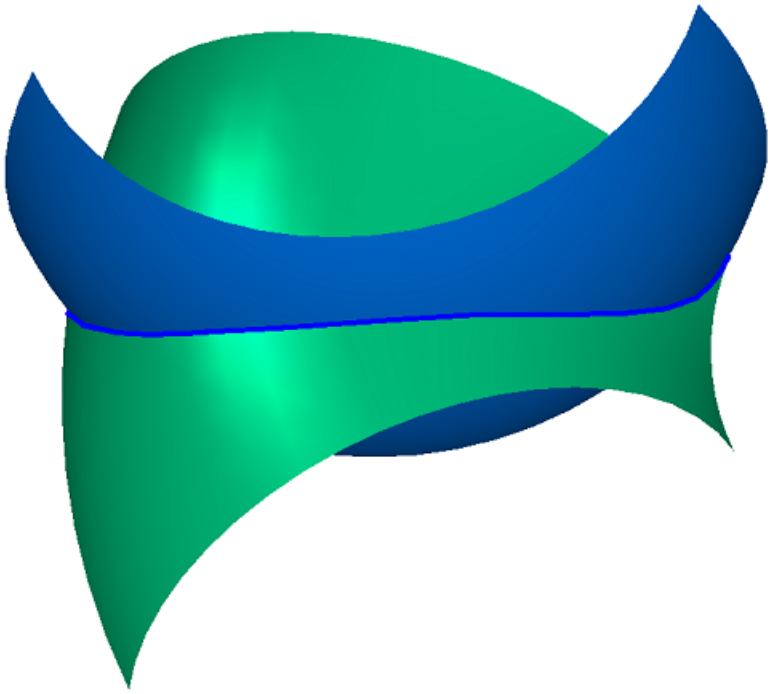


Рис. О.4.24.1.

На рис. О.4.24.2 и О.4.24.3 приведены кривые на поверхностях, из которых строится кривая пересечения.

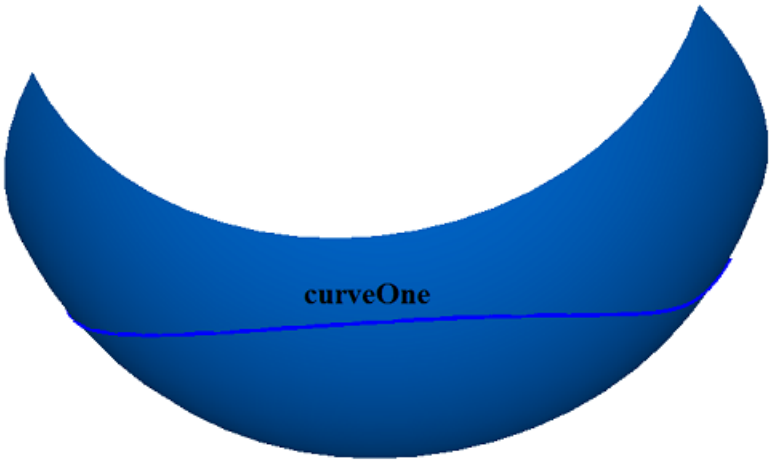


Рис. О.4.24.2.

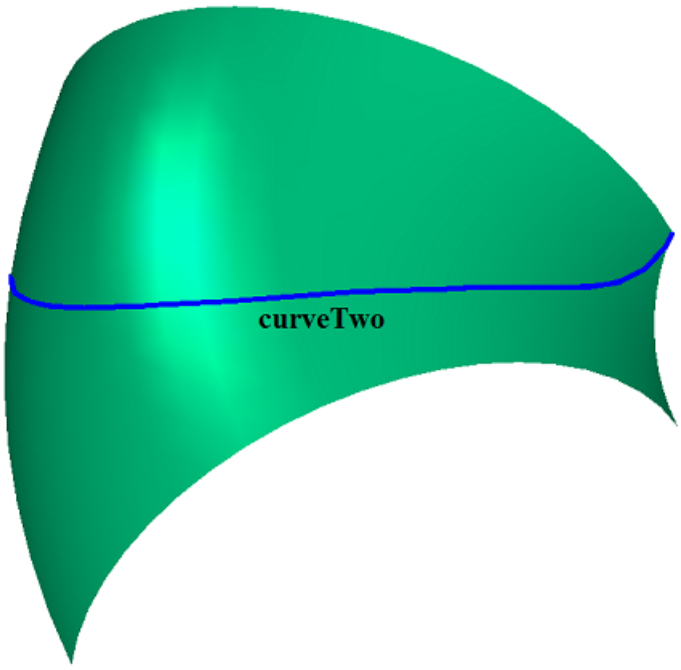


Рис. О.4.24.3.

В общем случае кривая пересечения имеет тип cbt_Specific, двумерные кривые **curveOne**.***curve*** и **curveTwo.*curve*** являются сплайнами и аппроксимируют пересечение поверхностей **curveOne.surface** и **curveTwo.surface**. Сплайны на поверхностях имеют согласованные контрольные точки. В контрольных точках сплайны на поверхностях **curveOne** и **curveTwo** совпадают и имеют одинаковые значения параметров. На участках между контрольными точками сплайнов кривая MbSurfaceIntersectionCurve также выдает точное значение радиуса-вектора точки. В общем случае точка кривой пересечения поверхностей вычисляется итерационным методом, использующим двумерные кривые **curveOne**.***curve*** и **curveTwo.*curve*** в качестве начального приближения.

В частных случаях кривая пересечения имеет типы cbt_Ordinary, cbt_Boundary, cbt_Tolerant, а точка кривой пересечения поверхностей вычисляется как среднее арифметическое радиусов-векторов кривых **curveOne**(*t*) и **curveTwo**(*t*).

Если *buildType*=cbt_Ordinary, то кривая MbSurfaceIntersectionCurve точно описывает пересечение поверхностей, а кривые **curveOne**(*t*) и **curveTwo**(*t*) совпадают в пространстве. Примером такой кривой может служить кривая пересечения плоскости и цилиндрической поверхности, ось которой ортогональна плоскости, рис. О.4.24.4.

buildType = cbt_Ordinary

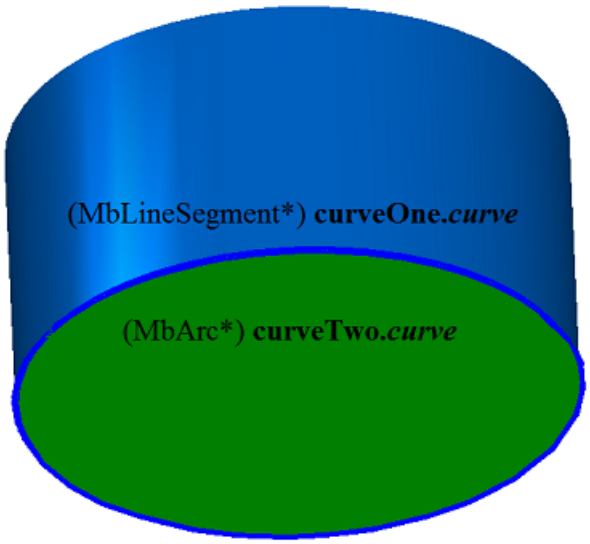


Рис. О.4.24.4.

На плоскости **curveOne.*curve*** является окружностью, а на цилиндрической поверхности **curveTwo.*curve*** является отрезком с параметрической длиной, равной параметрической длине двумерной кривой на плоскости. Равенство параметрических длин достигается построением, на базе отрезка репараметризованной кривой MbReparamCurve.

Если *buildType*=cbt_Boundary, то кривая MbSurfaceIntersectionCurve описывает край поверхности, рис. О.4.24.5.. Для такой кривой выполняются равенства **curveOne.*curve*=curveTwo.*curve*** и **curveOne.surface=curveTwo.surface**.

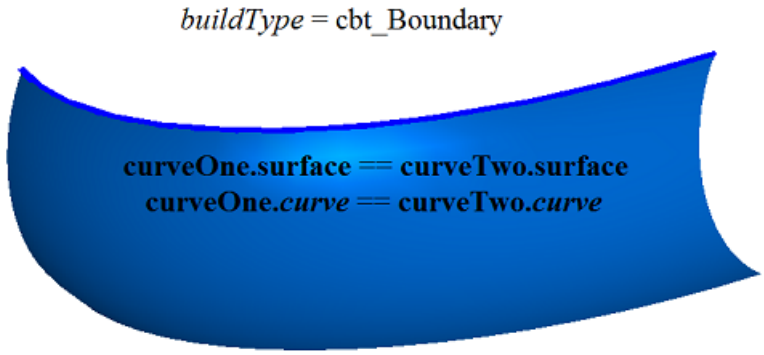


Рис. О.4.24.5.

Если *buildType*=cbt_Tolerant, то кривая MbSurfaceIntersectionCurve описывает пересечение поверхностей приближённо. Кривые **curveOne**(*t*) и **curveTwo**(*t*) совпадают в пространстве с точностью *tolerance*. Такие кривые строятся в тех случаях, когда другое построение невозможно, например, при необходимости пересечь две поверхности, касающиеся друг друга не точно, а с некоторым «шумом».

В методе **PointOn**(double & *t*, MbMatrix3D & **r**) радиус-вектор кривой **r** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(t) = 0.5\ (\ \mathbf{curveOne.surface}(u_1,v_1) + \mathbf{curveTwo.surface}(u_2,v_2)\ ),$$

где u_1, v_1 – координаты двумерной точки, начальное приближение которой вычисляется методом **curveOne.*curve*–>PointOn**(*t*,***point***1), u_1=***point***1.*x*, v_1=***point***1.*y*, u_2, v_2 – координаты двумерной точки, начальное приближение которой вычисляется методом **curveTwo.*curve*–>PointOn**(*t*,***point***2), u_2=***point***2.*x*, v_2=***point***2.*y*. Далее в общем случае (*buildType*=cbt_Specific) параметры u_1, v_1, u_2, v_2 уточняются итерационным методом, использующим уравнения

$$\mathbf{curveOne.surface}(u_1,v_1) = \mathbf{plane}(x,y),$$
$$\mathbf{curveTwo.surface}(u_2,v_2) = \mathbf{plane}(x,y),$$

где **plane** – плоскость, перпендикулярная отрезку, соединяющему две ближайшие контрольные точки кривой пересечения. Кривая пересечения в общем случае и контрольные точки, по которым построены кривые **curveOne** и **curveTwo**, приведены на рис. О.4.24.6.

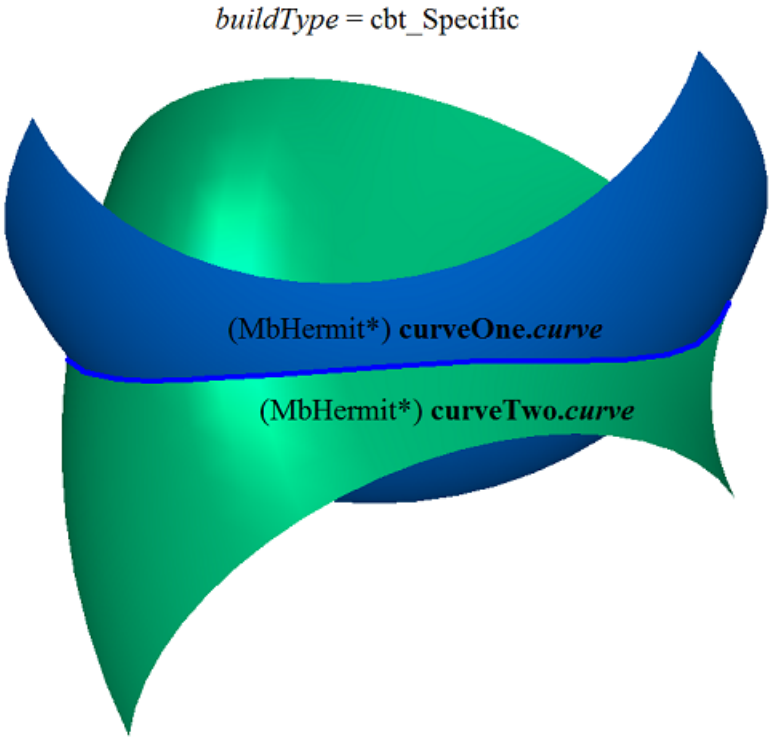


Рис. О.4.24.6.

Область определения параметра кривой пересечения совпадает с областью определения общего параметра кривых **curveOne** и **curveTwo**. Кривая пересечения поверхностей может быть периодической.

Кривая пересечения поверхностей среди своих данных содержит трёхмерную кривую **spaceCurve**, которая с точностью *tolerance* совпадает с кривой пересечения. Кривая **spaceCurve** используется для построения плоских проекций рёбер. Кривая **spaceCurve** является вспомогательным объектом и насчитывается только при необходимости.

О.5. ПОВЕРХНОСТИ

Поверхности являются представителями семейства трёхмерных геометрических объектов MbSpaceItem. Поверхности играют главную роль в построении геометрической модели. Поверхностями описывают гладкие участки геометрической формы моделируемых объектов. Поверхности строятся с помощью аналитических функций, по набору точек, на базе кривых и на базе поверхностей. Векторы, радиусы-векторы точек, матрицы в трехмерном пространстве будем обозначать буквами латинского алфавита, выделенными **полужирным** шрифтом.

О.5.1. Поверхность MbSurface

Класс MbSurface объявлен в файле surface.h.

Поверхность MbSurface является наследником класса MbSpaceItem, рис. О.5.1.1.

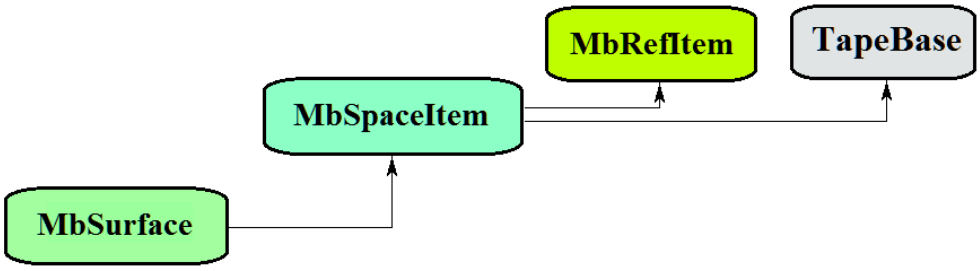


Рис. О.5.1.1.

Поверхность является абстрактным классом. В геометрическом ядре C3D реализованы следующие поверхности, которые являются наследниками класса MbSurface:

MbPlane – плоскость,
MbCylinderSurface – цилиндрическая поверхность,
MbConeSurface – коническая поверхность,
MbSphereSurface – сферическая поверхность,
MbTorusSurface – поверхность тора,
MbExtrusionSurface – поверхность выдавливания,
MbRevolutionSurface – поверхность вращения,
MbExpansionSurface – плоскопараллельная кинематическая поверхность,
MbSpiralSurface – спиральная поверхность,
MbEvolutionSurface – кинематическая поверхность,
MbExactionSurface – кинематическая поверхность с адаптацией,
MbSectorSurface – секториальная поверхность,
MbRuledSurface – линейчатая поверхность,
MbLoftedSurface – поверхность на семействе кривых,
MbElevationSurface – поверхность на семействе кривых и направляющей,
MbCornerSurface– поверхность на трёх кривых,
MbCoverSurface – поверхность на четырёх кривых,
MbCoonsPatchSurface – бикубическая поверхность Кунса,
MbMeshSurface – поверхность на сети кривых,
MbJoinSurface – поверхность соединения,
MbSplineSurface – NURBS -поверхность (NonUniform Rational B-Spline поверхность),
MbOffsetSurface – эквидистантная поверхность,
MbChamferSurface – поверхность фаски,
MbFilletSurface – поверхность скругления,
MbChannelSurface – поверхность скругления с переменным радиусом,
MbCurveBoundedSurface – поверхность с произвольными границами.

Поверхность MbSurface представляет собой векторную функцию

$$\mathbf{surface}(u,v)=\begin{bmatrix} x(u,v) & y(u,v) & z(u,v) \end{bmatrix}$$

двух скалярных параметров u и v, принимающих значения на двумерной связной области Ω. Поверхность представляет собой непрерывное отображение двумерной связной области Ω в трёхмерное пространство. Область Ω будем описывать в двумерной декартовой системе координат. В частном случае область Ω представляет собой прямоугольник, и параметры поверхности принимают значения в пределах $u_{min} \le u \le u_{max}$, $v_{min} \le v \le v_{max}$. В общем случае область Ω описывается двумерными кривыми. Координаты $x(u,v)$, $y(u,v)$, $z(u,v)$ точки поверхности **surface**(u,v) являются однозначными непрерывными функциями параметров u и v.

Граничные значения u_{min}, u_{max}, v_{min}, v_{max} области определения параметров выдают методы поверхности double **GetUMin**(),double **GetUMax**(),double **GetVMin**(),double **GetVMax**(), соответственно.

Поверхность будем называть периодической по первому параметру, если существует $p_u>0$, такое, что **surface**$(u \pm kp_u,v)$=**surface**(u,v), где k – целое число. Поверхность будем называть периодической по второму параметру, если существует $p_v>0$, такое, что **surface**$(u,v \pm kp_v)$=**surface**(u,v), где k – целое число. Область определения периодического параметра поверхности лежит в пределах одного периода для соответствующего параметра.

Метод bool **IsUClosed**() периодической по первому параметру поверхности возвращает true.

Метод bool **IsVClosed**() периодической по второму параметру поверхности возвращает true.

Метод double **GetUPeriod**() периодической по первому параметру поверхности или поверхности, которая может быть расширена до периодической, выдает период p_u. Метод double **GetVPeriod**() периодической по второму параметру поверхности или поверхности, которая может быть расширена до периодической, выдает период p_v. Область определения параметра периодической поверхности всегда лежит в пределах одного периода.

Введём обозначения

$$\mathbf{s}_u = \frac{\partial \mathbf{surface}(u,v)}{\partial u};\ \mathbf{s}_v = \frac{\partial \mathbf{surface}(u,v)}{\partial v};$$

$$\mathbf{s}_{uu} = \frac{\partial^2 \mathbf{surface}(u,v)}{\partial u^2};\ \mathbf{s}_{vv} = \frac{\partial^2 \mathbf{surface}(u,v)}{\partial v^2};\ \mathbf{s}_{uv} = \frac{\partial^2 \mathbf{surface}(u,v)}{\partial u \partial v} = \frac{\partial^2 \mathbf{surface}(u,v)}{\partial v \partial u};$$

$$\mathbf{s}_{uuu} = \frac{\partial^3 \mathbf{surface}(u,v)}{\partial u^3};\ \mathbf{s}_{uuv} = \frac{\partial^3 \mathbf{surface}(u,v)}{\partial u \partial u \partial v};\ \mathbf{s}_{uvv} = \frac{\partial^3 \mathbf{surface}(u,v)}{\partial u \partial v \partial v};\ \mathbf{s}_{vvv} = \frac{\partial^3 \mathbf{surface}(u,v)}{\partial v^3};$$

для частных производных поверхности по её параметрам.

Основным методом поверхности является метод

void **PointOn**(double & u, double & v, MbCartPoint3D & **s**).

Он выдаёт радиус-вектор **s**(u,v) точки поверхности для заданных параметров u и v. Методы

void **DeriveU**(double & u, double & v, MbVector3D & $\mathbf{s}_u$),
void **DeriveV**(double & u, double & v, MbVector3D & $\mathbf{s}_v$),
void **DeriveUU**(double & u, double & v, MbVector3D & $\mathbf{s}_{uu}$),
void **DeriveUV**(double & u, double & v, MbVector3D & $\mathbf{s}_{uv}$),
void **DeriveVV**(double & u, double & v, MbVector3D & $\mathbf{s}_{vv}$),
void **DeriveUUU**(double & u, double & v, MbVector3D & $\mathbf{s}_{uuu}$),
void **DeriveUUV**(double & u, double & v, MbVector3D & $\mathbf{s}_{uuv}$),
void **DeriveUVV**(double & u, double & v, MbVector3D & $\mathbf{s}_{uvv}$),
void **DeriveVVV** (double & u, double & v, MbVector3D & $\mathbf{s}_{vvv}$)

выдают соответственно производные $\mathbf{s}_u$, $\mathbf{s}_v$, $\mathbf{s}_{uu}$, $\mathbf{s}_{uv}$, $\mathbf{s}_{vv}$, $\mathbf{s}_{uuu}$, $\mathbf{s}_{uuv}$, $\mathbf{s}_{uvv}$, $\mathbf{s}_{vvv}$ радиуса-вектора поверхности для заданных параметров u и v. Перечисленные методы корректируют параметры поверхности при их выходе за пределы области определения (исключение составляет плоскость MbPlane). При выходе параметра u за пределы отрезка $[u_{min}, u_{max}]$ непериодические по первому параметру поверхности смещают параметр u к ближайшей границе u_{min} или u_{max}, а периодические по первому параметру поверхности добавляют или вычитают необходимое количество периодов. При выходе параметра v за пределы отрезка $[v_{min}, v_{max}]$ непериодические по второму параметру поверхности смещают параметр v к ближайшей границе v_{min} или v_{max}, а периодические по второму параметру поверхности добавляют или вычитают необходимое количество периодов.

Метод
void **_PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**)
выдаёт радиус-вектор **s**(*u*,*v*) точки поверхности для заданных параметров *u* и *v* как в области определения параметров поверхности, так и за её пределами. Каждая непериодическая поверхность за пределами области определения параметров продолжается по своему закону. При отсутствии такого закона (в общем случае) непериодическая поверхность за пределами области определения параметров продолжается по касательной к соответствующей крайней точке поверхности. Методы
void **_DeriveU**(double *u*, double *v*, MbVector3D & $\mathbf{s}_u$),
void **_DeriveV**(double *u*, double *v*, MbVector3D & $\mathbf{s}_v$),
void **_DeriveUU**(double *u*, double *v*, MbVector3D & $\mathbf{s}_{uu}$),
void **_DeriveUV**(double *u*, double *v*, MbVector3D & $\mathbf{s}_{uv}$),
void **_DeriveVV**(double *u*, double *v*, MbVector3D & $\mathbf{s}_{vv}$),
void **_DeriveUUU**(double *u*, double *v*, MbVector3D & $\mathbf{s}_{uuu}$),
void **_DeriveUUV**(double *u*, double *v*, MbVector3D & $\mathbf{s}_{uuv}$),
void **_DeriveUVV**(double *u*, double *v*, MbVector3D& $\mathbf{s}_{uvv}$),
void **_DeriveVVV**(double *u*, double *v*, MbVector3D & $\mathbf{s}_{vvv}$)
выдают соответственно производные $\mathbf{s}_u$, $\mathbf{s}_v$, $\mathbf{s}_{uu}$, $\mathbf{s}_{uv}$, $\mathbf{s}_{vv}$, $\mathbf{s}_{uuu}$, $\mathbf{s}_{uuv}$, $\mathbf{s}_{uvv}$, $\mathbf{s}_{vvv}$ радиуса-вектора поверхности для заданных параметров *u* и *v* как в области определения поверхности, так и за её пределами.

Поверхности перегружают такие методы трёхмерного геометрического объекта как:
методы, обслуживающие преобразование геометрического объекта,
void **Move**(const MbVector3D & **v**, MbRegTransform * iReg = NULL),
void **Rotate**(const MbAxis3D & **axis**, double **angle**, MbRegTransform * iReg = NULL),
void **Transform**(const MbMatrix3D & **m**, MbRegTransform * iReg = NULL),
методы, обеспечивающие копирование, проверку на совпадение, проверку на возможность сделать совпадающими, делающие объекты совпадающими,
MbSpaceItem & **Duplicate**(MbRegDuplicate * iReg = NULL),
bool **IsSame**(const MbSpaceItem & **item**),
bool **IsSimilar**(const MbSpaceItem & **item**),
bool **SetEqual**(const MbSpaceItem& **item**),
методы, возвращающие тип из перечисления геометрических объектов,
MbeSpaceType **IsA**(),
MbeSpaceType **Type**(),
MbeSpaceType **Family**(),
методы, обеспечивающие выдачу и редактирование внутренних данных объекта,
MbProperty & **CreateProperty**(MbePrompt name),
void **GetProperties**(MbProperties & *properties*),
void **SetProperties**(MbProperties & *properties*),
метод, наполняющий полигональную копию геометрического объекта,
void **CalculateWire**(double sag, MbMesh & **mesh**).

Большинство поверхностей имеют прямоугольную область определения параметров. Среди всех поверхностей выделим MbCurveBoundedSurface, которая является универсальной поверхностью. MbCurveBoundedSurface имеет криволинейные края и может иметь произвольные вырезы внутри. MbCurveBoundedSurface строится на основе любой поверхности с прямоугольной областью определения параметров.

О.5.2. Плоскость MbPlane

Класс MbPlane объявлен в файле surf_plane.h.

Плоскость MbPlane принадлежит к группе элементарных поверхностей MbElementarySurface. Плоскость описывается плоскостью XY локальной системе координат MbPlacement3D **position**. Первый параметр плоскости отсчитывается вдоль вектора **position.axisX**, второй параметр плоскости отсчитывается вдоль вектора **position.axisY**. Область определения плоскости описывают граничные значения параметров *umin*, *umax* и *vmin*, *vmax*, рис. О.5.2.1.

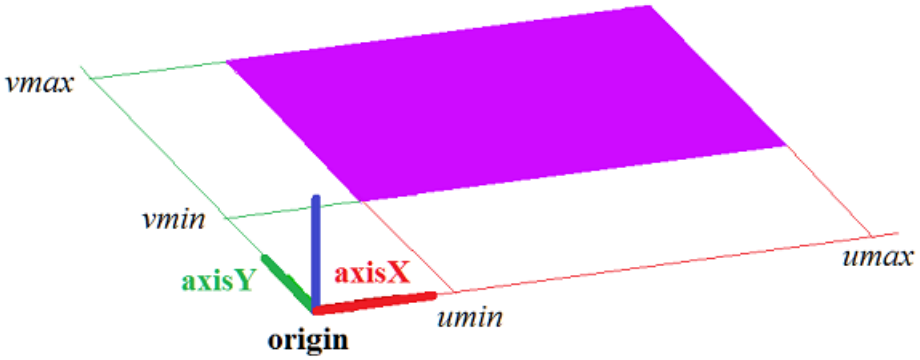


Рис. О.5.2.1.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор плоскости **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{s}(u,v) = \mathbf{position.origin} + u\ \mathbf{position.axisX} + v\ \mathbf{position.axisY}.$$

Плоскость ведёт себя как бесконечный объект, хотя в своих данных имеет граничные значения параметров *umin*, *umax* и *vmin*, *vmax*. Заметим, что в отличие от других поверхностей в методах вычисления радиуса-вектора и его производных плоскость не корректирует параметры *u* и *v* при их выходе за пределы области определения, заданной значениями *umin*, *umax* и *vmin*, *vmax*.

Локальная система координат **position** может быть как правой, так и левой. Если локальная система координат левая, то нормаль плоскости направлена в сторону, противоположную направлению вектора **position.axisZ**.

О.5.3. Цилиндрическая поверхность MbCylinderSurface

Класс MbCylinderSurface объявлен в файле surf_cylinder_surface.h.

Цилиндрическая поверхность MbCylinderSurface принадлежит к группе элементарных поверхностей MbElementarySurface. Цилиндрическая поверхность описывается радиусом *radius* и высотой *height*, заданными в локальной системе координат MbPlacement3D **position**.

Первый параметр поверхности отсчитывается по дуге от вектора **position.axisX** в направлении вектора **position.axisY**. Первый параметр поверхности *u* принимает значения на отрезке: $umin \le u \le umax$. Значения $u=0$ и $u=2\pi$ соответствуют точке на плоскости XZ. Поверхность может быть периодической по первому параметру. У периодической поверхности $umax-umin=2\pi$, у не периодической поверхности $umax-umin<2\pi$.

Второй параметр поверхности отсчитывается по прямой вдоль вектора **position.axisZ**. Второй параметр поверхности *v* принимает значения на отрезке: $vmin \le v \le vmax$. Значение $v=0$ соответствует началу локальной системы координат, а значение $v=1$ соответствует точке на расстоянии *height* от плоскости XY локальной системы координат поверхности.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{s}(u,v) = \mathbf{position.origin} + radius\ (\cos(u)\ \mathbf{position.axisX} + \sin(u)\ \mathbf{position.axisY}) + height\ v\ \mathbf{position.axisZ}.$$

Цилиндрическая поверхность приведена на рис. О.5.3.1.

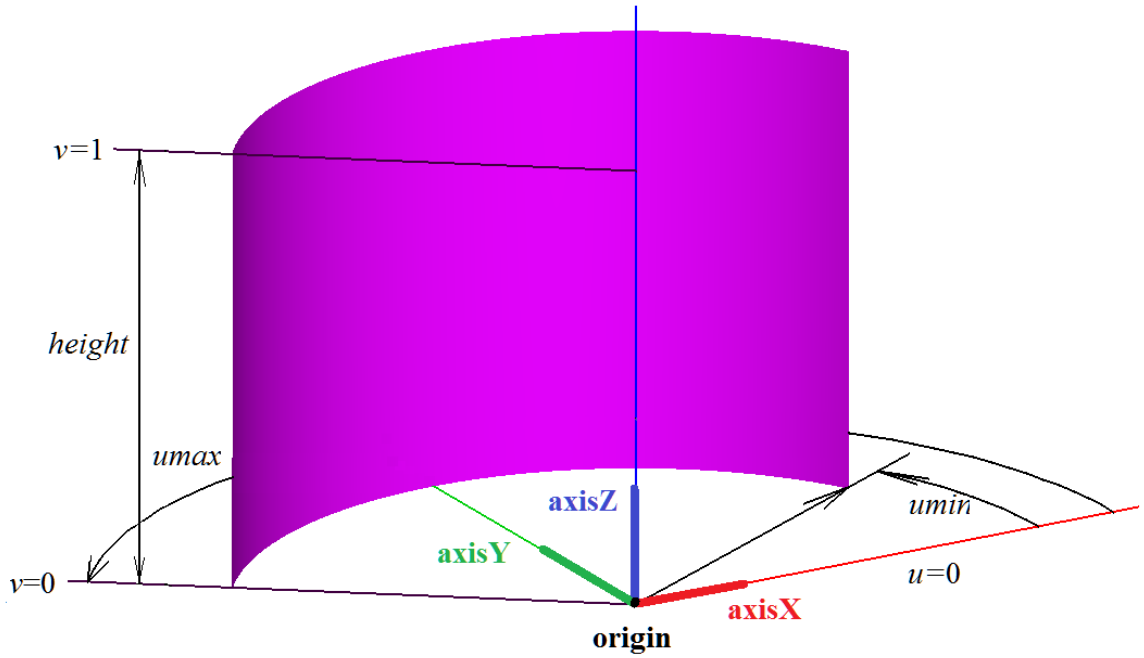


Рис. О.5.3.1.

Радиус и высота должны быть больше нуля: *radius*>0, *height*>0. Для граничных параметров поверхности должны соблюдаться неравенства: *umin*<*umax*, *vmin*<*vmax*.

Локальная система координат **position** может быть как правой, так и левой. Если локальная система координат правая, то нормаль направлена в сторону выпуклости поверхности (от оси поверхности), если локальная система координат левая, то нормаль направлена в сторону вогнутости поверхности (в сторону оси поверхности).

О.5.4. Коническая поверхность MbConeSurface

Класс MbConeSurface объявлен в файле surf_cone_surface.h.

Коническая поверхность MbConeSurface принадлежит к группе элементарных поверхностей MbElementarySurface. Коническая поверхность описывается радиусом *radius*, высотой *height* и углом конусности *angle*, заданными в локальной системе координат MbPlacement3D **position**.

Первый параметр поверхности отсчитывается по дуге от вектора **position.axisX** в направлении вектора **position.axisY**. Первый параметр поверхности *u* принимает значения на отрезке: *umin*≤*u*≤*umax*. Значения *u*=0 и *u*=2π соответствуют точке на плоскости XZ. Поверхность может быть периодической по первому параметру. У периодической поверхности *umax*-*umin*=2π, у не периодической поверхности *umax*-*umin*<2π.

Второй параметр поверхности отсчитывается по прямой вдоль вектора **position.axisZ**. Второй параметр поверхности *v* принимает значения на отрезке: *vmin*≤*v*≤*vmax*. Значенит *v*=0 соответствует началу локальной системы координат, а значение *v*=1 соответствует точке на расстоянии *height* от плоскости XY локальной системы координат поверхности.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{s}(u,v) = \mathbf{position.origin} + (radius + height\ v\ tg(angle))\ (\cos(u)\ \mathbf{position.axisX} + \sin(u)\ \mathbf{position.axisY}) + height\ v\ \mathbf{position.axisZ}.$$

Коническая поверхность приведена на рис. О.5.4.1.

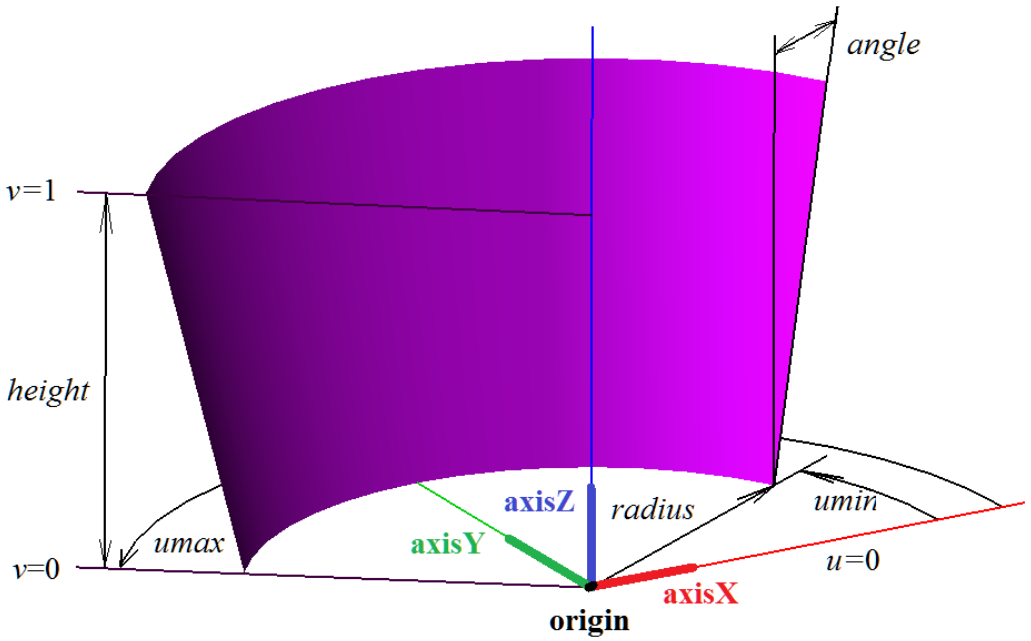


Рис. О.5.4.1.

Радиус и высота должны быть больше нуля, а угол по модулю не должен превышать π/2: *radius*>0, *height*>0, -π/2<*angle*<π/2. При *angle*=0 коническая поверхность эквивалентна цилиндрической поверхности. Для граничных параметров поверхности должны соблюдаться неравенства: *umin*<*umax*, *vmin*<*vmax*. Полюсу поверхности соответствует значение второго параметра *v*=–*radius* / (*height* *tg*(*angle*)). Граничные параметры *vmax* и *vmin* принимают такие значения, при которых поверхность располагается с одной стороны от полюса.

Локальная система координат **position** может быть как правой, так и левой. Если локальная система координат правая, то нормаль направлена в сторону выпуклости поверхности (от оси поверхности), если локальная система координат левая, то нормаль направлена в сторону вогнутости поверхности (в сторону оси поверхности).

О.5.5. Сферическая поверхность MbSphereSurface

Класс MbSphereSurface объявлен в файле surf_sphere_surface.h.

Сфера MbSphereSurface принадлежит к группе элементарных поверхностей MbElementarySurface. Сфера описывается радиусом *radius*, заданными в локальной системе координат MbPlacement3D **position**.

Первый параметр поверхности отсчитывается по дуге от вектора **position.axisX** в направлении вектора **position.axisY**. Первый параметр поверхности *u* принимает значения на отрезке: *umin*≤*u*≤*umax*. Значения *u*=0 и *u*=2π соответствуют точке на плоскости XZ. Поверхность может быть периодической по первому параметру. У периодической поверхности *umax*-*umin*=2π, у не периодической поверхности *umax*-*umin*<2π.

Второй параметр поверхности отсчитывается по дуге от плоскости XY локальной системы координат поверхности в направлении вектора **position.axisZ**. Второй параметр поверхности *v* принимает значения на отрезке: *vmin*≤*v*≤*vmax*. Значение *v*=0 соответствует точке на плоскости XY локальной системы координат поверхности. Поверхность не периодическа по второму параметру.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{s}(u,v) = \mathbf{position.origin} + radius\,(\cos(u)\,\mathbf{position.axisX} + \sin(u)\,\mathbf{position.axisY}) + radius\,\sin(v)\,\mathbf{position.axisZ}.$$

Сфера приведена на рис. О.5.5.1.

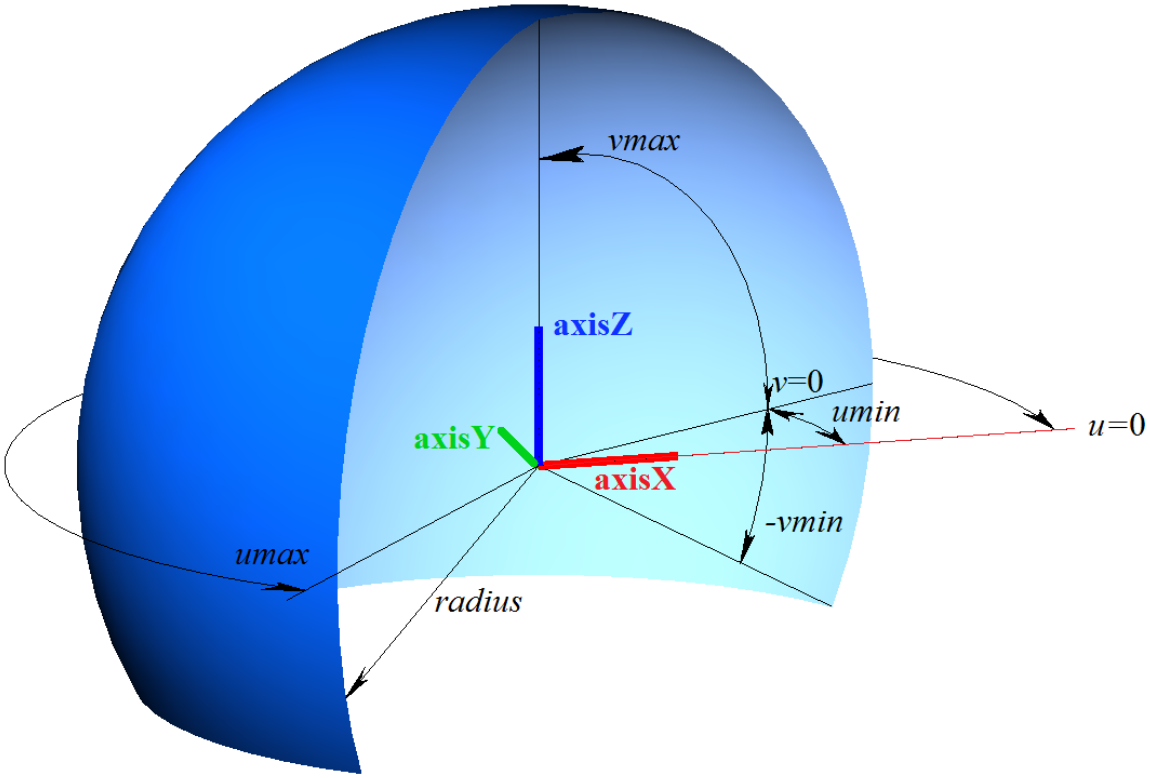


Рис. О.5.5.1.

Радиус сферы должен быть больше нуля: *radius*>0. Сфера имеет полюсы для параметра *v*=π/2 и *v*=–π/2. Для граничных параметров поверхности должны соблюдаться неравенства: *umin*<*umax*, *vmin*<*vmax*, *vmax*<=π/2, *vmin*>=–π/2.

Локальная система координат **position** может быть как правой, так и левой. Если локальная система координат правая, то нормаль направлена наружу сферы, если локальная система координат левая, то нормаль направлена внутрь сферы.

О.5.6. Поверхность тора MbTorusSurface

Класс MbTorusSurface объявлен в файле surf_torus_surface.h.

Поверхность тора MbTorusSurface принадлежит к группе элементарных поверхностей MbElementarySurface. Поверхность тора описывается радиусом центров *majorRadius* и радиусом трубки *minorRadius*, заданными в локальной системе координат MbPlacement3D **position**.

Первый параметр поверхности отсчитывается по дуге от вектора **position.axisX** в направлении вектора **position.axisY**. Первый параметр поверхности *u* принимает значения на отрезке: *umin*≤*u*≤*umax*. Значения *u*=0 и *u*=2π соответствуют точке на плоскости XZ. Поверхность может быть периодической по первому параметру. У периодической поверхности *umax*-*umin*=2π, у не периодической поверхности *umax*-*umin*<2π.

Второй параметр поверхности отсчитывается по дуге от плоскости XY локальной системы координат поверхности в направлении вектора **position.axisZ**. Второй параметр поверхности *v* принимает значения на отрезке: *vmin*≤*v*≤*vmax*. Значения *v*=0 и *v*=2π соответствуют точке на плоскости XY локальной системы координат поверхности. Поверхность может быть периодической по второму параметру при *majorRadius*>*minorRadius*. У периодической поверхности *vmax*-*vmin*=2π, у не периодической поверхности *vmax*-*vmin*<2π.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{s}(u,v) = \mathbf{position.origin} +$$
$$(majorRadius + (minorRadius\ \cos(v))\ (\cos(u)\ \mathbf{position.axisX} + \sin(u)\ \mathbf{position.axisY}) +$$

minorRadius sin(*v*) **position.axisZ**.

Поверхность тора приведена на рис. О.5.6.1.

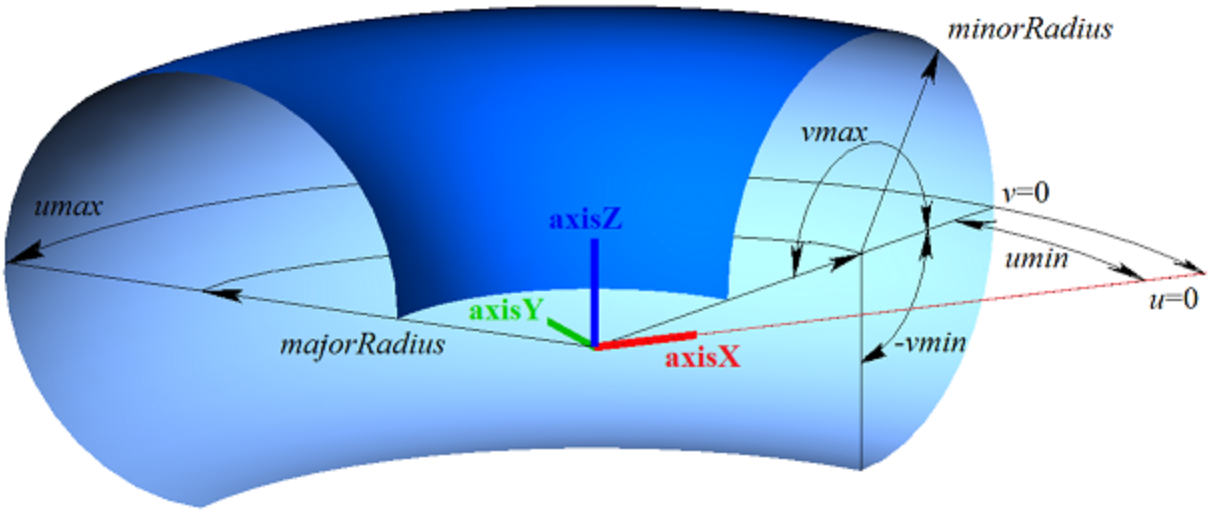


Рис. О.5.6.1.

Радиус трубки должен быть больше нуля: *minorRadius*>0. Радиус центров должен быть не меньше радиуса трубки, взятого с обратным знаком: *majorRadius*>–*minorRadius*. Если *majorRadius*<*minorRadius*, то поверхность имеет полюс для параметра *v*=arccos(*majorRadius*/*minorRadius*) и *v*=2π–arccos(*majorRadius*/*minorRadius*). Для граничных параметров поверхности должны соблюдаться неравенства: *umin*<*umax*, *vmin*<*vmax*.

Локальная система координат **position** может быть как правой, так и левой. Если локальная система координат правая, то нормаль направлена от трубки поверхности, если локальная система координат левая, то нормаль направлена внутрь трубки поверхности.

О.5.7. Поверхность выдавливания MbExtrusionSurface

Класс MbExtrusionSurface объявлен в файле surf_extrusion_surface.h.

Поверхность выдавливания MbExtrusionSurface принадлежит к группе поверхностей движения MbSweptSurface. Поверхность выдавливания является частным случаем поверхности движения с прямолинейной направляющей кривой. Поверхность выдавливания описывается образующей кривой MbCurve3D* **curve**, вектором направления выдавливания MbVector3D **direction** и длиной выдавливания *distance.*

Первый параметр поверхности *u* совпадает с параметром образующей кривой. Первый параметр поверхности принимает значения на отрезке *umin*≤*u*≤*umax*, который соответствует области определения образующей кривой. Поверхность может быть периодической по первому параметру, если периодической является образующая кривая.

Второй параметр поверхности *v* принимает значения на отрезке: *vmin*≤*v*≤*vmax*. Значение *v*=0 соответствует точке на образующей кривой, значение *v*=1 соответствует точке образующей кривой, смещённой на вектор **direction*****distance*. Поверхность не может быть периодической по второму параметру.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{s}(u,v) = \mathbf{curve}(u) + (\mathbf{direction}\ distance\ v).$$

Поверхность выдавливания приведена на рис. О.5.7.1.

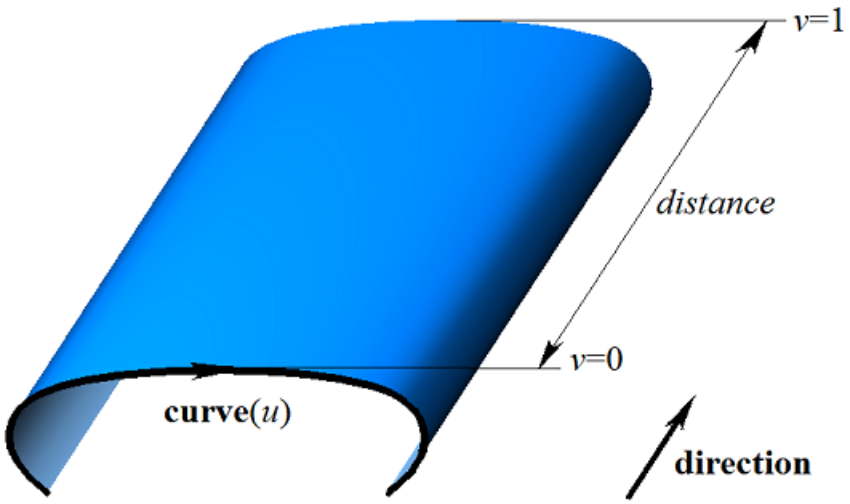


Рис. О.5.7.1.

Для граничных значений второго параметра поверхности должно соблюдаться неравенство: *vmin*<*vmax*.

О.5.8. Поверхность вращения MbRevolutionSurface

Класс MbRevolutionSurface объявлен в файле surf_revolution_surface.h.

Поверхность вращения MbRevolutionSurface принадлежит к группе поверхностей движения MbSweptSurface. Поверхность вращения является частным случаем поверхности движения с направляющей кривой в форме окружности или её дуги. Поверхность вращения описывается образующей кривой MbCurve3D* **curve**, локальной системой координат MbPlacement3D **position**, вектор **position.axizZ** которой является осью вращения, признаком расположения кривой и оси вращения в одной плоскости *planeData*, признаком наличия полюса поверхности при начальном значении первого параметра *poleMin*, признаком наличия полюса поверхности при конечном значении первого параметра *poleMax*, значениями первого параметра поверхности в полюсах поверхности *uPoleMin*, *uPoleMax*, если соответствующий полюс присутствует. У поверхности есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов поверхности.

Первый параметр поверхности *u* совпадает с параметром образующей кривой. Первый параметр поверхности принимает значения на отрезке *umin*≤*u*≤*umax*, который соответствует области определения образующей кривой. Поверхность может быть периодической по первому параметру, если периодической является образующая кривая.

Второй параметр поверхности *v* принимает значения на отрезке: *vmin*≤*v*≤*vmax*. Значения *v*=0 и *v*=2π соответствуют точке на образующей кривой. Поверхность может быть периодической по второму параметру. У периодической поверхности *vmax*-*vmin*=2π, у не периодической поверхности *vmax*-*vmin*<2π.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{s}(u,v) = \mathbf{position.origin} + (\mathbf{curve}(u) - \mathbf{position.origin})\ \mathbf{M}(v),$$

где $\mathbf{M}(v)$ – матрица вращения. Заметим, что умножение вектора **(curve**(*u*)–**position.origin**) на матрицу $\mathbf{M}(v)$ выполняется справа. Матрица вращения имеет вид

$$\mathbf{M}(v) = \mathbf{A}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \cos v & -\sin v & 0 \\ \sin v & \cos v & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \mathbf{A} =$$

$$= \begin{bmatrix} \mathbf{position.axisX} \\ \mathbf{position.axisY} \\ \mathbf{position.axisZ} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \cos v & -\sin v & 0 \\ \sin v & \cos v & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{position.axisX} \\ \mathbf{position.axisY} \\ \mathbf{position.axisZ} \end{bmatrix}.$$

Матрица **A** является матрицей преобразования координат радиуса-вектора точки из локальной системы координат **position** в глобальную систему координат. Строки матрицы **A** составлены из компонент базисных векторов локальной системы координат. Матрица **M**(*v*) переводит вектор **curve(*u*) – position.origin** в локальную систему координат, поворачивает его в ней на угол *v* вокруг оси вращения и возвращает повёрнутый вектор обратно в глобальную систему координат. Поверхность вращения приведена на рис. О.5.8.1.

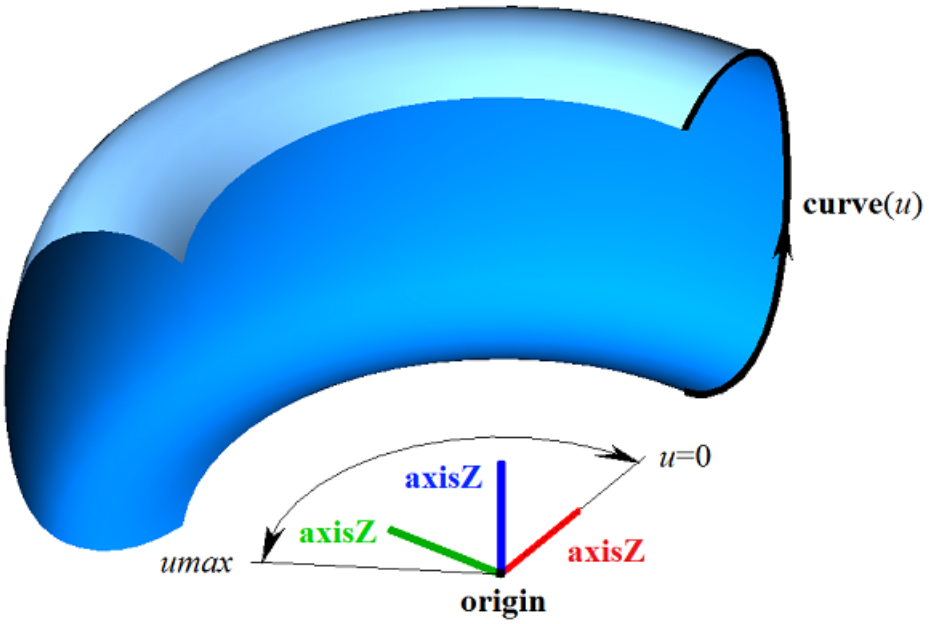


Рис. О.5.8.1.

Если начальный или конечный край образующей кривой проходит через ось вращения, то поверхность имеет полюс для параметра *umin* или *umax*, соответственно. Для граничных значений второго параметра поверхности должно соблюдаться неравенство: *vmin*<*vmax*.

Вращение точек образующей кривой выполняется по дуге вокруг вектора **position.axizZ** от вектора **position.axisX** в направлении вектора **position.axisY**. Локальная система координат **position** может быть как правой, так и левой.

О.5.9. Поверхность перемещения MbExpansionSurface

Класс MbExpansionSurface объявлен в файле surf_expansion_surface.h.

Поверхность перемещения MbExpansionSurface принадлежит к группе поверхностей движения MbSweptSurface. Поверхность перемещения является частным случаем поверхности движения с криволинейной направляющей кривой. Поверхность перемещения описывается образующей кривой MbCurve3D* **curve**, направляющей кривой MbCurve3D* **spine**, точкой в начале направляющей MbCartPoint3D **origin**. Поверхность образована перемещением образующей кривой вдоль направляющей кривой. В частном случае образующая кривая поверхности перемещения может менять свою форму. В последнем случае в данных кривой присутствует вторая образующая кривая **brink**, точка в конце направляющей **ending**, начальный параметр *tmin* кривой **brink** и производная *dt* параметра кривой **brink** по параметру образующей кривой **curve**. Производная *dt* определяется равенством

$$dt = \frac{tmax - tmin}{umax - umin},$$

где *tmax* – конечный параметр кривой **brink**. В общем случае указатель на вторую образующую кривую **brink** может быть равен нулю, что означает, что вторая образующая кривая отсутствует.

Первый параметр *u* поверхности совпадает с параметром образующей кривой **curve**. Первый параметр поверхности принимает значения на отрезке *umin*≤*u*≤*umax*, который соответствует области определения образующей кривой. Поверхность может быть периодической по первому параметру, если периодической является образующая кривая.

Второй параметр поверхности *v* совпадает с параметром направляющей кривой и принимает значения на отрезке: *vmin*≤*v*≤*vmax*. Поверхность может быть периодической по второму параметру, если периодической является направляющая кривая и отсутствует вторая образующая кривая.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) в общем случае радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{s}(u,v) = \mathbf{spine}(v) + \mathbf{curve}(u) - \mathbf{origin}.$$

Поверхность перемещения в общем случае приведена на рис. О.5.9.1.

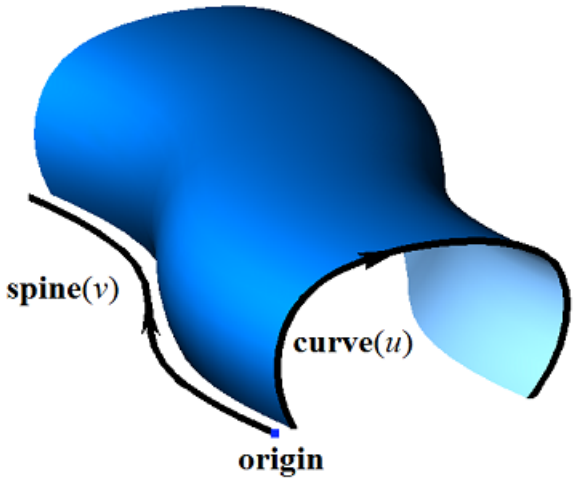


Рис. О.5.9.1.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) в частном случае радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{s}(u,v) = \mathbf{spine}(v) + (\mathbf{curve}(u) - \mathbf{origin})\,(1-w) + (\mathbf{brink}(t) - \mathbf{ending})\,w,$$

где $w = \frac{v - vmin}{vmax - vmin}$, $t = tmin + (u - umin)dt$. Поверхность перемещения в частном случае приведена на рис. О.5.9.2.

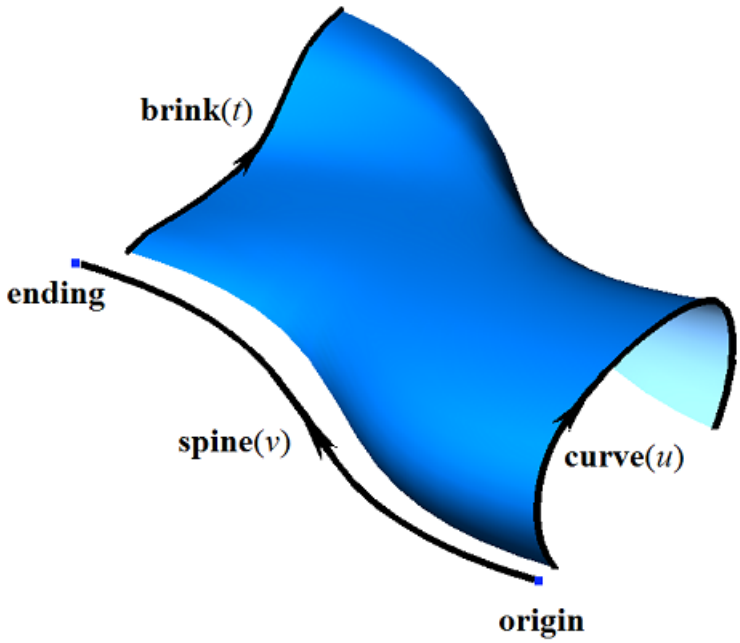


Рис. О.5.9.2.

Для отсутствия самопересечений поверхности образующая и направляющие кривые не должны иметь параллельных друг другу участков. В определенных случаях поверхность перемещения может иметь особые точки.

О.5.10. Спиральная поверхность MbSpiralSurface

Класс MbSpiralSurface объявлен в файле surf_spiral_surface.h.

Спиральная поверхность MbSpiralSurface принадлежит к группе поверхностей движения MbSweptSurface. Спиральная поверхность является частным случаем поверхности движения с направляющей кривой в форме цилиндрической спирали. Спиральная поверхность описывается образующей кривой MbCurve3D* **curve**, локальной системой координат MbPlacement3D **position**, вектор **position.axizZ** которой является осью спирали, радиусом спирали *radius*, шагом спирали *step*, положением начала спирали **origin** и граничными параметрами спирали *vmin* и *vmax*. У поверхности есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов поверхности.

Ось спирали совпадает с координатной осью **position.axisZ** локальной системы координат. Первый параметр поверхности *u* совпадает с параметром образующей кривой. Первый параметр поверхности принимает значения на отрезке $umin \le u \le umax$, который соответствует области определения образующей кривой. Поверхность может быть периодической по первому параметру, если периодической является образующая кривая.

Второй параметр поверхности *v* принимает значения на отрезке: $vmin \le v \le vmax$. Значение $v=0$ соответствует точке на образующей кривой. Значения второго параметра *v*, равное 2π, соответствуют точкам образующей кривой, смещенным на вектор **position.axisZ**, умноженный на *step*. Поверхность не может быть периодической по второму параметру.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{s}(u,v) = \mathbf{position.origin} + radius\,(\cos(t)\,\mathbf{position.axisX} + \sin(t)\,\mathbf{position.axisY}) + ((t\ step/2\pi)\,\mathbf{position.axisZ}) + (\mathbf{curve}(u) - \mathbf{origin})\,\mathbf{M}(v),$$

где $\mathbf{M}(v)$ – матрица вращения. Заметим, что умножение вектора (**curve**(*u*)–**origin**) на матрицу $\mathbf{M}(v)$ выполняется справа. Матрица вращения имеет вид

$$\mathbf{M}(v) = \mathbf{A}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \cos v & -\sin v & 0 \\ \sin v & \cos v & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \mathbf{A} =$$

$$= \begin{bmatrix} \mathbf{position.axisX} \\ \mathbf{position.axisY} \\ \mathbf{position.axisZ} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \cos v & -\sin v & 0 \\ \sin v & \cos v & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{position.axisX} \\ \mathbf{position.axisY} \\ \mathbf{position.axisZ} \end{bmatrix}.$$

Матрица **A** является матрицей преобразования координат радиуса-вектора точки из локальной системы координат **position** в глобальную систему координат. Строки матрицы **A** составлены из компонент базисных векторов локальной системы координат. Матрица **M**(*v*) переводит вектор **curve(*u*)–origin** в локальную систему координат, поворачивает его в ней на угол *v* вокруг оси вращения и возвращает повёрнутый вектор обратно в глобальную систему координат. Спиральная поверхность приведена на рис. О.5.10.1.

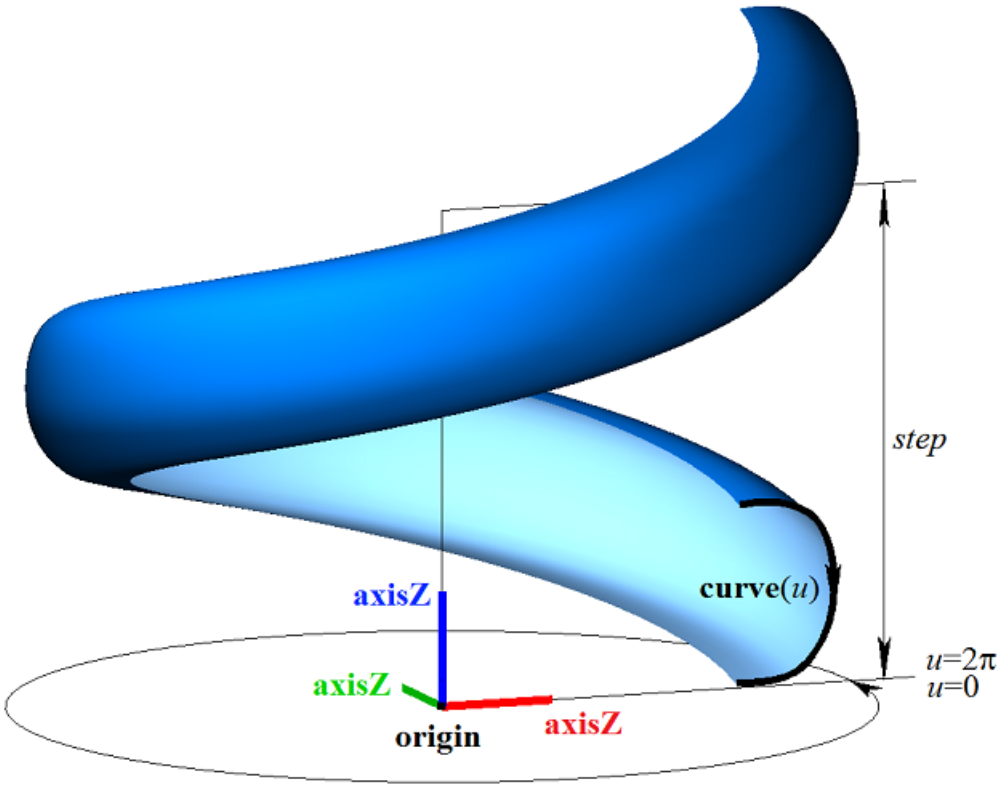


Рис. О.5.10.1.

Для граничных значений второго параметра поверхности должно соблюдаться неравенство: *vmin<vmax*.

О.5.11. Кинематическая поверхность MbEvolutionSurface

Класс MbEvolutionSurface объявлен в файле surf_evolution_surface.h.

Кинематическая поверхность MbEvolutionSurface принадлежит к группе поверхностей движения MbSweptSurface. Кинематическая поверхность является общим случаем поверхности движения с произвольной направляющей кривой. Поверхность вращения описывается образующей кривой MbCurve3D* **curve**, направляющим объектом MbCurve3D* **spine**, положением начала направляющей MbCartPoint3D **origin**. У поверхности есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов поверхности.

Первый параметр поверхности *u* совпадает с параметром образующей кривой **curve**. Первый параметр поверхности принимает значения на отрезке *umin≤u≤umax*, который соответствует области

определения образующей кривой. Поверхность может быть периодической по первому параметру, если периодической является образующая кривая.

Направляющий объект **spine** заменяет собой направляющую кривую, построен на базе кривой и отличается от последней тем, что может генерировать локальную систему координат, связанную с кривой. Второй параметр поверхности *v* совпадает с параметром кривой направляющего объекта **spine**. Второй параметр поверхности принимает значения на отрезке $vmin \le v \le vmax$, который соответствует области определения направляющей кривой. Поверхность может быть периодической по второму параметру, если периодической является направляющая кривая.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{s}(u,v) = \mathbf{spine}(v) + (\mathbf{curve}(u) - \mathbf{origin})\,\mathbf{M}(v),$$

где $\mathbf{M}(v)$ – матрица, связанная с направляющей кривой. Заметим, что умножение вектора **(curve**(*u*)–**origin**) на матрицу $\mathbf{M}(v)$ выполняется справа. Матрица $\mathbf{M}(v)$ имеет вид

$$\mathbf{M}(v) = \mathbf{A}^{-1}(vmin)\cdot\mathbf{A}(v),$$

где матрица $\mathbf{A}(v)$ является матрицей преобразования координат радиуса-вектора точки из подвижной системы координат, связанной с направляющей кривой, в глобальную систему координат. Матрица $\mathbf{A}(v)$ зависит от второго параметра поверхности. Строки матрицы $\mathbf{A}(v)$ составлены из компонент базисных векторов подвижной системы координат:

$$\mathbf{A}(v) = \begin{bmatrix} \mathbf{i}_1(v) \\ \mathbf{i}_2(v) \\ \mathbf{i}_3(v) \end{bmatrix},$$

где $\mathbf{i}_1(v)$ – касательный вектор направляющей кривой, $\mathbf{i}_2(v)$ – вектор, ортогональный $\mathbf{i}_1(v)$ и связанный с вектором **direction** направляющего объекта **spine**, $\mathbf{i}_3(v)$ – вектор, ортогональный $\mathbf{i}_1(v)$ и $\mathbf{i}_2(v)$. Поверхность вращения приведена на рис. О.5.11.1.

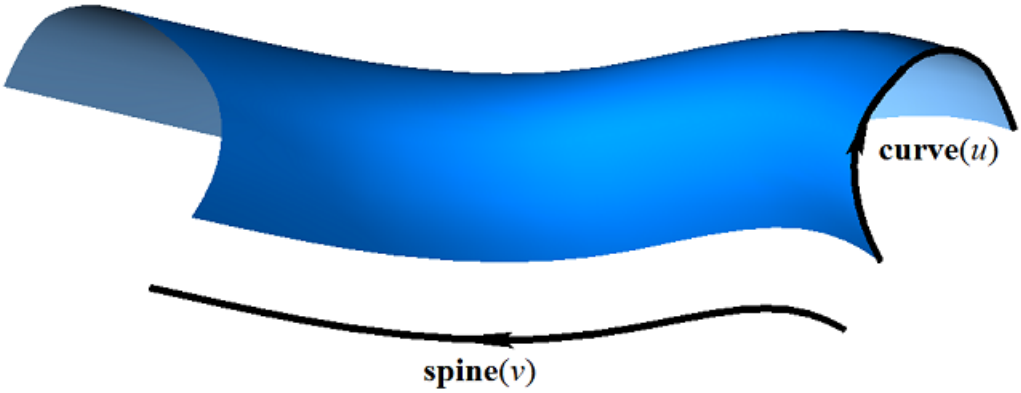


Рис. О.5.11.1.

Касательный вектор $\mathbf{i}_1(v)$ вычисляется по направляющей кривой. Вектор $\mathbf{i}_2(v)$ вычисляется из условия плавного изменения при переходе от точки к точке направляющей кривой и ортогональности $\mathbf{i}_1(v)$. Вектор $\mathbf{i}_3(v)$ вычисляется как векторное произведение векторов $\mathbf{i}_1(v)$ и $\mathbf{i}_2(v)$.

О.5.12. Кинематическая поверхность с адаптацией MbExactionSurface

Класс MbExactionSurface объявлен в файле surf_exaction_surface.h.

Кинематическая поверхность с адаптацией MbExactionSurface является наследником кинематической поверхности MbEvolutionSurface. Кинематическая поверхность с адаптацией

используется для построения тел кинематической операцией с направляющей в форме составной кривой, сегменты которой стыкуются с изломом, рис. О.5.12.1.

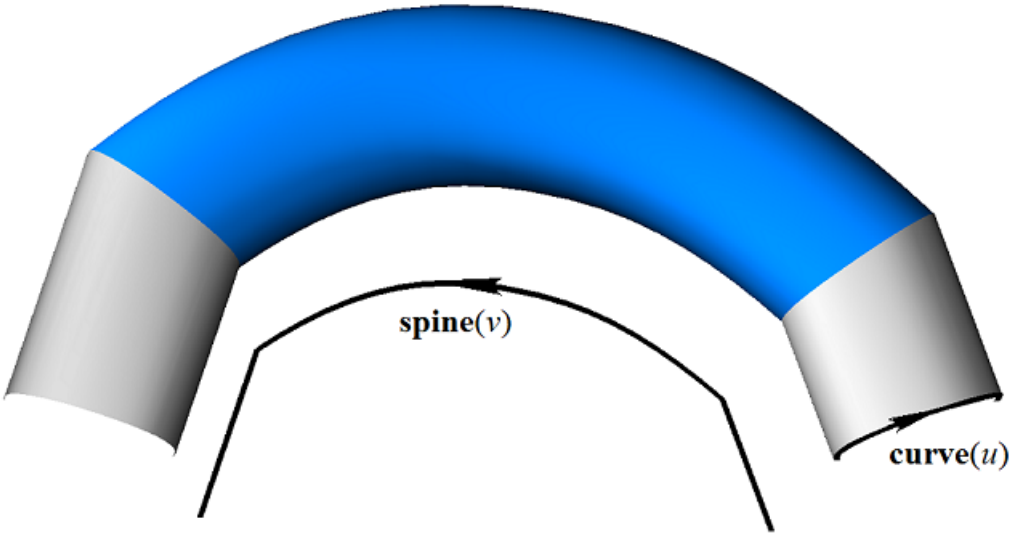


Рис. О.5.12.1.

Кинематическая поверхность MbExactionSurface подстраивает свои торцы для обеспечения стыковки с другой поверхностью.

О.5.13. Секториальная поверхность MbSectorSurface

Класс MbSectorSurface объявлен в файле surf_sector_surface.h.

Секториальная поверхность MbSectorSurface принадлежит к группе поверхностей движения MbSweptSurface. Секториальная поверхность описывается кривой MbCurve3D* **curve** и точкой MbCartPoint3D **origin**.

Первый параметр поверхности u совпадает с параметром кривой **curve**. Первый параметр поверхности принимает значения на отрезке $umin \le u \le umax$, который соответствует области определения кривой **curve**. Поверхность может быть периодической по первому параметру, если периодической является кривая **curve**.

Второй параметр поверхности v принимает значения на отрезке: $vmin \le v \le vmax$. Значение $v=vmin$ соответствует точке на кривой **curve**, значение $v=vmax$ соответствует точке **origin**. Поверхность не может быть периодической по второму параметру.

В методе **PointOn**(double u, double v, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{s}(u,v) = \mathbf{curve}(u)\,(1-w) + \mathbf{origin}\,w,$$

где $w = \dfrac{v - vmin}{vmax - vmin}$.

Секториальная поверхность приведена на рис. О.5.13.1.

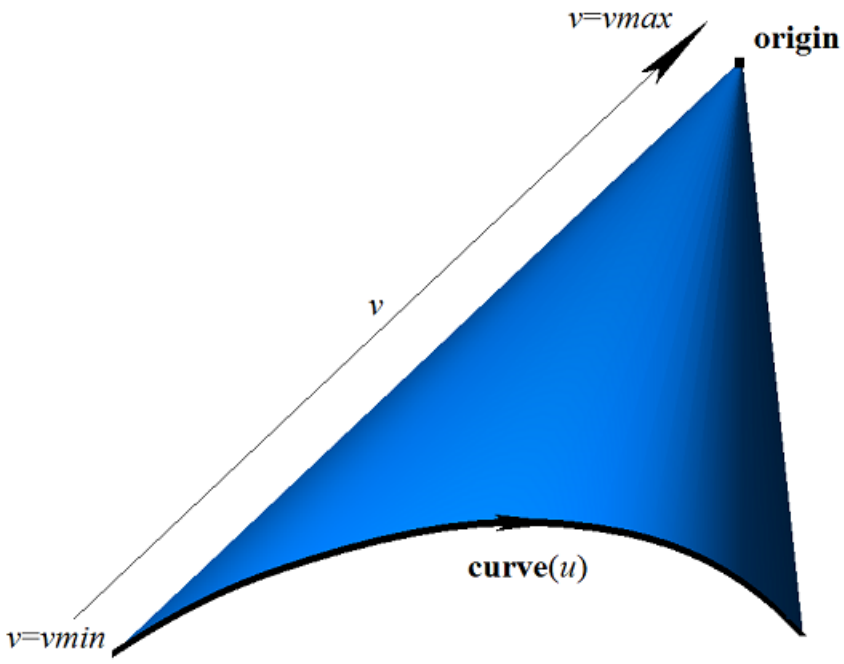


Рис. О.5.13.1.

Кривые поверхности **s**(*const*,*v*) являются отрезками прямой. Поверхность имеет полюс в точке **origin** при *v*=*vmax*. Секториальная поверхность является частным случаем линейчатой поверхности.

О.5.14. Линейчатая поверхность MbRuledSurface

Класс MbRuledSurface объявлен в файле surf_ruled_surface.h.

Линейчатая поверхность MbRuledSurface принадлежит к группе поверхностей движения MbSweptSurface. Линейчатая поверхность описывается кривой MbCurve3D* **curve**, кривой MbCurve3D* **sline**, признаком наличия полюса поверхности при начальном значении первого параметра *poleMin*, признаком наличия полюса поверхности при конечном значении первого параметра *poleMax*, начальным параметром *tmin* кривой **sline**, производной *dt* параметра кривой **sline** по параметру кривой **curve** и типом формы поверхности *type*. У поверхности есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов поверхности.

Первый параметр поверхности *u* совпадает с параметром кривой **curve**. Первый параметр поверхности принимает значения на отрезке *umin*≤*u*≤*umax*, который соответствует области определения кривой **curve**. Производная *dt* определяется равенством

$$dt = \frac{tmax - tmin}{umax - umin},$$

где *tmax* – конечный параметр кривой **sline**. Поверхность может быть периодической по первому параметру, если периодическими являются кривые **curve** и **sline**.

Второй параметр поверхности *v* принимает значения на отрезке: *vmin*≤*v*≤*vmax*. Значение *v*=*vmin* соответствует точке на кривой **curve**, значение *v*=*vmax* соответствует точке на кривой **sline**. Поверхность не может быть периодической по второму параметру.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{s}(u,v) = \mathbf{curve}(u)\,(1-w) + \mathbf{sline}(t)\,w,$$

где $w = \frac{v - vmin}{vmax - vmin}$, $t = tmin + (u - umin)dt$.

Линейчатая поверхность приведена на рис. О.5.14.1.

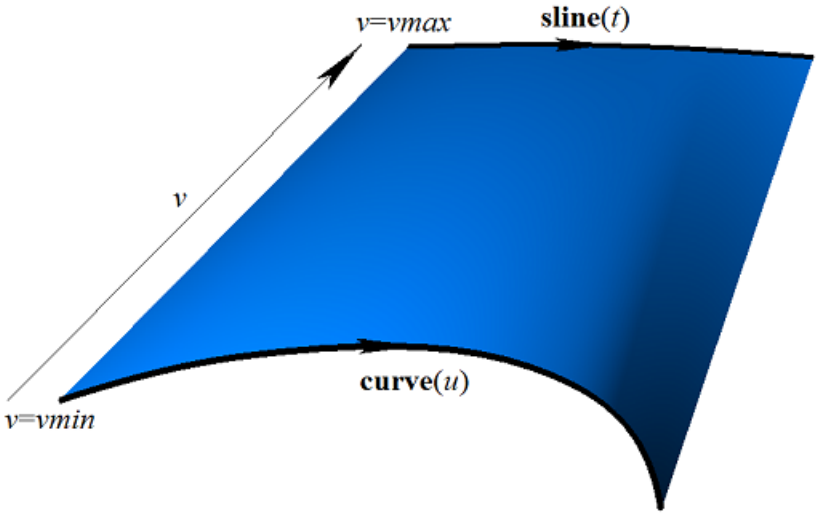


Рис. О.5.14.1.

Кривые поверхности **s**(*const*,*v*) с параметрами *u*=const являются отрезками прямой. Поверхность может иметь полюс, если одна из кривых **curve** или **sline** стянута в точку, или если кривые **curve** и **sline** совпадают на одном из краёв.

О.5.15. Поверхность на семействе кривых MbLoftedSurface

Класс MbLoftedSurface объявлен в файле surf_lofted_surface.h.

Поверхность MbLoftedSurface описывается множеством кривых RPArray<MbCurve3D>**uCurves**, множеством значений второго параметра поверхности для кривых *vParams*, множеством признаков одинаковых кривых *vLabels*, граничными значениями параметров *umin*, *umax*, *vmin*, *vmax*, признаками замкнутости поверхности по первому и второму параметрам *uClosed* и *vClosed*, вектором направления непериодической поверхности при *vmin* MbVector3D **derive**1, вектором направления непериодической поверхности при *vmax* MbVector3D **derive**2, признаками наличия полюсов поверхности на границе области определения *poleUMin*, *poleUMax*, *poleVMin*, *poleVMax*. У поверхности есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов поверхности.

Первый параметр поверхности *u* совпадает с параметрами кривых **curves**. Все кривые **curves** должны иметь одинаковую область определения параметра, для этого могут использоваться кривые MbReperamCurve3D. Первый параметр поверхности принимает значения на отрезке *umin*≤*u*≤*umax*, который соответствует области определения кривых **curves**. Поверхность может быть периодической по первому параметру, если периодическими являются все кривые множества **curves**.

Второй параметр поверхности *v* принимает значения на отрезке: *vmin*≤*v*≤*vmax*. Значение *v*=*vmin* соответствует начальному значению множества *vParams*[0], значение *v*=*vmax* соответствует конечному значению множества *vParams*[*vParams*.MaxIndex()]. Поверхность может быть периодической по второму параметру.

Если все кривые множества **curves** разные, то значения множества *vLabels* равны индексу кривых множества **curves**. Если среди рядом расположенных кривых множества **curves** есть одинаковые кривые (но смещенные друг относительно друга), то соответствующие значения множества *vLabels* равны минимальному индексу размноженной кривой множества **curves**.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{s}(u,v) = (1-3w^2+2w^3)\ \mathbf{curves}[i](u) + (3w^2+2w^3)\ \mathbf{curves}[i+1](u) +$$
$$(w-2w^2+w^3)\ \mathbf{derive}[i](u) + (-w^2+w^3)\ \mathbf{derive}[i+1](u)\ (vParams[i+1]-vParams[i]),$$

где $w = \dfrac{v - vParams[i]}{vParams[i+1] - vParams[i]}$, **derive**[*i*] и **derive**[*i*+1] – производные кривых **curves**[*i*] и **curves**[*i*+1], соответственно. Индекс *i* рабочего участка для вычисления радиуса-вектора точки и его производных вычисляется из условия *vParams*[*i*]≤*v*≤*vParams*[*i*+1]. Если среди соседних элементов

множества *vLabels* есть одинаковые значения, то между соответствующими кривыми поверхность эквивалентна поверхности выдавливания. Поверхность на семействе кривых приведена на рис. О.5.15.1.

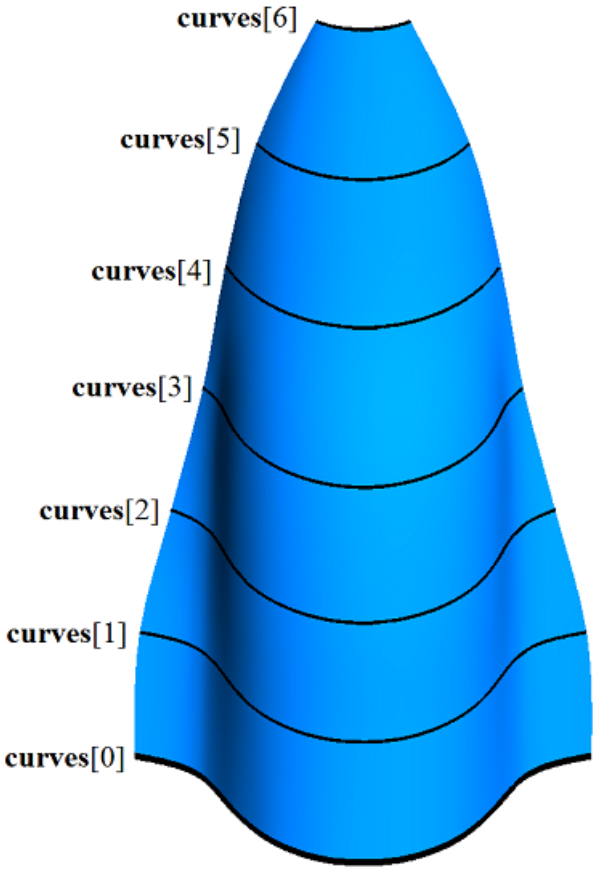


Рис. О.5.15.1.

Форма поверхности зависит от расположения кривых и от множества *vParams* значений параметров, при которых поверхность проходит по кривым. Для предотвращения самопересечений поверхности необходимо, чтобы значения множества *vParams* изменялись пропорционально среднему расстоянию между кривыми.

Кривые поверхности **s**(*const*,*v*) с параметрами *u*=const являются кривыми Эрмита MbHermit3D. Поверхность может иметь полюсы, если первая и/или последняя из кривых **curves** стянута в точку, или если все кривые **curves** совпадают на одном из краёв.

О.5.16. Поверхность на семействе кривых и направляющей MbElevationSurface

Класс MbElevationSurface объявлен в файле surf_elevation_surface.h.

Поверхность на семействе кривых и направляющей является наследником класса MbLoftedSurface. Так же как и поверхность MbLoftedSurface поверхность MbElevationSurface описывается множеством образующих кривых RPArray<MbCurve3D>**uCurves**, множеством значений второго параметра поверхности для кривых *vParams*, граничными значениями параметров *umin*, *umax*, *vmin*, *vmax*, признаками замкнутости поверхности по первому и второму параметрам *uClosed* и *vClosed*, признаками наличия полюсов поверхности на границе области определения *poleUMin*, *poleUMax*, *poleVMin*, *poleVMax*. Кроме перечисленных данных поверхность MbElevationSurface описывается направляющей кривой MbCurve3D* **spine**. У поверхности есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов поверхности.

Первый параметр поверхности *u* совпадает с параметрами кривых **curves**. Все кривые **curves** должны иметь одинаковую область определения параметра, для этого могут использоваться кривые MbReperamCurve3D. Первый параметр поверхности принимает значения на отрезке *umin*≤*u*≤*umax*,

который соответствует области определения кривых **curves**. Поверхность может быть периодической по первому параметру, если периодическими являются все кривые множества **curves**.

Второй параметр поверхности *v* совпадает с параметром направляющей кривой **spine**. Второй параметр поверхности принимает значения на отрезке $vmin \le v \le vmax$, который соответствует области определения направляющей кривой. Поверхность может быть периодической по второму параметру, если периодической является направляющая кривая.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** вычисляется аналогично вычислению радиуса-вектора поверхности MbLoftedSurface с коррекцией смещения направляющей кривой. Поверхность на семействе кривых и направляющей приведена на рис. О.5.16.1.

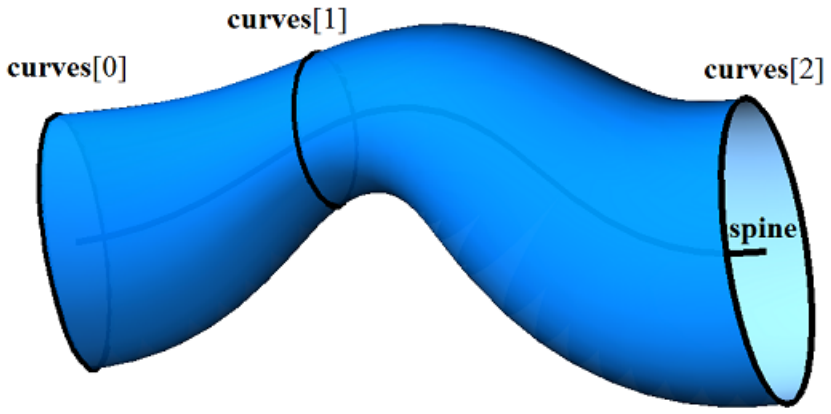


Рис. О.5.16.1.

Форма поверхности зависит от расположения образующих кривых, направляющей кривой и от множества *vParams* значений параметров, при которых поверхность проходит по кривым. Значения множества *vParams* определяются путем проецирования центров масс образующих кривых на направляющую кривую.

О.5.17. Поверхность на трёх кривых MbCornerSurface

Класс MbCornerSurface объявлен в файле surf_corner_surface.h.

Поверхность на трёх кривых MbCornerSurface описывается кривыми MbCurve3D* **curve**0, **curve**1, **curve**2, тремя точками MbCartPoint3D **vertex**[3] и тремя парами граничных значений параметров соответствующих кривых: *t*0*min*, *t*0*max*, *t*1*min*, *t*1*max*, *t*2*min*, *t*2*max*. У поверхности есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов поверхности.

Первый параметр поверхности *u* принимает значения на отрезке $0 \le u \le 1$. Поверхность не может быть периодической по первому параметру. Поверхность имеет особую точку при минимальном значении первого параметра $u=0$. В особой точке производная радиуса-вектора поверхности по второму параметру равна нулю.

Второй параметр поверхности *v* принимает значения на отрезке $0 \le v \le 1$. Поверхность не может быть периодической по второму параметру.

Кривые **curve**0, **curve**1, **curve**2 должна иметь точки пересечения или точки скрещения друг с другом. Параметры кривых *t*0*min*, *t*0*max*, *t*1*min*, *t*1*max*, *t*2*min*, *t*2*max* вычисляются по точкам пересечения или скрещения кривых и определяют рабочие участки кривых и точки **vertex**[3]. Направления кривых для поверхности не имеют значения.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\begin{aligned} \mathbf{s}(u,v) \;=\; & w0\,(\mathbf{curve}2(t2) + \mathbf{curve}1(s1) - \mathbf{vertex}[0]) + \\ & + w1\,(\mathbf{curve}0(t0) + \mathbf{curve}2(s2) - \mathbf{vertex}[1]) + \\ & + w2\,(\mathbf{curve}1(t1) + \mathbf{curve}0(s0) - \mathbf{vertex}[2]), \end{aligned}$$

где $w0=1-u$, $w1=0.5(u-uv)$, $w2=0.5(u+uv)$ – барицентрические координаты поверхности, $t0=w2\cdot t0min+(1-w2)\cdot t0max$, $s0=(1-w1)\cdot t0min+w1\cdot t0max$ – параметры кривой **curve**0, $t1=w0\cdot t1min+(1-w0)\cdot t1max$, $s1=(1-w2)\cdot t1min+w2\cdot t1max$ – параметры кривой **curve**1, $t2=w1\cdot t2min+(1-w1)\cdot t2max$, $s2=(1-w0)\cdot t2min+w0\cdot t2max$ – параметры кривой **curve**2. Поверхность на трех скрещивающихся кривых приведена на рис. О.5.17.1.

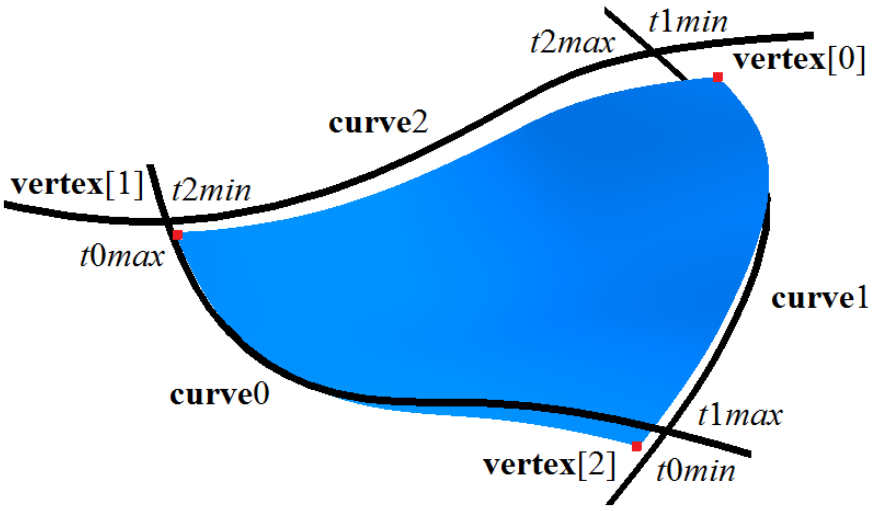


Рис. О.5.17.1.

На рис. О.5.17.2 приведена совпадающая с частью поверхности сферы поверхность, построенная на трёх одинаковых дугах окружностей: плоскости дуг окружностей ортогональны друг другу, дуги пересекаются в крайних точках, каждая дуга содержит четверть окружности.

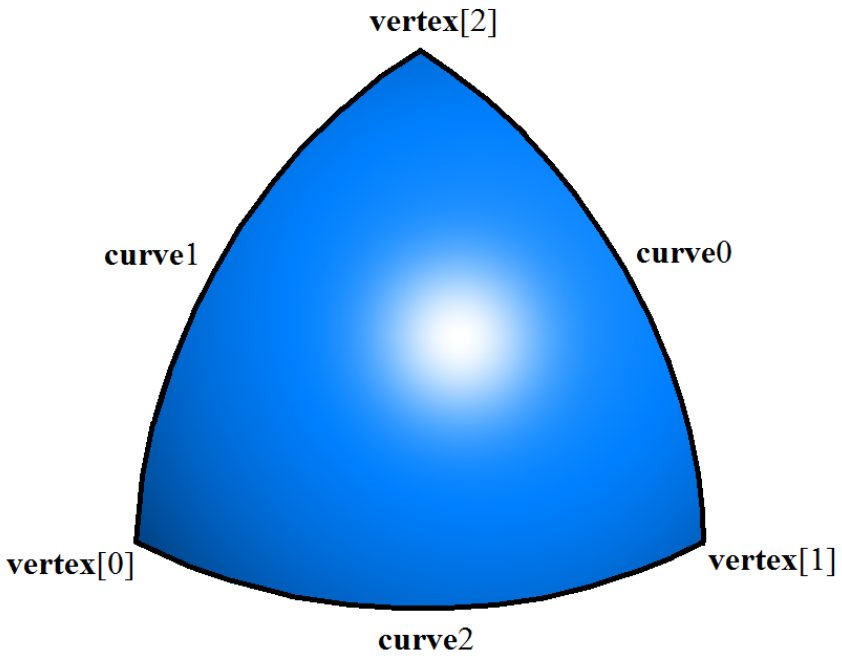


Рис. О.5.17.2.

Форма поверхности зависит от формы кривых. Если кривые не пересекаются, то поверхность не проходит по кривым. Если кривые пересекаются, то точки **vertex**[3] расположены в точках пересечения, и поверхность проходит по участкам кривых: при $w0=0$ поверхность проходит по участку кривой **curve**0, при $w1=0$ поверхность проходит по участку кривой **curve**1, при $w2=0$ поверхность проходит по участку кривой **curve**2.

О.5.18. Поверхность Кунса MbCoverSurface

Класс MbCoverSurface объявлен в файле surf_cover_surface.h.

Поверхность Кунса MbCoverSurface описывается кривыми MbCurve3D* **curve**0, **curve**1, **curve**2, **curve**3, четырьмя точками MbCartPoint3D **vertex**[4], четырьмя парами граничных значений параметров соответствующих кривых: *t*0*min*, *t*0*max*, *t*1*min*, *t*1*max*, *t*2*min*, *t*2*max*, *t*3*min*, *t*3*max*, признаком периодичности по первому параметру поверхности *uclosed*, признаком периодичности по второму параметру поверхности *vclosed*, признаком наличия полюса поверхности при начальном значении первого параметра *poleUMin*, признаком наличия полюса поверхности при конечном значении первого параметра *poleUMax*, признаком наличия полюса поверхности при начальном значении второго параметра *poleVMin*, признаком наличия полюса поверхности при конечном значении второго параметра *poleVMax*. У поверхности есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов поверхности.

Первый параметр поверхности *u* принимает значения на отрезке $0 \le u \le 1$. Поверхность может быть периодической по первому параметру, если периодическими являются кривые **curve**0 и **curve**2.

Второй параметр поверхности *v* принимает значения на отрезке $0 \le v \le 1$. Поверхность может быть периодической по второму параметру, если периодическими являются кривые **curve**1 и **curve**3.

Соседние кривые **curve**0, **curve**1, **curve**2, **curve**3 должна иметь точки пересечения или точки скрещения друг с другом. Параметры кривых *t*0*min*, *t*0*max*, *t*1*min*, *t*1*max*, *t*2*min*, *t*2*max*, *t*3*min*, *t*3*max* вычисляются по точкам пересечения или скрещения кривых и определяют рабочие участки кривых и точки **vertex**[4]. Направления кривых для поверхности не имеют значения.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\begin{aligned} \mathbf{s}(u,v) = {} & (1-v)\,(\mathbf{curve}0(t0) - (1-u)\,\mathbf{vertex}[0]) + \\ & + u \quad (\mathbf{curve}1(t1) - (1-v)\,\mathbf{vertex}[1]) + \\ & + v \quad (\mathbf{curve}2(t2) - u \quad \mathbf{vertex}[2]) + \\ & + (1-u)\,(\mathbf{curve}3(t3) - v \quad \mathbf{vertex}[3]), \end{aligned}$$

где $w0=1-u$, $w1=0.5(u-uv)$, $w2=0.5(u+uv)$ – барицентрические координаты поверхности, $t0=(1-u)\cdot t0min+u\cdot t0max$ – параметр кривой **curve**0, $t1=(1-v)\cdot t1min+v\cdot t1max$ – параметр кривой **curve**1, $t2=(1-u)\cdot t2min+u\cdot t2max$ – параметр кривой **curve**2, $t3=(1-v)\cdot t3min+v\cdot t3max$ – параметр кривой **curve**3. Поверхность Кунса на четырёх скрещивающихся кривых приведена на рис. О.5.18.1.

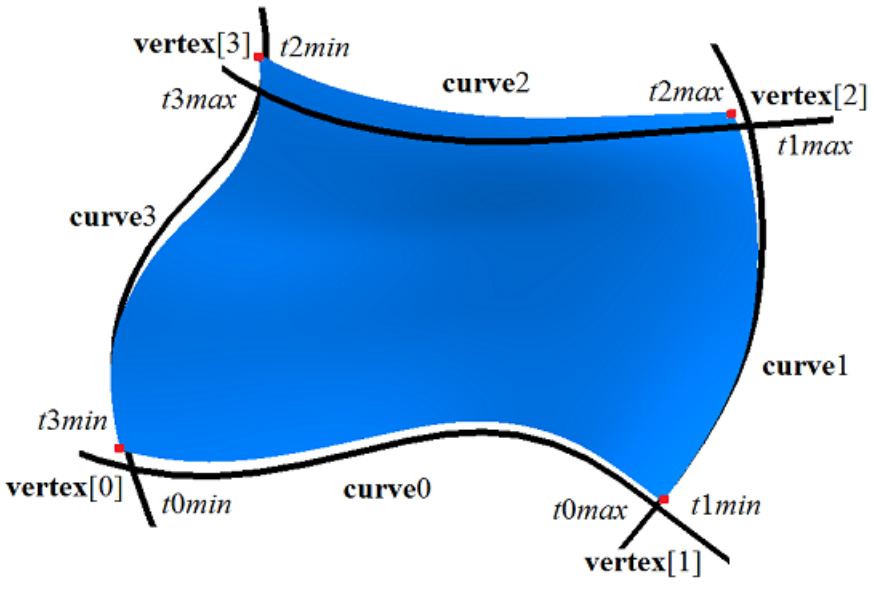


Рис. О.5.18.1.

Форма поверхности зависит от формы кривых. Если соседние кривые пересекаются в точках **vertex**[4], то поверхность проходит по участкам кривых: при $u=0$ поверхность проходит по участку кривой **curve**3, при $v=0$ поверхность проходит по участку кривой **curve**0, при $u=1$ поверхность проходит по участку кривой **curve**1, при $v=1$ поверхность проходит по участку кривой **curve**2.

О.5.19. Поверхность Кунса MbCoonsPatchSurface

Класс MbCoonsPatchSurface объявлен в файле surf_coons_surface.h.

Бикубическая поверхность Кунса MbCoonsPatchSurface построена аналогично поверхности Кунса MbCoverSurface и имеет дополнительные условия для радиуса-вектора на краях. Бикубическая поверхность Кунса MbCoonsPatchSurface описывается четырьмя кривыми MbCurve3D* **curve**0, **curve**1, **curve**2, **curve**3, производной **curve**0V радиуса-вектора поверхности вдоль кривой **curve**0 по второму параметру поверхности, производной **curve**1U радиуса-вектора поверхности вдоль кривой **curve**1 по первому параметру поверхности, производной **curve**2V радиуса-вектора поверхности вдоль кривой **curve**2 по второму параметру поверхности, производной **curve**3U радиуса-вектора поверхности вдоль кривой **curve**3 по первому параметру поверхности, четырьмя угловыми точками **vertex**[4], четырьмя производными по первому параметру поверхности в угловых точках **vertex**U[4], четырьмя производными по второму параметру поверхности в угловых точках **vertex**V[4], четырьмя смешанными производными по первому и второму параметрам поверхности в угловых точках **vertex**UV[4], четырьмя парами граничных значений параметров соответствующих кривых: *t*0*min*, *t*0*max*, *t*1*min*, *t*1*max, t*2*min, t*2*max*, *t*3*min*, *t*3*max*, признаком периодичности по первому параметру поверхности *uclosed*, признаком периодичности по второму параметру поверхности *vclosed*. У поверхности есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов поверхности.

Первый параметр поверхности u принимает значения на отрезке $0 \le u \le 1$. Поверхность может быть периодической по первому параметру, если периодическими являются кривые **curve**0, **curve**2, **curve**V0, **curve**V2, а кривые **curve**U1 и **curve**U3 совпадают.

Второй параметр поверхности v принимает значения на отрезке $0 \le v \le 1$. Поверхность может быть периодической по второму параметру, если периодическими являются кривые **curve**1 и **curve**3, **curve**U1, **curve**U3, а кривые **curve**V0 и **curve**V2 совпадают.

Соседние кривые **curve**0, **curve**1, **curve**2, **curve**3 должны иметь точки пересечения или точки скрещения друг с другом. Параметры кривых *t*0*min*, *t*0*max*, *t*1*min*, *t*1*max*, *t*2*min*, *t*2*max*, *t*3*min*, *t*3*max* вычисляются по точкам пересечения или скрещения кривых и определяют рабочие участки кривых, точки **vertex**[4], **vertex**U[4] , **vertex**V[4] , **vertex**UV[4]. Направления кривых для поверхности не имеют значения, но параметризация пар кривых **curve**0 и **curve**V0, **curve**2 и **curve**V2, **curve**1 и **curve**U1, **curve**3 и **curve**U3 должна совпадать.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией, которая приведена в книге «Геометрическое моделирование», автор Голованов Н.Н. Бикубическая поверхность Кунса строится по заранее рассчитанным данным и используется для построения сопряжений и заплаток с условиями сопряжения на краях. Бикубическая поверхность Кунса приведена на рис. О.5.19.1.

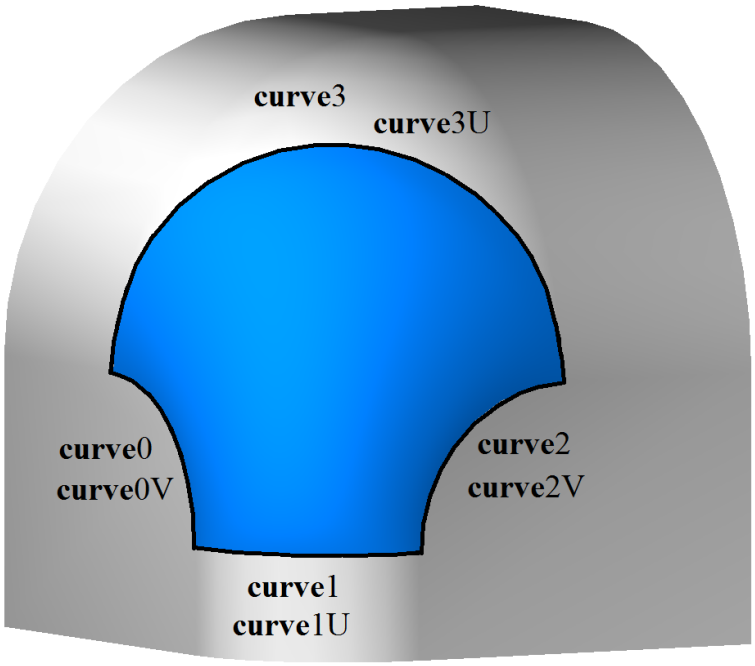


Рис. О.5.19.1.

Форма поверхности зависит от формы кривых и производных. Если соседние кривые пересекаются в точках **vertex**[4], то поверхность проходит по участкам кривых: при *u*=0 поверхность проходит по участку кривой **curve**3, при *v*=0 поверхность проходит по участку кривой **curve**0, при *u*=1 поверхность проходит по участку кривой **curve**1, при *v*=1 поверхность проходит по участку кривой **curve**2.

О.5.20. Поверхность на сети кривых MbMeshSurface

Класс MbMeshSurface объявлен в файле surf_mesh_surface.h.

Поверхность на сети кривых MbMeshSurface описывается множеством кривых RPArray<MbCurve3D>**uCurves**, множеством кривых RPArray<MbCurve3D>**vCurves**, множеством значений первого параметра поверхности *uParams*, множеством значений второго параметра поверхности *vParams*, граничными значениями первого параметра поверхности *umin* и *umax*, граничными значениями второго параметра поверхности *vmin* и *vmax*, признаками наличия полюса поверхности при граничных значениях первого параметра *poleUMin*, *poleUMax*, признаками наличия полюса поверхности при граничных значениях второго параметра *poleVMin*, *poleVMax,* признаком периодичности по первому параметру поверхности *uclosed*, признаком периодичности по второму параметру поверхности *vclosed*, типом *type*0 сопряжения поверхности на краю, соответствующем второму параметру *vmin*, типом *type*1 сопряжения поверхности на краю, соответствующем первому параметру *umin*, типом *type*2 сопряжения поверхности на краю, соответствующем второму параметру *vmax*, типом *type*3 сопряжения поверхности на краю, соответствующем первому параметру *umax*. У поверхности есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов поверхности.

Количество элементов множества кривых **vCurves** и множества значений первого параметра поверхности *uParams* согласованы так, что точкам кривой **vCurves**[*j*] соответствует параметр *uParams*[*j*]. Первый параметр поверхности *u* принимает значения на отрезке *uParams*[0]≤*u*≤*uParams*[*uParams*.MaxIndex()]. Поверхность может быть периодической по первому параметру, если периодическими являются все кривые **uCurves**.

Количество элементов множества кривых **uCurves** и множества значений второго параметра поверхности *vParams* согласованы так, что точкам кривой **uCurves**[*i*] соответствует параметр *vParams*[*i*]. Второй параметр поверхности *v* принимает значения на отрезке

vParams[0]≤*v*≤*vParams*[*vParams*.MaxIndex()]. Поверхность может быть периодической по второму параметру, если периодическими являются все кривые **vCurves**.

Каждая кривая **uCurves**[*i*] должна иметь точки пересечения или точки скрещения с каждой кривой **vCurves**[*j*]. Соседние кривые множества **uCurves** не должны иметь противоположные направления. Соседние кривые множества **vCurves** также не должны иметь противоположные направления.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией, которая приведена в книге «Геометрическое моделирование», автор Голованов Н.Н. Поверхность на сети кривых приведена на рис. О.5.20.1.

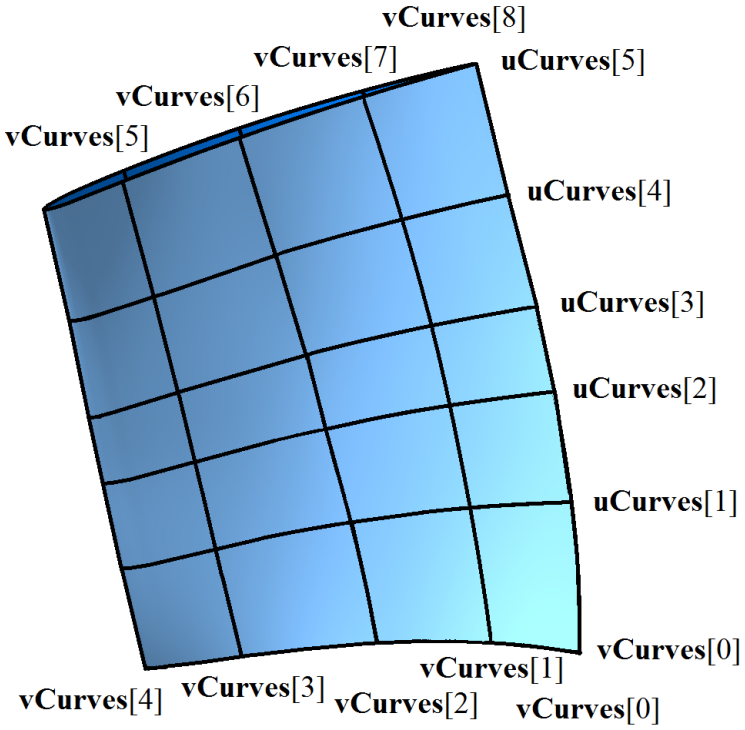


Рис. О.5.20.1.

Форма поверхности зависит от формы кривых, их взаимного расположения и значений параметров множеств *uParams* и *vParams*. Если каждая кривая **uCurves**[*i*] пересекается с каждой кривой **vCurves**[*j*], то поверхность проходит по кривым **vCurves**[*j*] при параметрах *u*=*uParams*[*j*] и по кривым **uCurves**[*i*] при параметрах *v*=*vParams*[*i*].

О.5.21. Поверхность соединения MbJoinSurface

Класс MbJoinSurface объявлен в файле surf_joint_surface.h.

Поверхность соединения MbJoinSurface описывается множеством кривых RPArray<MbCurve3D>**curves**, узловым вектором *knots*, порядком сплайна *degree*, граничными значениями первого параметра поверхности *umin* и *umax*, признаком периодичности первого параметра поверхности *closedU*, признаком периодичности второго параметра поверхности *closedV*, признаком наличия полюса поверхности при граничных значениях первого параметра *isPoleUmin*, *isPoleUmax*, признаком наличия полюса поверхности при граничных значениях второго параметра *isPoleUmin*, *isPoleUmax*.

Кривые **curves** согласованы друг с другом: имеют одинаковое направление и одинаковую область определения параметра. Первый параметр поверхности *u* совпадает с параметром кривых **curves**, который является общим для них. Первый параметр поверхности принимает значения на отрезке *umin*≤*u*≤*umax*, который соответствует области определения кривых **curves**. Поверхность может быть периодической по первому параметру, если периодическими являются все кривые **curves**. Пусть узловой вектор *knots* содержит *knotsCount* элементов, а количество кривых в множестве **curves** равно *curvesCount*. Количества элементов в множествах связаны равенством *curvesCount*+*degree*=*knotsCount*.

Второй параметр поверхности *v* принимает значения на отрезке *vmin*≤*v*≤*vmax*, где *vmin*=*knots*[*degree*–1], *vmax*=*knots*[*knotsCount*–*degree*]. Поверхность не может быть периодической по второму параметру.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{s}(u,v) = \frac{\sum_{j=0}^{curvesCount-1} N_j^{degree}(v)\,\mathbf{curves}[j](u)}{\sum_{j=0}^{curvesCount-1} N_j^{degree}(v)},$$

где $N_j^{degree}(v)$ – B-сплайны порядка *degree* для *j*–ой кривой **curves**[*j*]. Поверхность соединения приведена на рис. О.5.21.1.

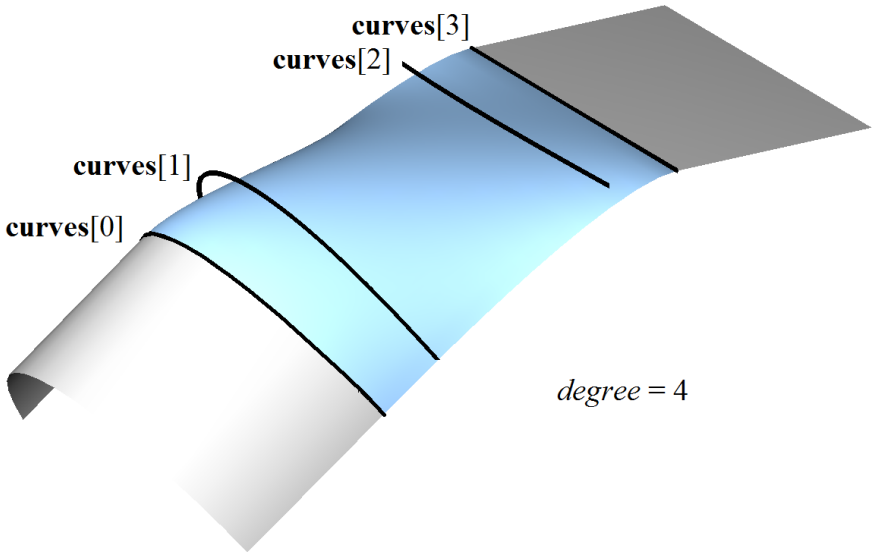


Рис. О.5.21.1.

Каждая кривая **s**(*const*,*v*) с фиксированным первым параметром поверхности *u*=const является NURBS-кривой порядка *degree*, построенной по точкам **curves**[*i*](*const*).

О.5.22. NURBS-поверхность MbSplineSurface

Класс MbSplineSurface объявлен в файле surf_spline_surface.h.

NURBS-поверхность (NonUniform Rational B-Spline поверхность) MbSplineSurface описывается контрольными точками SArray<MbCartPoint3D>**points**[*i*][*j*], *i*=0,1,...,*vcount*–1, *j*=0,1,...,*ucount*–1, условно расположенными в узлах прямоугольной таблицы с *ucount* колонками и *vcount* строками, весами контрольных точек, заданных в таблице *weight*[*i*][*j*], порядком B-сплайнов вдоль первого параметра поверхности *udegree*, порядком B-сплайнов вдоль второго параметра поверхности *vdegree*, узловым вектором вдоль первого параметра *uknots*, узловым вектором вдоль второго параметра *vknots*, признаками периодичности поверхности по первому и второму параметрам *uclosed* и *vclosed*. У поверхности есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов поверхности.

Порядок B-сплайнов вдоль параметров поверхности совпадает с порядком разделённой разности, по которой вычисляются соответствующие B-сплайны. Узловые векторы *uknots* и *vknots* представляют собой неубывающие последовательности действительных чисел и определяют область определения параметров поверхности и ее форму. Пусть узловой вектор *uknots* содержит *uknotsCount* элементов, а количество точек в каждой строке прямоугольной таблицы равно *ucount*. Для непериодической по первому параметру NURBS-поверхности количества элементов в множествах связаны равенством

ucount+*degree*=*uknotsCount*. Для периодической NURBS-поверхности количество элементов в множествах связаны равенством *knotsCount*+2*degree*–1=*knotsCount*.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(u,v) = \frac{\sum_{i=0}^{vcount-1}\sum_{j=0}^{ucount-1} N_i^{vdgree}(v) N_j^{udgree}(u) weight[i][j]\mathbf{points}[i][j]}{\sum_{i=0}^{vcount-1}\sum_{j=0}^{ucount-1} N_i^{vdgree}(v) N_j^{udgree}(u) weight[i][j]},$$

где $N_i^{vdegree}(v)$ и $N_j^{udegree}(u)$ – B-сплайны.

На рис. О.5.22.1 приведены отрезки, связывающие соседние контрольные точки **points**[*i*][*j*].

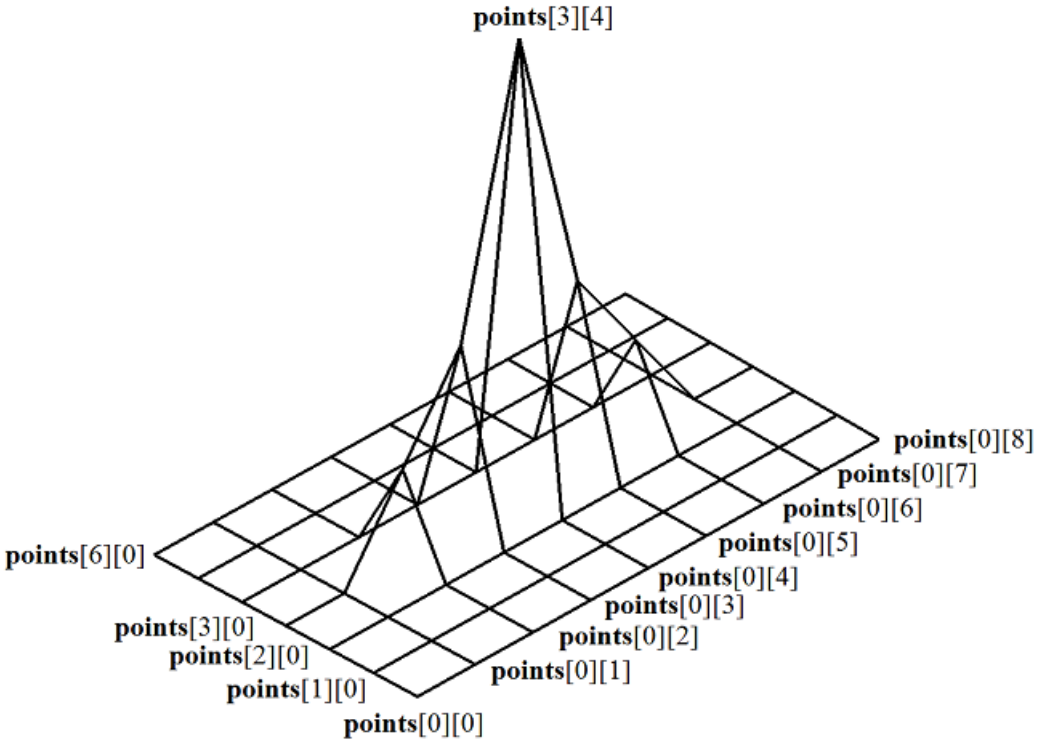


Рис. О.5.22.1.

Рис. О.5.22.1 демонстрирует условное расположение контрольных точек в узлах прямоугольной таблицы. NURBS-поверхность, построенная на тех же контрольных точках, приведена на рис. О.5.22.2.

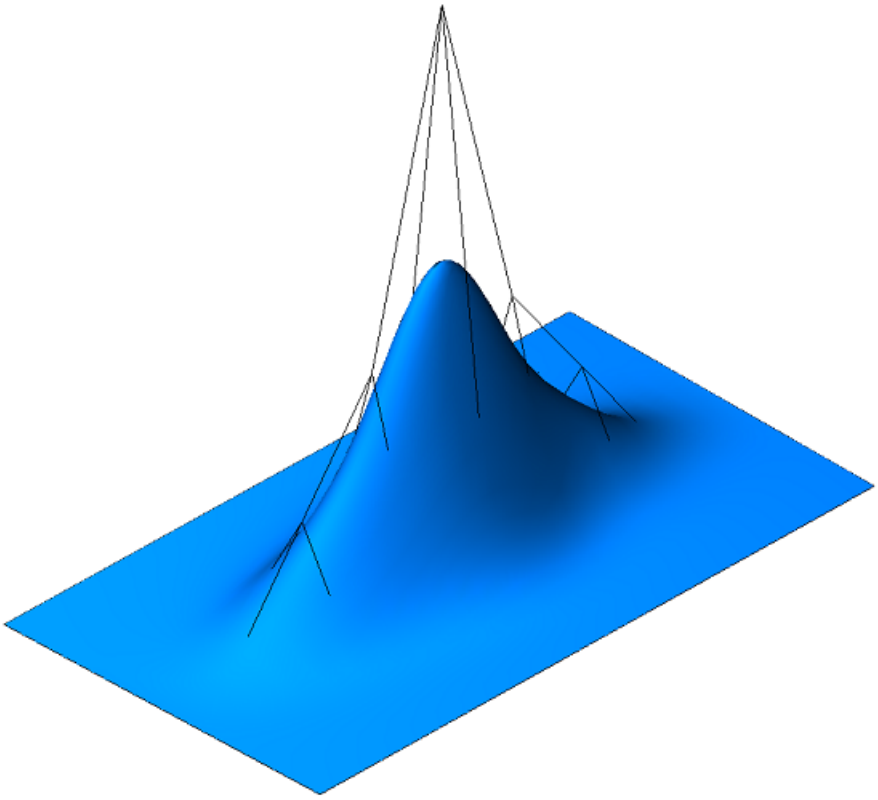


Рис. О.5.22.2.

Кривые на поверхности **s**(*const*,*v*) и **s**(*u*,*const*) с параметрами *u*=const или *v*=const представляют собой *B*-кривые степени *udegree* и *vdegree*, соответственно. По первому параметру поверхность имеет порядок *udegree*, а по второму параметру поверхность имеет порядок *vdegree*. Область изменения параметров непериодической NURBS-поверхности представляет собой прямоугольник: *uknots*[*udegree*–1]≤*u*≤*uknots*[*ucount*], *vknots*[*vdegree*–1]≤*v*≤*vknots*[*vcount*].

Поверхность может быть периодической как по первому параметру, так и по второму параметру. Для периодически замкнутой поверхности узловые векторы *uknots* и *vknots* имеют на *udegree*–1 и *vdegree*–1 элементов, соответственно, больше. Область изменения параметров периодической по обоим параметрам NURBS-поверхности представляет собой прямоугольник: *uknots*[*udegree*–1]≤*u*≤*uknots*[*ucount*+*udegree*–1], *vknots*[*vdegree*–1]≤*v*≤*vknots*[*vcount*+*vdegree*–1].

Каждая поверхность может построить свою NURBS-копию виртуальным методом **NurbsSurface**(const MbNurbsParameters & *uParam*, const MbNurbsParameters & *vParam*).

О.5.23. Эквидистантная поверхность MbOffsetSurface

Класс MbOffsetSurface объявлен в файле surf_offset_surface.h.

Эквидистантная поверхность MbOffsetSurface описывается базовой поверхностью MbSurface* **basisSurface**, смещением вдоль нормали базовой поверхности *distance*, граничными значениями первого параметра базовой поверхности *u*0*min*, *u*0*max*, граничными значениями второго параметра базовой поверхности *v*0*min*, *v*0*max*, признаками периодичности базовой поверхности *u*0*closed*, *v*0*closed*, увеличениями граничных значений первого параметра базовой поверхности *dumin*, *dumax*, увеличениями граничных значений второго параметра базовой поверхности *dvmin*, *dvmax*. У поверхности есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов поверхности.

Вычисление радиуса-вектора точки эквидистантной поверхности выполняется следующим образом. Для заданного параметра вычисляется точка базовой поверхности и нормаль в этой точке.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{r}(u,v) = \mathbf{basisSurface}(u,v) + \mathbf{normal}(u,v) \cdot distance,$$

где **normal**(*u*,*v*) – нормаль поверхности в заданной точке. Эквидистантная поверхность и её базовая поверхность приведены на рис. О.5.23.1.

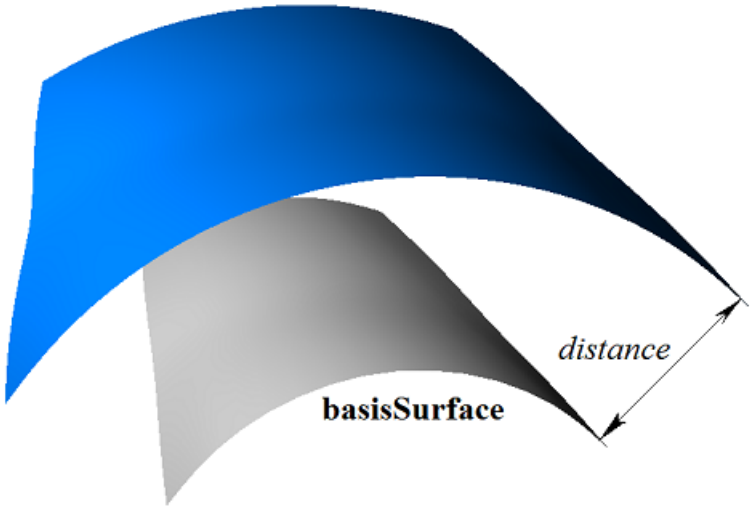


Рис. О.5.23.1.

Область изменения параметра эквидистантной поверхности может отличаться от области изменения параметров базовой поверхности. Область изменения первого параметра эквидистантной поверхности определяется неравенствами: $u0min+dumin \le u \le u0max+dumax$. Область изменения второго параметра эквидистантной поверхности определяется неравенствами: $v0min+dvmin \le v \le v0max+dvmax$. Эквидистантная поверхность с отрицательным смещением и увеличенной областью определения параметров и её базовая поверхность приведены на рис. О.5.23.2.

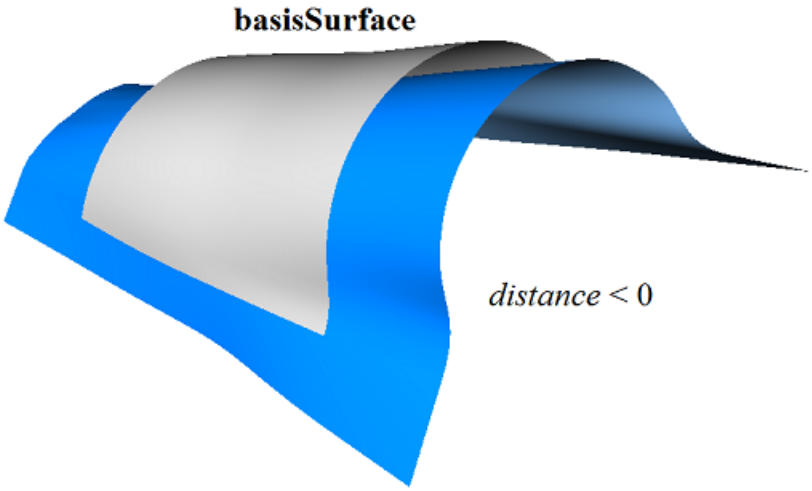


Рис. О.5.23.2.

В качестве базовой поверхности для эквидистантной поверхности не должна использоваться другая эквидистантная поверхность, а должна использоваться базовая поверхность последней с соответствующим пересчетом величины смещения.

Каждая поверхность может построить эквидистантную поверхность виртуальным методом **Offset**(double *distance*, bool *sense*).

О.5.24. Поверхность фаски MbChamferSurface

Класс MbChamferSurface объявлен в файле surf_chamfer_surface.h.

Поверхность фаски MbChamferSurface принадлежит к группе поверхностей сопряжения MbSmoothSurface. Поверхность фаски описывается кривой на первой сопрягаемой поверхности MbSurfaceCurve* **curve**1, кривой на второй сопрягаемой поверхности MbSurfaceCurve* **curve**2, способом построения фаски *form*, катетами фаски *distance*1 и *distance*2, граничными значениями *umin* и *umax* параметра кривых **curve**1 и **curve**2, граничными значениями второго параметра поверхности *vmin* и *vmax*, признаком периодичности первого параметра поверхности *uclosed*, признаком наличия полюса поверхности при начальном значении первого параметра *poleMin*, признаком наличия полюса поверхности при конечном значении первого параметра *poleMax*.

Кривые **curve**1 и **curve**2 согласованы друг с другом и имеют одинаковую область определения параметра. Первый параметр поверхности *u* совпадает с параметром кривых **curve**1 и **curve**2, который является общим для них. Первый параметр поверхности принимает значения на отрезке $umin \le u \le umax$, который соответствует области определения кривых **curve**1 и **curve**2. Поверхность может быть периодической по первому параметру, если периодическими являются кривые **curve**1 и **curve**2.

Второй параметр поверхности *v* принимает значения на отрезке: $vmin \le v \le vmax$. Значение $v=vmin$ соответствует точке на кривой **curve**1, значение $v=vmax$ соответствует точке на кривой **curve**2. Поверхность не может быть периодической по второму параметру.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{s}(u,v) = \mathbf{curve}1(u)\,(1-w) + \mathbf{curve}2(u)\,w,$$

где $w = \dfrac{v - vmin}{vmax - vmin}$.

Поверхность фаски приведена на рис. О.5.24.1.

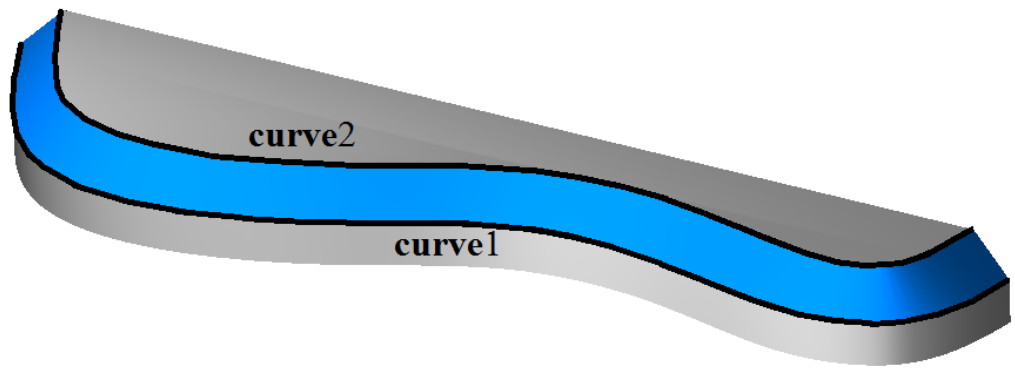


Рис. О.5.24.1.

Кривые поверхности **s**(*const*,*v*) с параметрами *u*=const являются отрезками прямой. Поверхность может иметь полюс при $u=umin$ и $u=umax$, если соответствующие края кривых **curve**1 и **curve**2 совпадают.

О.5.25. Поверхность скругления MbFilletSurface

Класс MbFilletSurface объявлен в файле surf_fillet_surface.h.

Поверхность скругления MbFilletSurface принадлежит к группе поверхностей сопряжения MbSmoothSurface. Поверхность скругления описывается кривой на первой сопрягаемой поверхности MbSurfaceCurve* **curve**1, кривой на второй сопрягаемой поверхности MbSurfaceCurve* **curve**2, кривой MbCurve3D* **curve**0, функцией MbFunction* **weights**0 веса кривой **curve**0, способом

построения скругления *form*, радиусами скругления *distance*1 и *distance*2, коэффициентом формы *conic*, граничными значениями *umin* и *umax* параметра кривых **curve**1, **curve**2, **curve**0 и функции **weights**0, граничными значениями второго параметра поверхности *vmin* и *vmax*, признаком периодичности первого параметра поверхности *uclosed*, признаком наличия полюса поверхности при начальном значении первого параметра *poleMin*, признаком наличия полюса поверхности при конечном значении первого параметра *poleMax*, признаком равномерной параметризации поверхности по второму параметру *even*, признаком гладкого сопряжения поверхности с сопрягаемыми поверхностями *equable*, признаком *byCurve*1 наличия кромки вдоль кривой **curve**2 или **curve**1 (*equable*=false). У поверхности есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов поверхности.

Кривые **curve**1, **curve**2, **curve**0 и функция **weights**0 согласованы друг с другом и имеют одинаковую область определения параметра. Первый параметр поверхности *u* совпадает с параметром кривых **curve**1, **curve**2, **curve**0 и функции **weights**0, который является общим для них. Первый параметр поверхности принимает значения на отрезке *umin*≤*u*≤*umax*, который соответствует области определения кривых **curve**1, **curve**2, **curve**0 и функции **weights**0. Поверхность может быть периодической по первому параметру, если периодическими являются кривые **curve**1, **curve**2, **curve**0 и функция **weights**0.

Второй параметр поверхности *v* принимает значения на отрезке: *vmin*≤*v*≤*vmax*. Значение *v*=*vmin* соответствует точке на кривой **curve**1, значение *v*=*vmax* соответствует точке на кривой **curve**2. Поверхность не может быть периодической по второму параметру.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{s}(u,v)=\frac{(1-v)^2\mathbf{curve}1(u)+2v(1-v)weight0(u)\mathbf{curve}0(u)+v^2\mathbf{curve}2(u)}{(1-v)^2+2v(1-v)weight0(u)+v^2}.$$

Каждая кривая **s**(*const*,*v*) с фиксированным первым параметром поверхности *u*=const является NURBS-кривой третьего порядка, построенной по точкам **curve**1(*u*), **curve**0(*u*), **curve**2(*u*), у которой крайние точки имеют единичный вес, а средняя точка **curve**0(*u*) имеет вес **weights**0(*u*). При *conic*=_ARC_ функция **weights**0(*u*) вычисляется из условия, что все кривые **s**(*const*,*v*) являются дугами окружности. При *conic*≠_ARC_ функция **weights**0 является константой и равна коэффициенту формы *conic*. Поверхность скругления приведена на рис. О.5.25.1.

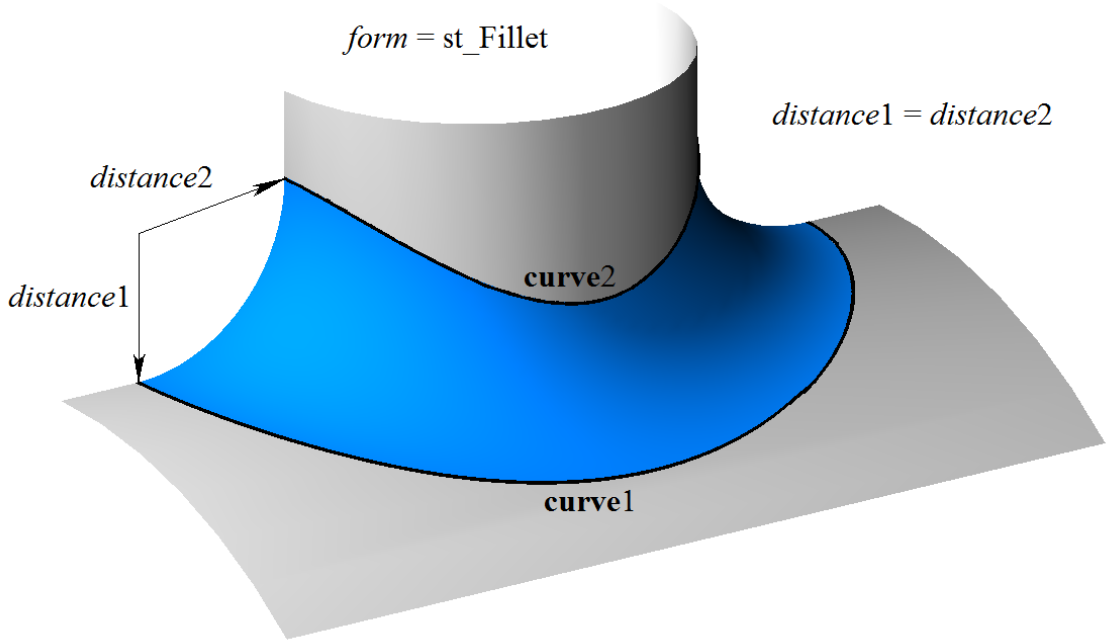


Рис. О.5.25.1.

В общем случае поверхность гладко сопрягается с поверхностями, на которых расположены кривые **curve**1(*u*) и **curve**2(*u*). В этом случае параметр *equable*=true. Если *equable*=false, то по одной

из кривых **curve**1 или **curve**2 сопряжение является гладким, а другая кривая является кромкой. При *byCurve*1=true сопряжение является гладким по кривой **curve**1, в противном случае сопряжение является гладким по кривой **curve**2. Поверхность скругления с сохранением кромки приведена на рис. О.5.25.2.

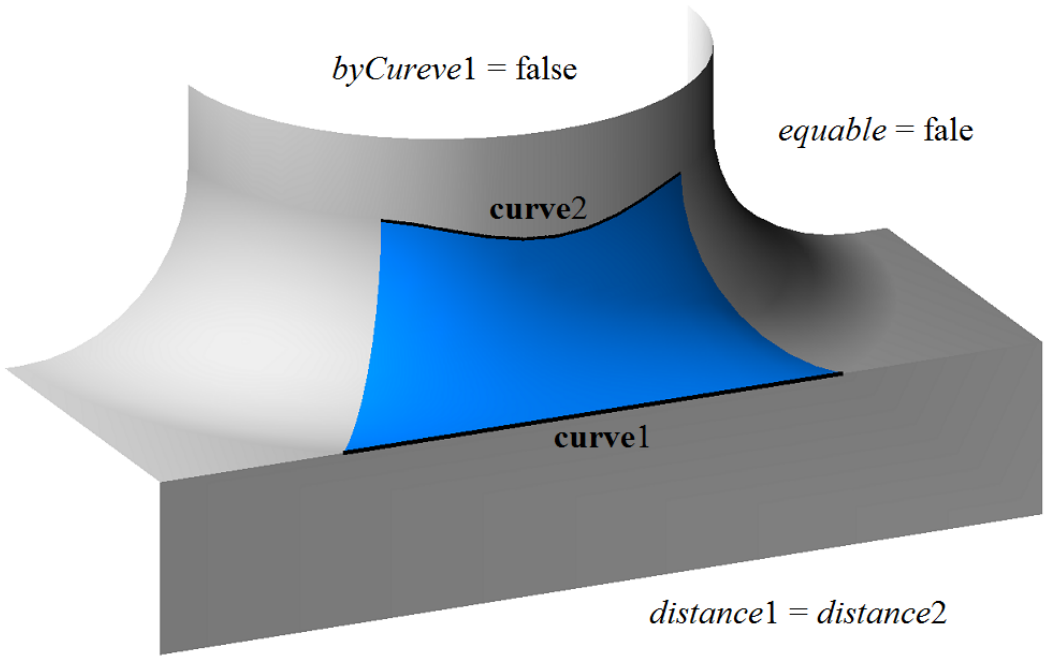


Рис. О.5.25.2.

Если радиусы скругления *distance*1 и *distance*2 не равны, то поверхность скругления в сечении **s**(*const*,*v*) с параметрами *u*=const описывает эллипс. Эллиптическая поверхность скругления приведена на рис. О.5.25.3.

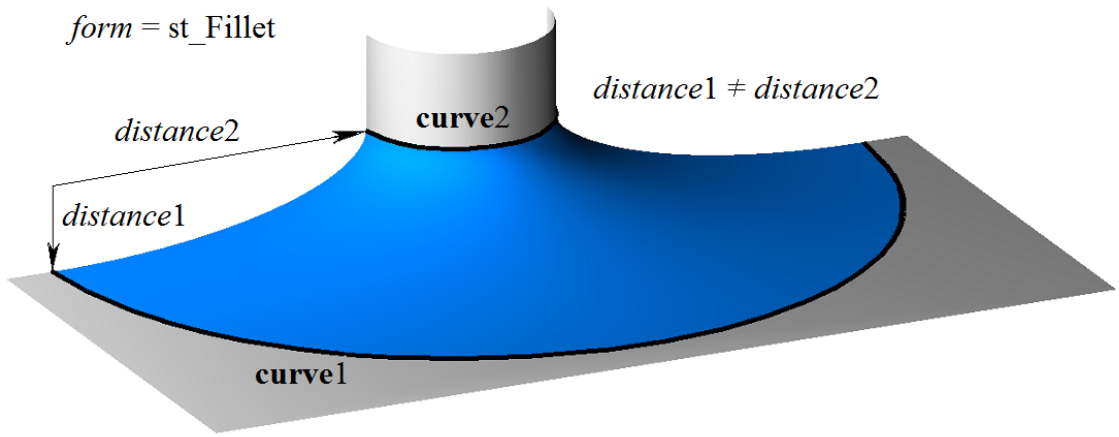


Рис. О.5.25.3.

В общем случае способ скругления *form*=st_Fillet. Если способ скругления *form*=st_Span, то *distance*1=*distance*2 и равны расстоянию между кривыми **curve**1 и **curve**2, а радиус поверхности скругления является переменным. Поверхность скругления с сохранением расстояния между опорными кривыми приведена на рис. О.5.25.4.

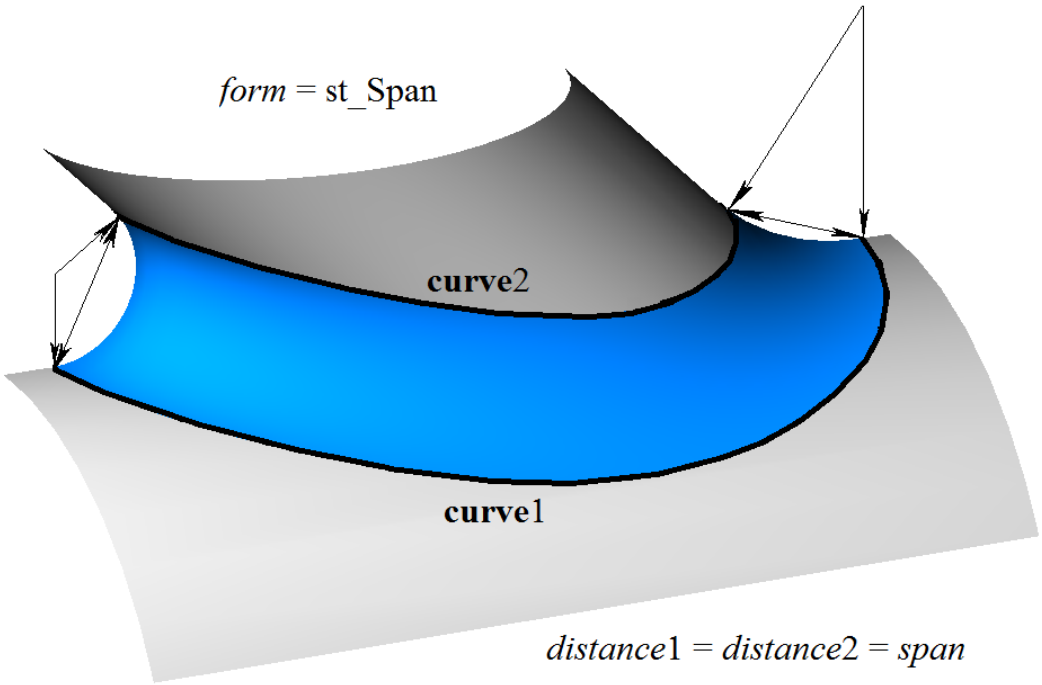


Рис. О.5.25.4.

Кривые поверхности **s**(*const*,*v*) с параметрами *u*=const являются коническими сечениями, форма которых зависит от параметра *conic*. Если *conic*=_ARC_=0, то кривые поверхности **s**(*const*,*v*) являются дугами окружности. Если *conic*=0.5, то кривые поверхности **s**(*const*,*v*) являются дугами параболы. Если 0.05<*conic*<0.5, то кривые поверхности **s**(*const*,*v*) являются дугами эллипса. Если 0.5<*conic*<0.95, то кривые поверхности **s**(*const*,*v*) являются дугами гиперболы. Поверхность может иметь полюс при *u*=*umin* и *u*=*umax*, если соответствующие края кривых **curve**0, **curve**1 и **curve**2 совпадают.

О.5.26. Поверхность скругления MbChannelSurface

Класс MbChannelSurface объявлен в файле surf_channel_surface.h.

Поверхность скругления с переменным радиусом MbChannelSurface является наследником поверхности скругления MbFilletSurface. Поверхность скругления с переменным радиусом описывается кривой на первой сопрягаемой поверхности MbSurfaceCurve* **curve**1, кривой на второй сопрягаемой поверхности MbSurfaceCurve* **curve**2, кривой MbCurve3D* **curve**0, функцией MbFunction* **weights**0 веса кривой **curve**0, функцией изменения радиуса MbFunction* **function**, способом построения скругления *form*, радиусами скругления *distance*1 и *distance*2, коэффициентом формы *conic*, граничными значениями *umin* и *umax* параметра кривых **curve**1, **curve**2, **curve**0 и функций **weights**0 и **function**, граничными значениями второго параметра поверхности *vmin* и *vmax*, признаком периодичности первого параметра поверхности *uclosed*, признаком наличия полюса поверхности при начальном значении первого параметра *poleMin*, признаком наличия полюса поверхности при конечном значении первого параметра *poleMax*, У поверхности есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов поверхности.

Кривые **curve**1, **curve**2, **curve**0 и функции **weights**0, **function** согласованы друг с другом и имеют одинаковую область определения параметра. Первый параметр поверхности *u* совпадает с параметром кривых **curve**1, **curve**2, **curve**0 и функций **weights**0 и **function**, который является общим для них. Первый параметр поверхности принимает значения на отрезке *umin*≤*u*≤*umax*, который соответствует области определения кривых **curve**1, **curve**2, **curve**0 и функций **weights**0 и **function**. Поверхность может быть периодической по первому параметру, если периодическими являются кривые **curve**1, **curve**2, **curve**0 и функции **weights**0 и **function**.

Второй параметр поверхности *v* принимает значения на отрезке: *vmin*≤*v*≤*vmax*. Значение *v*=*vmin* соответствует точке на кривой **curve**1, значение *v*=*vmax* соответствует точке на кривой **curve**2. Поверхность не может быть периодической по второму параметру.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{s}(u,v) = \frac{(1-v)^2\,\mathbf{curve}1(u) + 2t(1-v)weight0(u)\mathbf{curve}0(u) + v^2\mathbf{curve}2(u)}{(1-v)^2 + 2v(1-v)weight0(u) + v^2}.$$

Каждая кривая **s**(*const*,*v*) с фиксированным первым параметром поверхности *u*=const является NURBS-кривой третьего порядка, построенной по точкам **curve**1(*u*), **curve**0(*u*), **curve**2(*u*), у которой крайние точки имеют единичный вес, а средняя точка **curve**0(*u*) имеет вес **weights**0(*u*). При изменении первого параметра поверхности радиусы скругления меняются по законам R1(*u*)=*distance*1·**function**(*u*) и R2(*u*)=*distance*2·**function**(*u*). При *conic*=_ARC_ функция **weights**0(*u*) вычисляется из условия, что все кривые **s**(*const*,*v*) являются дугами окружности. При *conic*≠_ARC_ функция **weights**0 является константой и равна коэффициенту формы *conic*. Поверхность скругления с переменным радиусом приведена на рис. О.5.26.1.

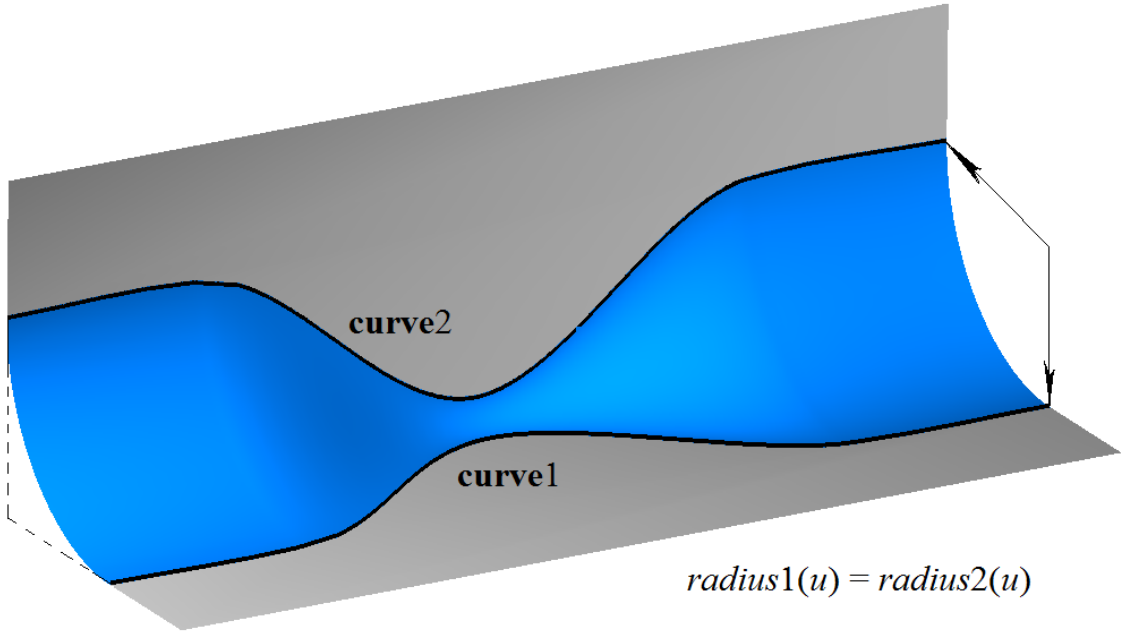


Рис. О.5.26.1.

Поверхность скругления с переменным радиусом гладко сопрягается с поверхностями, на которых расположены кривые **curve**1(*u*) и **curve**2(*u*), при этом параметр *equable*=true и *form*=st_Fillet.

Кривые поверхности **s**(*const*,*v*) с параметрами *u*=const являются коническими сечениями, форма которых зависит от параметра *conic*. Если *conic*=_ARC_=0, то кривые поверхности **s**(*const*,*v*) являются дугами окружности. Если *conic*=0.5, то кривые поверхности **s**(*const*,*v*) являются дугами параболы. Если 0.05<*conic*<0.5, то кривые поверхности **s**(*const*,*v*) являются дугами эллипса. Если 0.5<*conic*<0.95, то кривые поверхности **s**(*const*,*v*) являются дугами гиперболы. Поверхность может иметь полюс при *u*=*umin* и *u*=*umax*, если соответствующие края кривых **curve**0, **curve**1 и **curve**2 совпадают.

О.5.27. Поверхность с произвольными границами MbCurveBoundedSurface

Класс MbCurveBoundedSurface объявлен в файле surf_curve_bounded_surface.h.

Поверхность MbCurveBoundedSurface описывается базовой поверхностью MbSurface* **basisSurface**, множеством граничных кривых **RPArray**<MbContourOnSurface>**curves** (контуров на поверхности) и граничными значениями параметров *umin*, *umax*, *vmin*, *vmax*, определяющими габаритный прямоугольник области определения параметров.

Поверхность MbCurveBoundedSurface имеет криволинейные края и может иметь произвольные вырезы внутри. Границы поверхности описывают контуры на поверхности контейнера **curves**.

В методе **PointOn**(double *u*, double *v*, MbCartPoint3D & **s**) радиус-вектор поверхности **s** описывается векторной функцией

$$\mathbf{s}(u,v) = \mathbf{basisSurface}(u,v), \qquad u,v \in \Omega,$$

где Ω – область определения параметров, которая представляет собой двумерную связную область. Радиус-вектор ограниченной контурами поверхности описывается тем же законом, что и поверхность **basisSurface**, но имеет другую область определения параметров. Базовая поверхность и контуры на ней приведены на рис. О.5.27.1

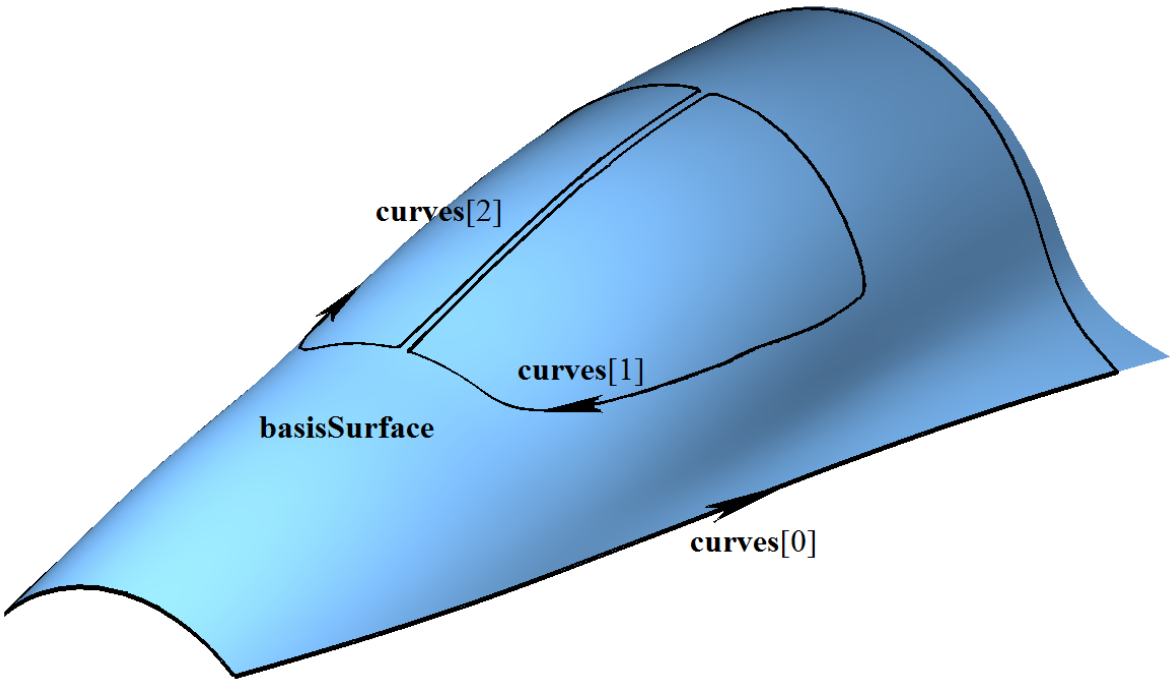


Рис. О.5.27.1

В общем случае область определения параметров Ω ограниченной контурами поверхности может выходить за область определения параметров поверхности **basisSurface** Вне области определения параметров поверхности **basisSurface** радиус-вектор **r**(*u*,*v*) вычисляется методом **_PointOn**(*u*,*v*,**s**) в соответствии с правилами продолжения поверхности **basisSurface**. Поверхность с произвольной границей приведена на рис. О.5.27.2.

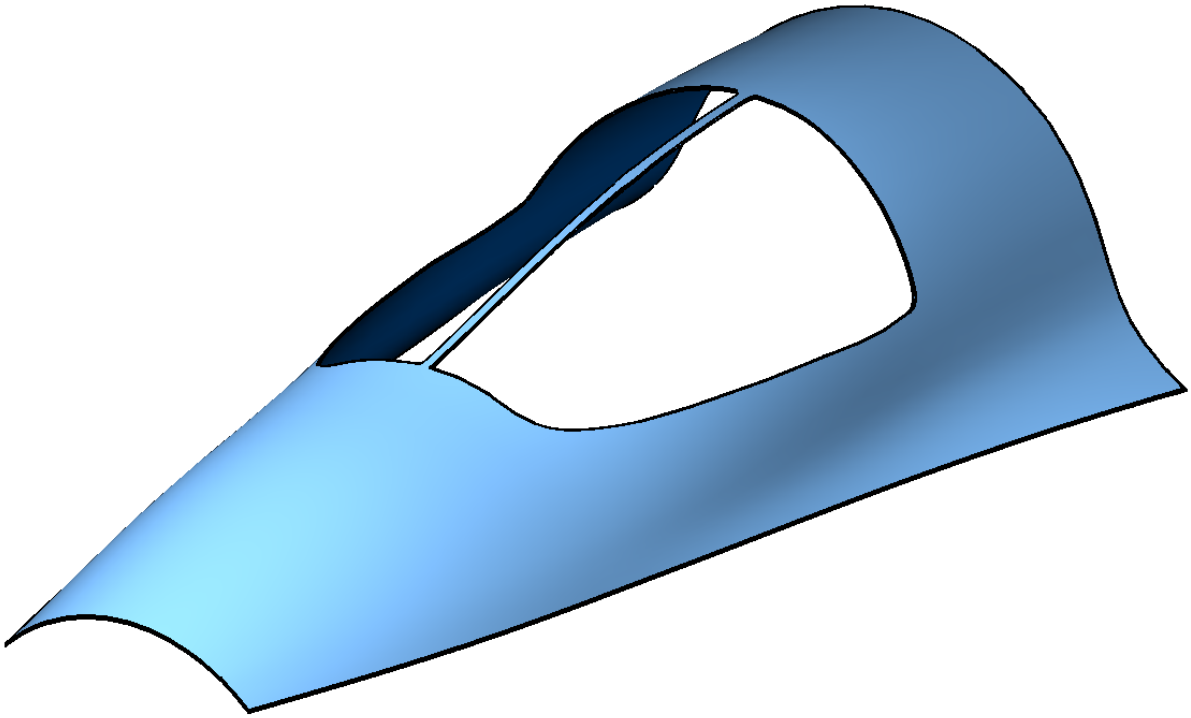


Рис. О.5.27.2.

Каждая кривая контейнера **curves** описывает одну замкнутую границу поверхности. Каждая кривая контейнера **curves** представляет собой контур на поверхности MbContourOnSurface. Каждый контур на поверхности описывается поверхностью **surface**, совпадающей с **basisSurface,** и двумерным контуром ***contour***. Контур ***contour*** представляет собой составную замкнутую двумерную кривую. Сегментами контура ***contour*** могут быть любые двумерные кривые MbCurve за исключением составных кривых MbContour. В общем случае в местах стыковки сегментов производные контура терпят разрыв по длине и направлению. Двумерные контуры описывают границы области определения Ω поверхности MbCurveBoundedSurface. Граничные контуры контейнера **curves** удовлетворяют следующим условиям: они не пересекают сами себя и друг друга, первый контур **curves**[0] контейнера описывает внешнюю границу и содержит внутри все остальные контуры, которые описывают внутренние вырезы в поверхности. Внутренние контуры не могут быть вложены друг в друга. Для быстрого определения положения некоторой двумерной точки относительно области определения параметров поверхности граничные контуры ориентированы так, что при движении вдоль границы поверхность всегда находится слева, если смотреть навстречу нормали поверхности. Таким образом, внешний контур ориентирован так, что обход по нему осуществляется против движения часовой стрелки, если смотреть на поверхность навстречу её нормали, а внутренние контуры ориентированы в противоположном направлении.

Базовой поверхностью **basisSurface** не может быть поверхность с произвольными границами MbCurveBoundedSurface. Если нужно построить поверхность с произвольными границами на основе другой поверхности с произвольными границами, то в качестве базовой поверхности следует использовать базовую поверхность последней.

О.6. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ОБЪЕКТЫ

К специальным объектам относятся скалярные функции, представляющие собой аналоги кривых в одномерном пространстве. Специальные объекты используются для конкретно определенных целей, например, для описания изменения радиуса поверхности скругления в виде функции одного из параметров поверхности. В двумерном пространстве к специальным объектам относятся мультилиния и область. Для обслуживания мультилинии на базе двумерного контура создан контур с разрывами. В трёхмерном пространстве специальные объекты описывают базовые точки других объектов, резьбу, выносные линии, шероховатости и прочие условные обозначения.

О.6.1. Функция MbFunction

Класс MbFunction объявлен в файле function.h.

Функция MbFunction является абстрактным классом, наследником классов MbRefItem и TapeBase, рис. О.6.1.1.

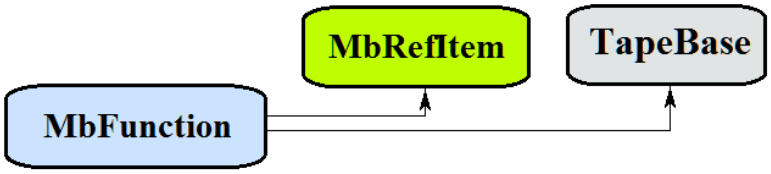


Рис. О.6.1.1.

В геометрическом ядре C3D реализованы следующие скалярные функции, которые являются наследниками класса MbFunction:

MbConstFunction – константная функция,
MbLineFunction – линейная функция,
MbCubicFunction – кубическая функция Эрмита,
MbCubicSplineFunction – кубическая сплайн-функция,
MdCharacterFunction – аналитическая функция,

MbFunction представляет собой скалярную функцию

$$function(t) = f(t)$$

скалярного параметра t, принимающего значения на отрезке $[t_{min}, t_{max}]$. Область изменения параметра функции есть отрезок $[t_{min}, t_{max}]$ в одномерном пространстве. Функция $f(t)$ должна быть однозначной и непрерывной.

Граничные значения t_{min} и t_{max} области определения параметра выдают методы функции double **GetTMin**() и double **GetTMax**(), соответственно.

Функцию будем называть периодической, если существует $p>0$, такое, что $f(t\pm kp)=f(t)$, где k – целое число. Метод bool **IsClosed**() периодической функции возвращает true. Метод double **GetPeriod**() периодической функции или функции, которая может быть расширена до периодической, выдает период p. Область определения параметра периодической функции всегда лежит в пределах одного периода.

Основным методом функции является метод
double **Value**(double & *t*).
Он выдаёт значение функции для заданного параметра t. Методы
double **FirstDer**(double & *t*),
double **SecondDer**(double & *t*),
double **ThirdDer**(double & *t*)
выдают соответственно первую, вторую и третью производные функции для заданного параметра t. Перечисленные методы корректируют параметр функции при его выходе за пределы области определения. При выходе параметра t за пределы отрезка $[t_{min}, t_{max}]$ непериодические функции

смещают параметр t к ближайшей границе t_{min} или t_{max}, а периодические функции добавляют или вычитают необходимое количество периодов.

Метод
double **_Value**(double *t*)
выдаёт значение функции для заданного параметра t как в области определения параметра функции, так и за её пределами. В общем случае непериодическая функции за пределами области определения параметра продолжается по касательной в крайней точке. Исключение составляют аналитические функции. Периодические функции за пределами области определения параметра продолжаются циклически. Методы
double **_FirstDer**(double *t*),
double **_SecondDer**(double *t*),
double **_ThirdDer**(double *t*)
выдают соответственно первую, вторую и третью производные функции для заданного параметра t как в области определения функции, так и за её пределами.

Функции перегружают такие методы как:
методы, обеспечивающие копирование, проверку на совпадение, проверку на возможность сделать совпадающими, делающие объекты совпадающими,
MbFunction & **Duplicate**(),
bool **IsSame**(const MbFunction & **item**),
bool **IsSimilar**(const MbFunction & **item**),
bool **SetEqual**(const MbFunction & **item**),
метод, возвращающий тип из перечисления функция,
MbeFunctionType **IsA**(),
методы, обеспечивающие выдачу и редактирование внутренних данных объекта,
MbProperty & **CreateProperty**(MbePrompt name),
void **GetProperties**(MbProperties & *properties*),
void **SetProperties**(MbProperties & *properties*).

Все функции, как правило, не имеют изломов. Функция MbAnaliticalFunction, задаваемая пользователем, также должна быть непрерывной и не иметь особых точек.

О.6.2. Константная функция MbConstFunction

Класс MbConctFunction объявлен в файле func_const_function.h.

Константная функция MbConctFunction описывается одним значение функции *value*.

В методе double **Value**(double & *t*) работает функция

$$f(t) = value.$$

Область определения параметра функции располагается в пределах $0 \le t \le 1$. Функция не может быть периодической.

О.6.3. Линейная функция MbLineFunction

Класс MbLineFunction объявлен в файле func_line_function.h.

Линейная функция MbLineFunction описывается двумя граничными значениями функции *value*1, *value*2 и граничными значениями параметра *tmin*, *tmax*.

В методе double **Value**(double & *t*) работает функция

$$f(t) = value1\ (1-t) + value2\ t\ .$$

Область определения параметра функции располагается в пределах $tmin \le t \le tmax$. Функция не может быть периодической.

О.6.4. Кубическая функция Эрмита MbCubicFunction

Класс MbCubicFunction объявлен в файле cur_cubic_function.h.

Кубическая функция Эрмита MbCubicFunction описывается множеством контрольных точек *valueList*, множеством производных функции в контрольных точках *firctList*, множеством значений параметра функции в контрольных точках *tList* и признаком периодичности функции *closed*. У функции есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов функции.

Кубическая функция Эрмита при значении параметра *tList*[*i*], *i*=0,1,...,*splinesCount*, где *splinesCount*=*tList*.MaxIndex(), проходит через контрольную точку *valueList*[*i*] и имеет в ней производную *firctList*[*i*]. Функция построена на основе *splinesCount* сплайнов Эрмита третьей степени, которые гладко стыкуются между собой. Каждый кубический сплайн Эрмита описывает участок функции между двумя соседними контрольными точками. Каждый кубический сплайн Эрмита определяется двумя крайними точками и двумя производными кривой в этих точках.

При вычислении функции сначала по значению параметра *t* кривой определяется номер *i* рабочего участка (номер кубического сплайна Эрмита), из условия *tList*[*i*]≤*t*≤*tList*[*i*+1]. Функция вычисляется для найденного рабочего участка по его локальному параметру *w,* который определяется по *tList*[*i*] и *tList*[*i*+1].

В методе double **Value**(double & *t*) работает функция

$$f(t) = (1 - 3w^2 + 2w^3)valueList[i] + (3w^2 + 2w^3)valueList[i+1] +$$
$$+ \left((w - 2w^2 + w^3)valueList[i] + (-w^2 + w^3)valueList[i+1]\right)\left(tList[i+1] - tList[i]\right),$$

где $w = \dfrac{t - tList[i]}{tList[i+1] - tList[i]}$ - локальный параметр рабочего участка *tList*[*i*]≤*t*≤*tList*[*i*+1].

Кубическая функция Эрмита приведена на рис. О.6.4.1.

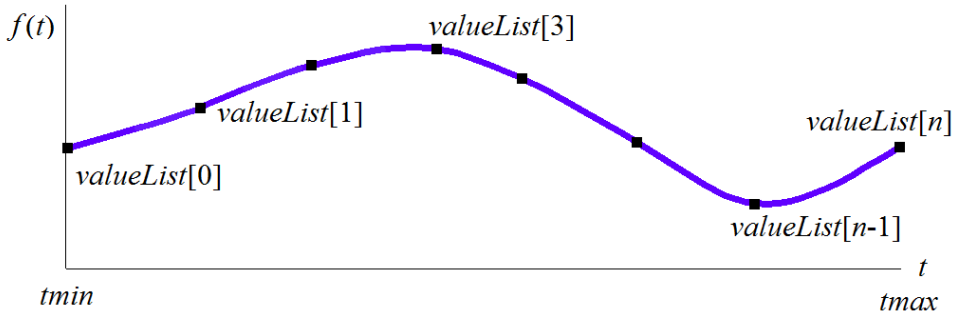


Рис. О.6.4.1.

Область определения параметра функции располагается в пределах *tmin*≤*t*≤*tmax*, где *tmin*=*tList*[0], *tmax*=*tList*[*splinesCount*]. Функция может быть периодической.

Форма функции зависит от расположения контрольных точек, от производных функции в контрольных точках и от множества *tList* значений параметра в контрольных точках. При построении функции только по контрольным точкам производные *firctList*[*i*] вычисляются путём построения параболы, проходящей по трём соседним точкам *valueList*[*i*–1], *valueList*[*i*], *valueList*[*i*+1] при соответствующих значениях параметра *tList*[*i*–1], *tList*[*i*], *tList*[*i*+1], и вычисления производной параболы в средней точке.

О.6.5. Кубическая сплайн-функция MbCubicSplineFunction

Класс MbCubicSplineFunction объявлен в файле cur_cubic_spline_function.h.

Кубическая сплайн-функция MbCubicSplineFunction описывается множеством контрольных точек *valueList*, множеством вторых производных функции в контрольных точках *secondList*, множеством значений параметра функции в контрольных точках *tList* и признаком периодичности функции *closed*.

У функции есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов функции.

Кубическая сплайн-функция при значении параметра *tList*[*i*], *i*=0,1,...,*splinesCount*, где *splinesCount*=*tList*.MaxIndex(), проходит через контрольную точку *valueList*[*i*] и имеет в ней вторую производную *secondList*[*i*].

При вычислении функции сначала по значению параметра *t* кривой определяется номер *i* рабочего участка, из условия *tList*[*i*]≤*t*≤*tList*[*i*+1]. Функция вычисляется для найденного рабочего участка по его локальному параметру *w,* который определяется по *tList*[*i*] и *tList*[*i*+1].

В методе double **Value**(double & *t*) работает функция

$$\boldsymbol{r}(t) = (1-w)valueList[i] + wvalueList[i+1] +$$
$$+\left((-2w+3w^2-w^3)valueList[i] + (-w+w^3)valueList[i+1]\right)\frac{(tList[i+1]-tList[i])^2}{6},$$

где $w = \dfrac{t - tList[i]}{tList[i+1] - tList[i]}$ - локальный параметр рабочего участка *tList*[*i*]≤*t*≤*tList*[*i*+1].

Кубическая сплайн-функция приведена на рис. О.6.5.1.

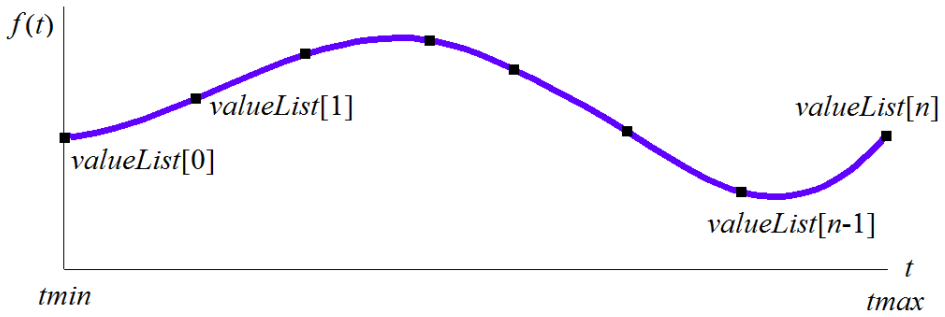


Рис. О.6.5.1.

Область определения параметра функции располагается в пределах *tmin*≤*t*≤*tmax*, где *tmin*=*tList*[0], *tmax*=*tList*[*splinesCount*]. Функция может быть периодической.

Форма функции зависит от расположения контрольных точек и от множества *tList* значений параметра в контрольных точках. При построении функции по контрольным точкам производные *secondList*[*i*] вычисляются из условии линейного изменения вторых производных между контрольными точками.

О.6.6. Символьная функция MdCharacterFunction

Класс MdCharacterFunction объявлен в файле func_analytical_function.h.

Символьная функция MdCharacterFunction описывается строковым выражением функции, деревом действий для вычисления выражения, граничными значениями параметра *tmin*, *tmax* и направлением *sense*. У функции есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов функции.

С помощью символьной функции можно описать любую функцию параметра *t* в виде строкового выражения, содержащего аналитические функции и арифметические операции.

В методе double **Value**(double & *t*) работает дерево действий для вычисления значения символьного выражения.

Область определения параметра функции располагается в пределах *tmin*≤*t*≤*tmax*. Функция может быть периодической.

О.6.7. Мультилиния MbMultiline

Класс MbMultiline объявлен в файле multiline.h.

Мультилиния MbMultiline является наследником класса MbPlaneItem, рис. О.6.7.1.

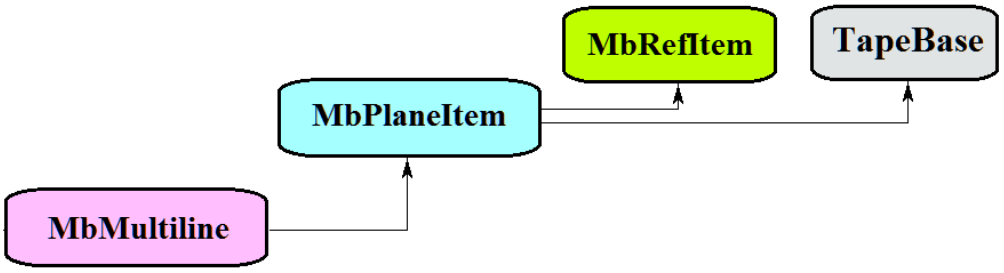


Рис. О.6.7.1.

Мультилиния описывается базовым контуром ***basisCurve***, множеством вершин ***vertices***, множеством радиусов *equidRadii*, параметрами начального края мультилинии begTipParams, параметрами конечного края мультилинии endTipParams, признаком обработки периодичности *processClosed*, признаком прозрачности *isTransparent*, множеством кривых ***curves***, множеством законцовок в вершинах мультилинии ***tipCurves***, законцовкой в начальной вершине мультилинии ***begTipCurves***, законцовкой в конечной вершине мультилинии ***endTipCurves***,

Мультилиния представляет собой контур, имеющий толщину. Толщина контура переменная. Края контура и места соединения сегментов контура могут иметь различную форму.

Мультилиния приведена на рис. О.6.7.2.

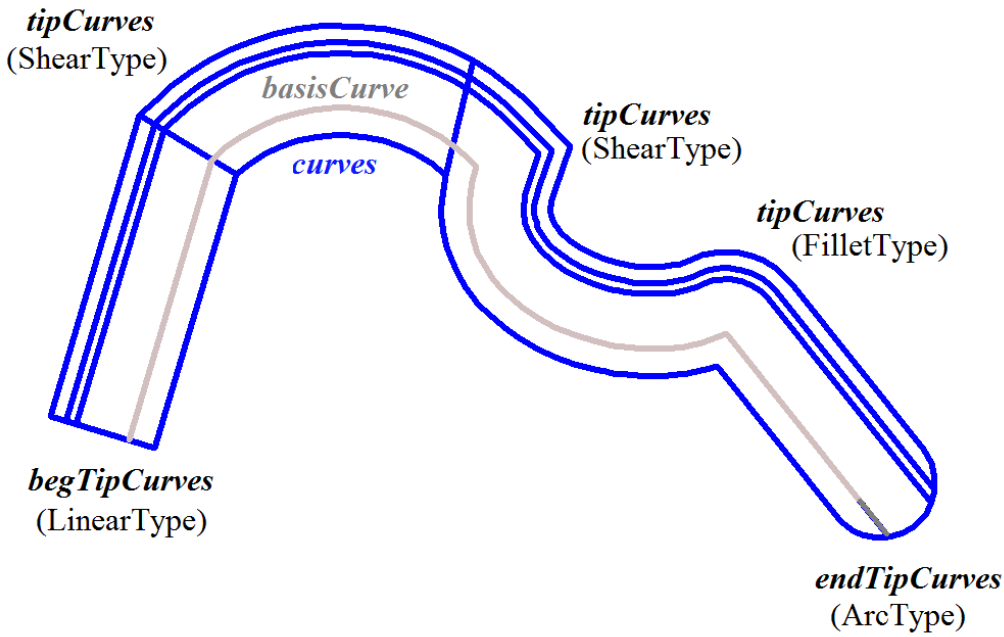


Рис. О.6.7.2.

Мультилиния используется для обмена данными с другими системами.

О.6.8. Двумерный контур с разрывами MbContourWithBreaks

Класс MbContourWithBreaks объявлен в файле cur_contour_with_breaks.h.

Двумерный контур с разрывами является наследником двумерного контура MbContour, рис. О.6.8.1.

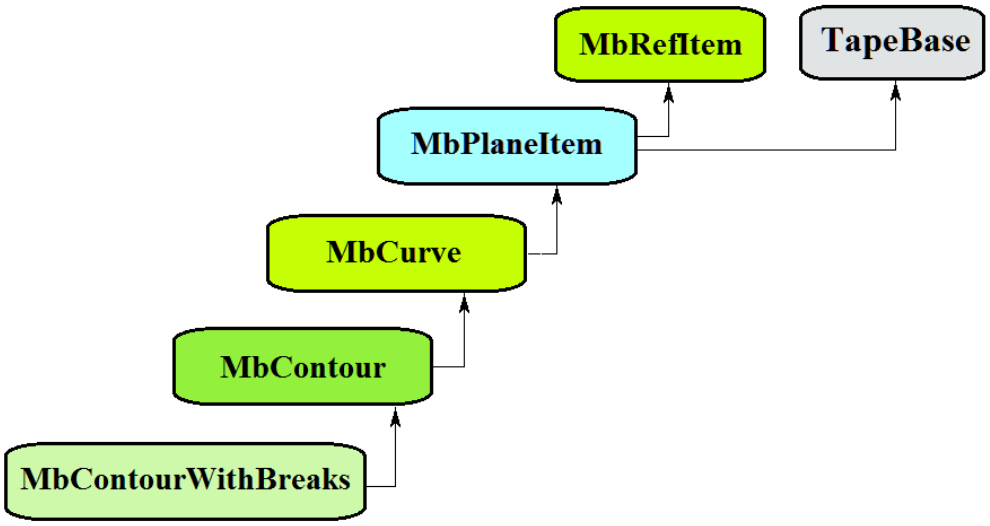


Рис. О.6.8.1.

Двумерный контур с разрывами описывается множеством ***segments*** стыкующихся друг да другом кривых, признаком периодичности кривой *closed*, разрывами ***breaks***, множеством видимых участков контура ***visibleContours*** и множеством номеров сегментов контура *baseSegNumbers* для задания неподвижных точек разрыва.

Контур с разрывами приведён на рис. О.6.8.2.

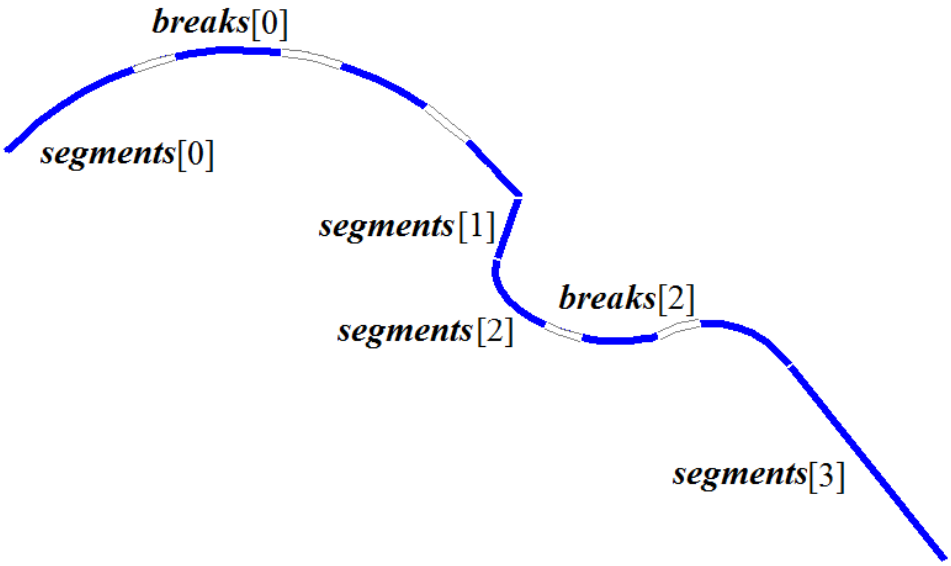


Рис. О.6.8.2.

В качестве сегментов двумерного контура с разрывами не должны использоваться другие двумерные контуры.

Двумерный контур с разрывами используется только для построения мультилиний.

О.6.9. Регион MbRegion

Класс MbRegion объявлен в файле region.h.

Регион MbRegion является наследником класса MbPlaneItem, рис. О.6.9.1.

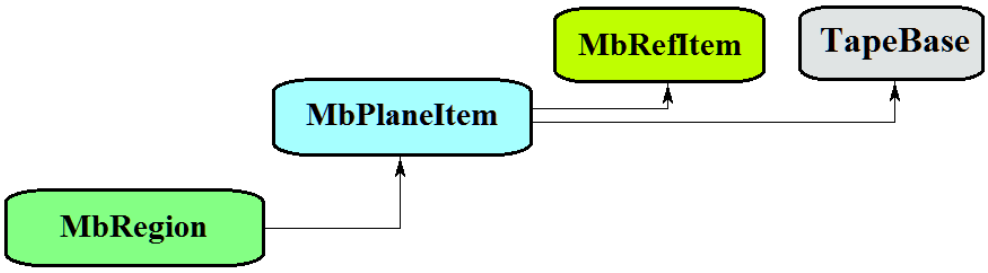


Рис. О.6.9.1.

Регион описывается множеством контуров ***contours***. Контуры региона периодические и не пересекают сами себя и друг друга. Среди контуров множества один контур является внешним, а остальные являются внутренними и располагаются внутри внешнего контура. В множестве ***contours*** первым всегда лежит внешний контур.

Регион представляет собой связное множество точек двумерного пространства, границы которого описывают двумерные периодические контуры. Контуры региона ориентированы так, что при движении вдоль любого контура описываемое множество точек располагается слева от контура. То есть, внешний контур региона ориентирован против движения часовой стрелки, а внутренние контуры ориентированы по движению часовой стрелки.

Регион приведен на рис. О.6.9.2.

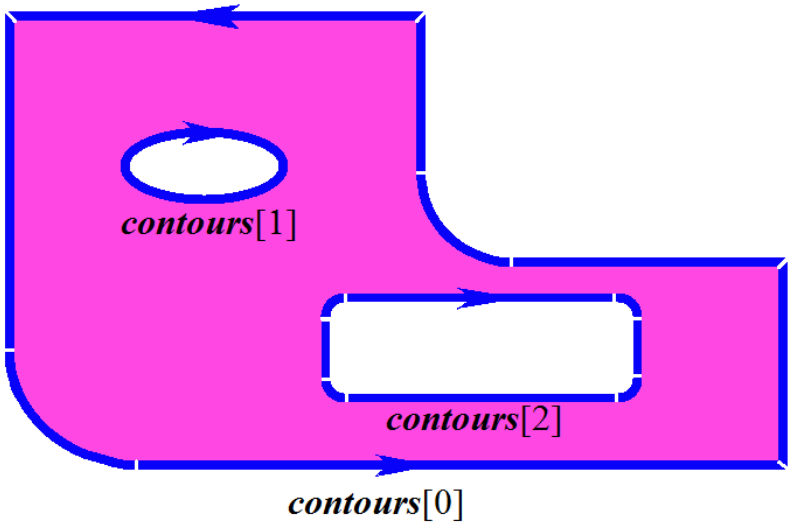


Рис. О.6.9.2.

Регион используется для описания двумерных связных областей. Над регионами можно выполнять булевы операции.

О.6.10. Вспомогательный геометрический объект MbLegend

Класс MbLegend объявлен в файле legend.h.

Вспомогательный объект MbLegend является наследником класса MbSpaceItem, рис. О.6.10.1.

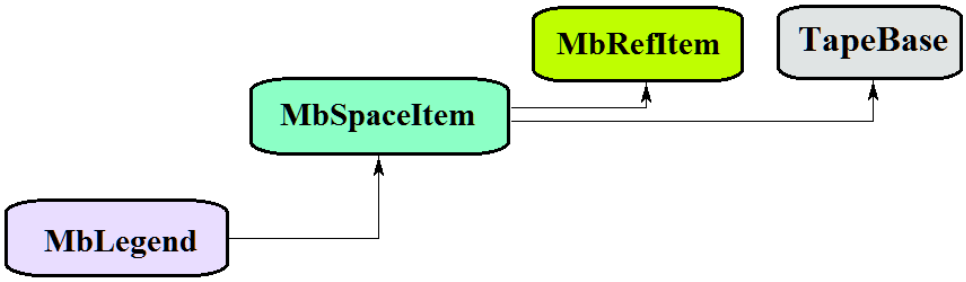


Рис. О.6.10.1.

Вспомогательный объект является абстрактным классом. В геометрическом ядре C3D реализованы следующие вспомогательные объекты, которые являются наследниками класса MbLegend:
MbMarker – точка и два ортонормированных вектора,
MbThread – резьба,
MbPointsSymbol – условное обозначение на базовых точках,
MbRough – обозначение шероховатости,
MbLeader– обозначение линии выноски.

Вспомогательные объекты используются для различных целей, но объединяет их взаимодействие с кривыми, поверхностями и объектами геометрической модели.

Вспомогательные объекты перегружают такие методы трёхмерного геометрического объекта как:
методы, обслуживающие преобразование геометрического объекта,
Move(const MbVector3D & **v**, MbRegTransform * iReg = NULL),
Rotate(const MbAxis3D & **axis**, double **angle**, MbRegTransform * iReg = NULL),
Transform(const MbMatrix3D & **m**, MbRegTransform * iReg = NULL),
методы, обеспечивающие копирование, проверку на совпадение, проверку на возможность сделать совпадающими, делающие объекты совпадающими,
MbSpaceItem& **Duplicate**(MbRegDuplicate * iReg = NULL),
bool **IsSame**(const MbSpaceItem & **item**),
bool **IsSimilar**(const MbSpaceItem & **item**),
bool **SetEqual**(const MbSpaceItem & **item**),
методы, возвращающие тип из перечисления геометрических объектов,
MbeSpaceType **IsA**(),
MbeSpaceType **Type**(),
MbeSpaceType **Family**(),
методы, обеспечивающие выдачу и редактирование внутренних данных объекта,
MbProperty & **CreateProperty**(MbePrompt name),
GetProperties(MbProperties & *properties*),
SetProperties(MbProperties & *properties*),
метод, наполняющий полигональную копию геометрического объекта,
CalculateWire(double sag, MbMesh & **mesh**).

О.6.11. Маркер MbMarker

Класс MbMarker объявлен в файле marker.h.

Вспомогательный объект маркер MbMarker описывается точкой **origin** и двумя ортогональными векторами **axisZ**, **axisX**.

Маркер используется для установки геометрических ограничений на объекты трехмерного пространства. Маркер является представителем геометрического объекта и может заменять трехмерную точку, прямую, плоскость, локальную систему координат и другие объекты при работе геометрических ограничений.

О.6.12. Условное обозначение резьбы MbThread

Класс MbThread объявлен в файле mb_thread.h.

Условное обозначение резьбы MbThread описывается локальной системой координат резьбы **place**, начальным радиусом резьбы на поверхности *radObj*, начальным радиусом резьбы в теле *radThr*, длиной резьбы *length*, углом конусности резьбы *angle*, именем резьбы **name**, множеством тел **bodies**. У объекта есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов объекта.

Ось резьбового соединения направлена вдоль оси **place.axisZ**. Имя служит для идентификации условного обозначения резьбы среди плоских проекций граней тела из множества **bodies**. Условное обозначение резьбы приведено на рис. О.6.12.1.

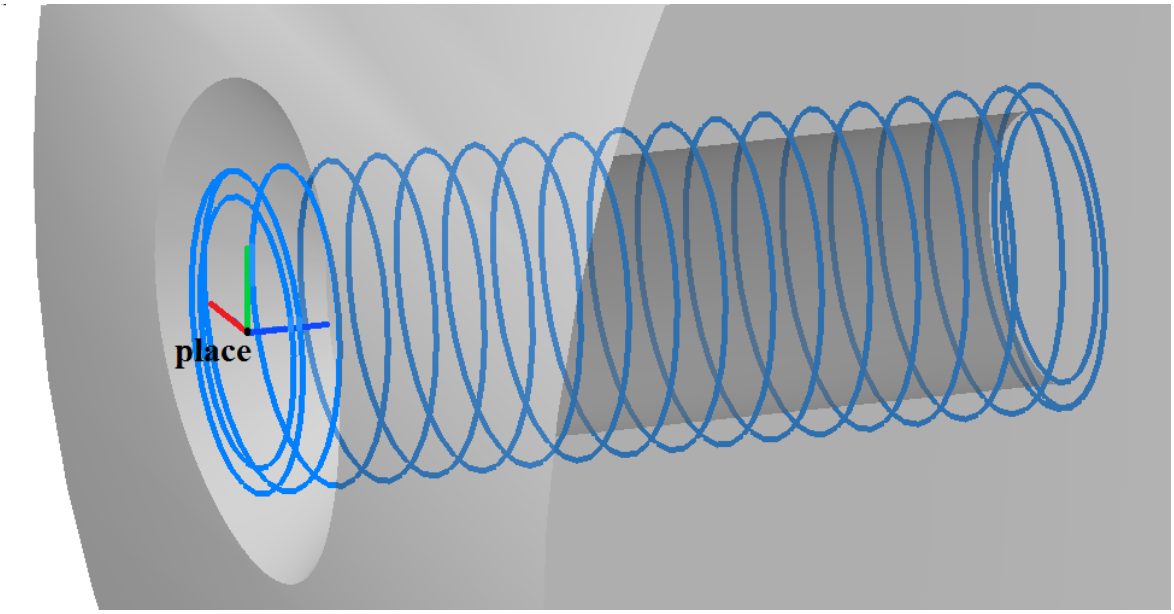


Рис. О.6.12.1.

Условное обозначение резьбы описывает элемент резьбового соединения геометрической модели и используется для построения плоских проекций резьбовых соединений.

О.6.13. Условное обозначение MbPointsSymbol

Класс MbPointsSymbol объявлен в файле mb_symbol.h.

Условное обозначение MbPointsSymbol является наследником класса MbSymbol. Условное обозначение MbPointsSymbol описывается набором идентификаторов, множеством трехмерных точек **points** и данными об участках сложных разрезов *steps*.

Объект несет информацию о базовых точках условных обозначений, связанных с элементами геометрической модели.

Объект используется при построении плоских проекций условных обозначений, для которых достаточно знать положение базовых точек. Он определяет базовые точки условных обозначений элементов геометрической модели.

О.6.14. Обозначение шероховатости MbRough

Обозначение шероховатости MbRough.

Класс MbRough объявлен в файле mb_rough.h.

Условное обозначение шероховатости MbRough является наследником класса MbPointsSymbol. Условное обозначение шероховатости описывается множеством трехмерных точек **points**, данными об участках сложных разрезов *steps* и топологическим объектом привязки **item**.

Объект несет информацию о базовых точках условного обозначения шероховатости, связанных с топологическим объектом **item**.

Объект используется при построении плоских проекций условного обозначения шероховатости элемента геометрической модели **item**.

O.6.15. Условное обозначение линии выноски MbLeader

Класс MbLeader объявлен в файле mb_rough.h.

Условное обозначение линии выноски MbLeader является наследником класса MbSymbol. Условное обозначение линии выноски описывается набором идентификаторов и множеством обозначений шероховатости **branches**.

Объект несет информацию о линии выноски обозначения шероховатости для топологических объектов.

Объект используется при построении плоских проекций условного обозначения линии выноски шероховатости для элементов геометрической модели.

О.7. ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

Топологическими называют геометрические свойства, которые не зависят от количественных характеристик (длин и углов), а отражают непрерывную связь элементов объекта и его окружения. Топологические объекты геометрического ядра C3D описывают и геометрические свойства объекта, зависящие от количественных характеристик, и геометрические свойства, отражающие непрерывную связь объекта с соседними элементами. Топологические объекты строятся на основе поверхностей, кривых и точек путём добавления к их данным, свойствам и методам новых данных, свойств и методов, отражающих связь объекта с его окружением.

О.7.1. Топологический объект MbTopologyItem

Класс MbTopologyItem объявлен в файле topology_item.h.

Топологический объект MbTopologyItem отличается от других топологических объектов наличием имени **name**, признака изменения *changed* и метки *label*. Топологический объект MbTopologyItem является наследником топологического объекта MbTopItem, рис. О.7.1.1.

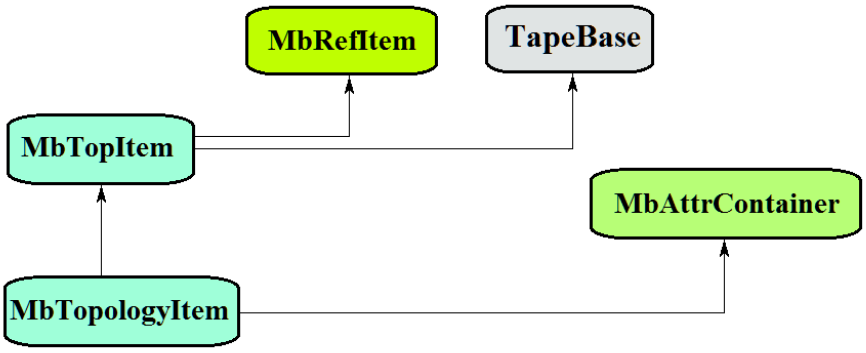


Рис. О.7.1.1

Контейнер атрибутов MbAttrContainer наделяет именованные топологические объекты атрибутами.

В геометрическом ядре C3D реализованы следующие топологические объекты, которые являются наследниками класса MbTopologyItem:

MbFace – грань,
MbEdge – ребро,
MbVertex – вершина.

Ребро MbEdge имеет наследника MbCurveEdge – ребро стыковки граней.

Именованные топологические объекты имеют такие методы как:
методы, обслуживающие преобразование топологического объекта,
void **Move**(const MbVector3D & **v**, MbRegTransform * iReg = NULL),
void **Rotate**(const MbAxis3D & **axis**, double **angle**, MbRegTransform * iReg = NULL),
void **Transform**(const MbMatrix3D & **m**, MbRegTransform * iReg = NULL),
методы, обслуживающие работу с именем топологического объекта:
MbName & **GetName**(),
SimpleName & **GetMainName**(),
SimpleName & **GetFirstName**(),
метод, возвращающий тип из перечисления топологических объектов,
MbeTopologyType **IsA**().

Именованные топологические объекты используются в качестве элементов для построения объектов геометрической модели.

О.7.2. Грань MbFace

Класс MbFace объявлен в файле topology.h.

Грань MbFace является наследником топологического объекта MbTopologyItem и представляет собой конечный кусок поверхности, которому приписано направление нормали и определены границы. Сторону поверхности и грани, при взгляде на которую мы смотрим навстречу нормали, будем называть внешней, другую сторону будем называть внутренней. Стороны поверхности MbSurface не обладают равноправием относительно нормали, так как у поверхности одна сторона всегда внешняя, а другая сторона всегда внутренняя. В отличие от поверхности для грани мы имеем возможность назначить направление нормали и тем самым назначить внешнюю и внутреннюю стороны.

Структура данных грани содержит указатель на поверхность MbSurface* **surface**, признак совпадения направления нормали грани с направлением нормали поверхности **sameSense** и совокупность циклов грани RPArray<MbLoop> **loops**. У грани есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов грани.

Указатель на поверхность не может быть нулём. Признак совпадения направления нормали грани с направлением нормали поверхности принимает значение true, если нормали грани и поверхности совпадают, в противном случае признак принимает значение false. Сторону грани, при взгляде на которую мы смотрим навстречу нормали, называют внешней стороной, а другую сторону грани называют внутренней стороной.

Циклы грани описывают границы грани. Каждая граница грани замкнута. Каждый цикл описывается последовательностью рёбер MbOrientedEdge в порядке их следования вдоль границы. Количество циклов грани равно количеству границ поверхности грани. Одна из границ грани является внешней и содержит границы внутренних вырезов. Цикл, располагающийся первым по счёту в контейнере циклов, описывает внешнюю границу грани и содержит внутри себя внутренние циклы, которые описывают внутренние границы грани. Внешний цикл грани ориентирован против часовой стрелки, а внутренние циклы ориентированы по часовой стрелке, если смотреть навстречу нормали грани. Таким образом, при движении вдоль цикла грани по её внешней стороне грань всегда располагается слева. На рис. О.7.2.1 стрелки указывают направления циклов грани и её нормали.

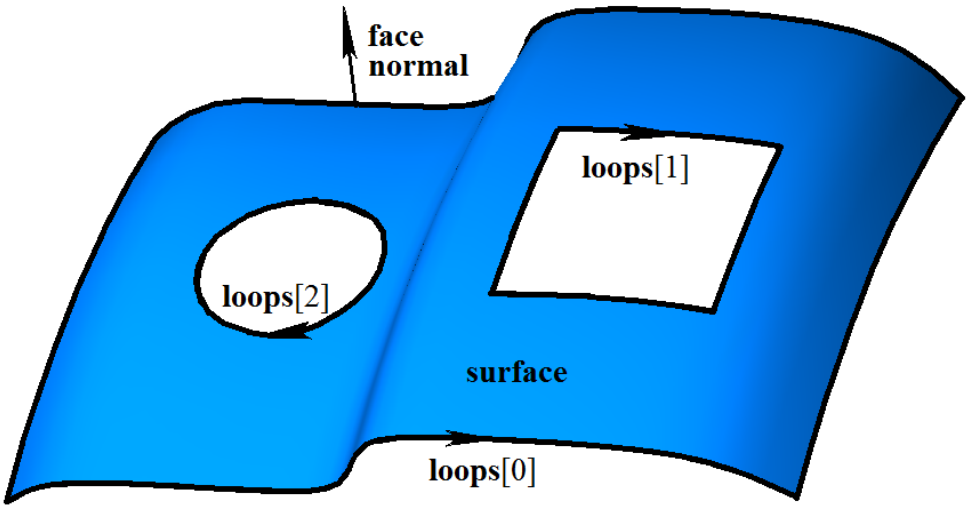


Рис. О.7.2.1.

Циклы одной грани не должны пересекать друг друга и сами себя.

Грань может быть именована и может иметь атрибуты. Имя может использоваться для идентификации грани, атрибуты могут нести дополнительную информацию о грани, например, цвет, прозрачность, происхождение и так далее.

Грань используется для твердотельного и гибридного моделирования.

О.7.3. Ребро MbEdge

Класс MbEdge объявлен в файле topology.h.

Ребро MbEdge является наследником топологического объекта MbTopologyItem и представляет собой кривую, которой приписано направление. Направление кривой MbCurve3D жёстко связано с направлением возрастания её параметра. В отличие от кривой ребро может быть направлено как в сторону возрастания параметра, так и в сторону уменьшения параметра кривой. Ребро всегда начинается и оканчивается в некоторой вершине MbVertex.

Структура данных ребра содержит указатель на кривую MbCurve3D* **curve**, признак совпадения направления ребра с направлением кривой *sameSense*, указатель на начальную вершину MbVertex* **begVertex** и указатель на конечную вершину MbVertex* **endVertex**. На рис. О.7.3.1 приведено ребро.

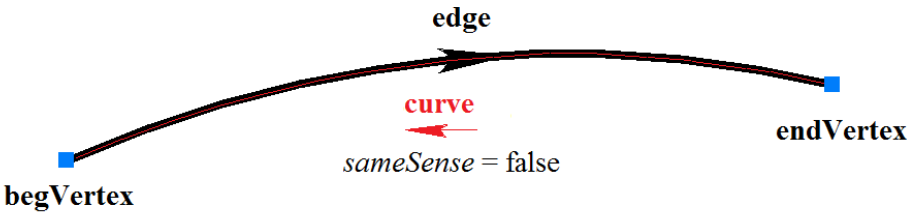


Рис. О.7.3.1.

Указатели на кривую и вершины не могут быть нулём. Признак совпадения направления ребра с направлением кривой принимает значение true, если ребро совпадает с кривой, и принимает значение false, если ребро направлено против кривой. Если ребро начинается и заканчивается в одной и той же вершине, то такое ребро является замкнутым. Указатели на начальную и конечную вершину замкнутого ребра равны.

Ребро может быть именовано и может иметь атрибуты. Имя может использоваться для идентификации ребра, атрибуты могут нести дополнительную информацию о ребре, например, цвет, стиль отображения, происхождение и так далее.

Ребро используется для каркасного моделирования.

О.7.4. Вершина MbVertex

Класс MbVertex объявлен в файле topology.h.

Вершина MbVertex является наследником топологического объекта MbTopologyItem и представляет собой точку с известной погрешностью расположения. Структура данных вершины содержит точку MbCartPoint **point** и погрешность *tolerance* расположения этой точки.

Вершина может описывать отдельную точку точечного каркаса или стык рёбер. В вершине может стыковаться любое конечное число рёбер. Стыкующиеся рёбра указывают на одну и ту же общую для них вершину. На рис. О.7.4.1 приведена вершина, в которой стыкуются три ребра.

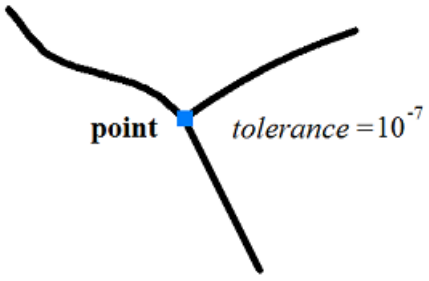


Рис. О.7.4.1.

При неточной стыковки рёбер погрешность расположения вершины равна расстоянию от точки вершины до края наиболее удалённого ребра. На рис. О.7.4.2 приведена толерантная вершина, в которой стыкуются четыре ребра.

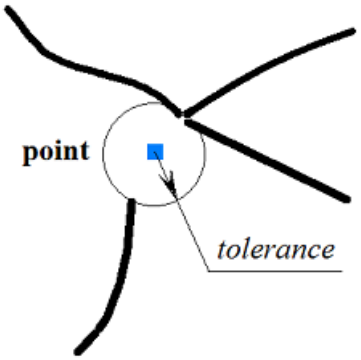


Рис. О.7.4.2.

Вершина может быть именована и может иметь атрибуты. Имя может использоваться для идентификации вершины, атрибуты могут нести дополнительную информацию о вершине, например, цвет, стиль отображения, происхождение и так далее. Вершина используется для всех методов моделирования.

О.7.5. Ребро грани MbCurveEdge

Класс MbCurveEdge объявлен в файле topology.h.

Ребро MbCurveEdge является наследником ребра MbEdge и представляет собой ребро, построенное на кривой пересечения поверхностей MbSurfaceIntersectionCurve. Ребро MbCurveEdge предназначено для описания участка границы грани. В отличие от ребра MbEdge ребро MbCurveEdge описывает не просто кривую, а участок стыковки двух граней или участок края грани.

Структура данных ребра грани содержит указатель на кривую пересечения поверхностей MbSurfaceIntersectionCurve * **curve**, признак совпадения направления ребра с направлением кривой *sameSense*, указатель на начальную вершину MbVertex* **begVertex**, указатель на конечную вершину MbVertex* **endVertex**, указатель на грань слева MbFace* **facePlus** и указатель на грань справа MbFace* **faceMinus** от ребра. На рис. О.7.5.1 приведено ребро, соединяющее две грани.

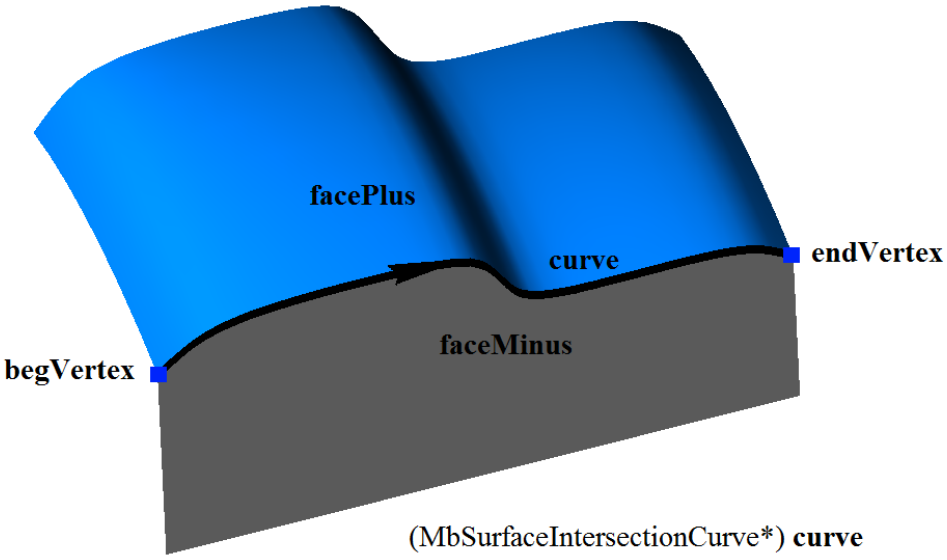


Рис. О.7.5.1.

Ребро грани может описывать участок стыковки двух различных граней. В этом случае указатели на грань слева и грань справа от ребра не равны нулю и не равны друг другу. Поверхности, лежащие в

структурах данных соединяемых ребром граней, совпадают с поверхностями, лежащими в структуре данных кривой ребра, а именно:
facePlus->surface->GetSurface() == **curve->curveOne.suface** и
faceMinus->surface->GetSurface() == **curve->curveTwo.suface**
или
facePlus->surface->GetSurface() == **curve->curveTwo.suface** и
faceMinus->surface->GetSurface() == **curve->curveOne.suface**.

У циклически замкнутой по одному или обоим параметрам поверхности грани присутствуют участки границы, по которым грань стыкуется сама с собой. Такое ребро является швом. В этом случае указатели на грань слева и грань справа от ребра равны друг другу, рис. О.7.5.2.

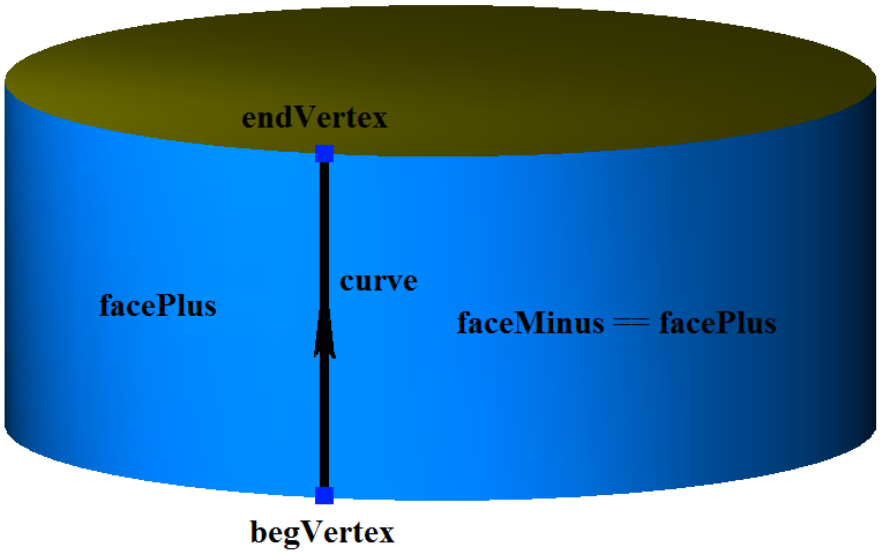


Рис. О.7.5.2.

Ребро грани может описывать участок края грани. Такое ребро является краевым. В этом случае указатель на грань слева или грань справа от ребра равен нулю, рис. О.7.5.3.

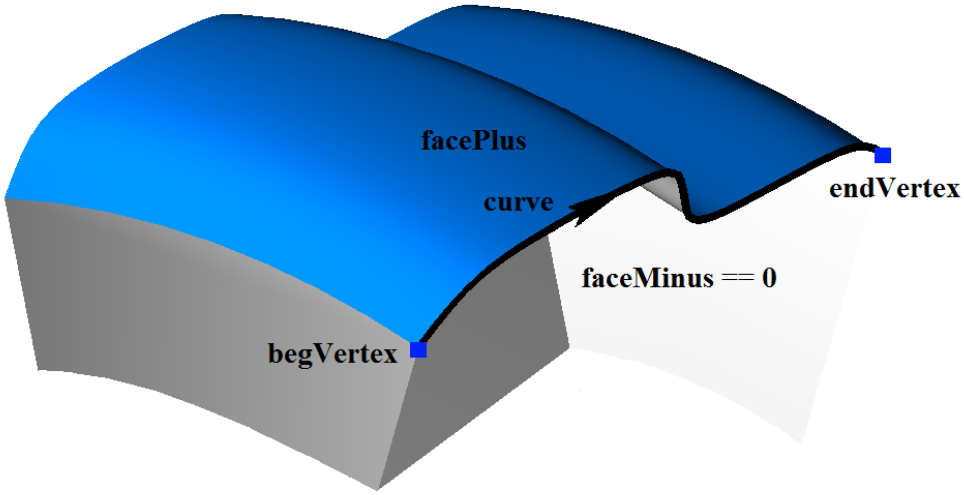


Рис. О.7.5.3.

Ребро, имеющее нулевую длину, является полюсным и описывает полюс грани. Полюсное ребро не является краевым, так как грань в полюсном ребре не имеет края. Как правило, полюсное ребро располагается в особых точках поверхности грани. В области параметров поверхности грани полюсному участку соответствует некоторая кривая. Указатели на начальную и конечную вершину полюсного ребра равны. Полюсное ребро приведено на рис. О.7.5.4.

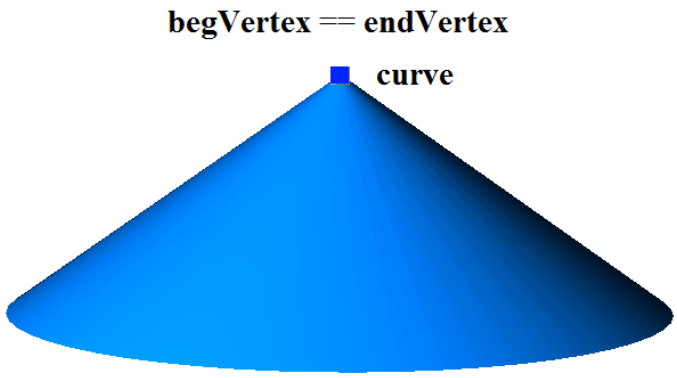


Рис. О.7.5.4.

У полюсного ребра указатель на грань слева или грань справа от ребра равен нулю. Кривая пересечения полюсного ребра имеет следующие данные:
curve->curveOne.suface == **curve->curveTwo.suface**, а отрезок
curve->curveOne.curve является дублем отрезка **curve->curveTwo. curve**.

Ребро грани может быть именовано и может иметь атрибуты. Имя может использоваться для идентификации ребра, атрибуты могут нести дополнительную информацию о ребре грани, например, цвет, стиль, происхождение и так далее.

Ребро грани используется для твердотельного и гибридного моделирования.

О.7.6. Цикл грани MbLoop

Класс MbLoop объявлен в файле topology.h.

Цикл грани MbLoop является наследником топологического объекта MbTopItem и описывает последовательность рёбер, исчерпывающую некоторую границу грани.

Структура данных цикла содержит множество ориентированных рёбер RPArray<MbOrientedEdge> **edgeList** в порядке их следования вдоль границы грани. У цикла есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов цикла.

Направление ориентированных рёбер совпадает с направлением цикла. Конец каждого ориентированного ребра цикла стыкуется с началом следующего за ним ориентированного ребра цикла, рис. О.7.6.1.

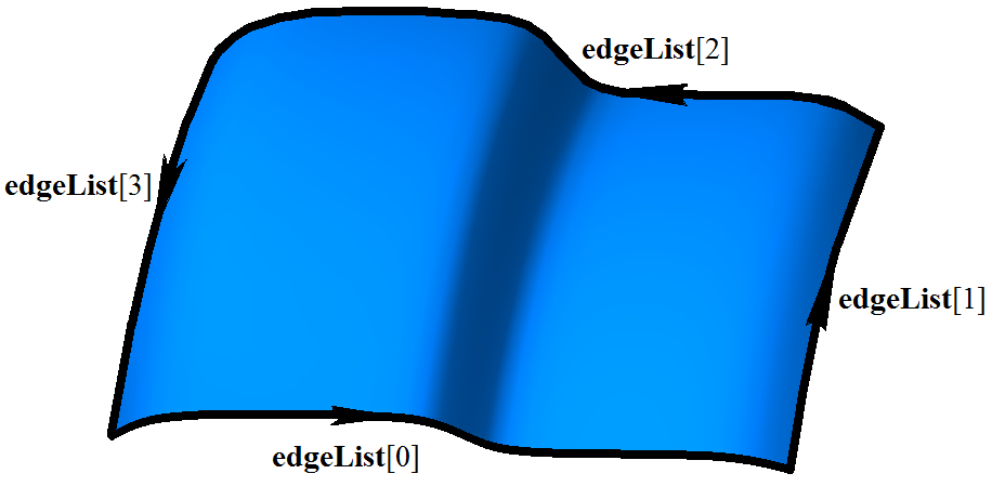


Рис. О.7.6.1.

Конец последнего ориентированного ребра цикла стыкуется с началом первого ориентированного ребра цикла.

На рис. О.7.6.2 приведён цикл сферической грани, состоящий из четырёх ориентированных рёбер, два из которых построены на ребре шва и два из которых являются полюсными рёбрами.

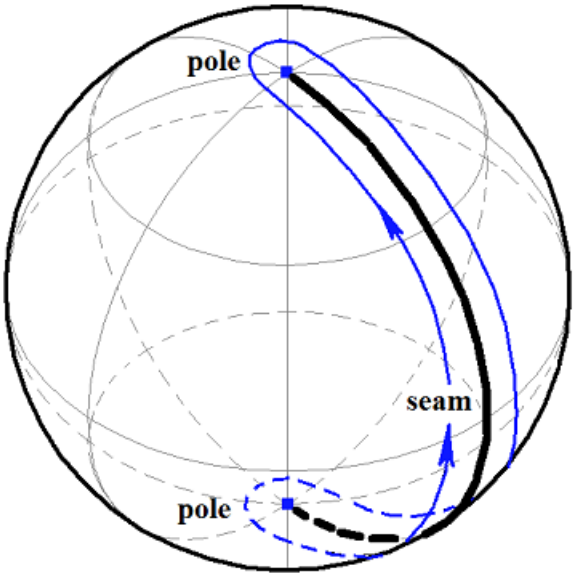


Рис. О.7.6.2.

Если цикл сферической грани нарисовать в пространстве параметров сферы, то он будет представлять собой прямоугольный четырёхугольник. Цикл также, как и граница грани всегда замкнут. Цикл направлен так, чтобы грань всегда для нас находилась бы слева, если мы движемся вдоль цикла с внешней стороны грани.

О.7.7. Ориентированное ребро грани MbOrientedEdge

Класс MbOrientedEdge объявлен в файле topology.h.

Ориентированное ребро MbOrientedEdge является наследником топологического объекта MbTopItem и описывает участок границы грани. Структура данных ориентированного ребра содержит ребро грани MbCurveEdge* **curveEdge** и признак совпадения направления ребра грани с направлением ориентированного ребра и, соответственно, с направлением цикла грани *orientation*.

Если направление ребра грани **curveEdge** совпадает с направлением цикла, то в цикле этой грани соответствующее ориентированное ребро имеет признак *orientation*==true. Если направление ребра грани **curveEdge** не совпадает с направлением цикла, то в цикле этой грани соответствующее ориентированное ребро имеет признак *orientation*==false. На рис. О.7.7.1 приведены два ориентированных ребра, построенных на одном и том же ребре грани **curveEdge**.

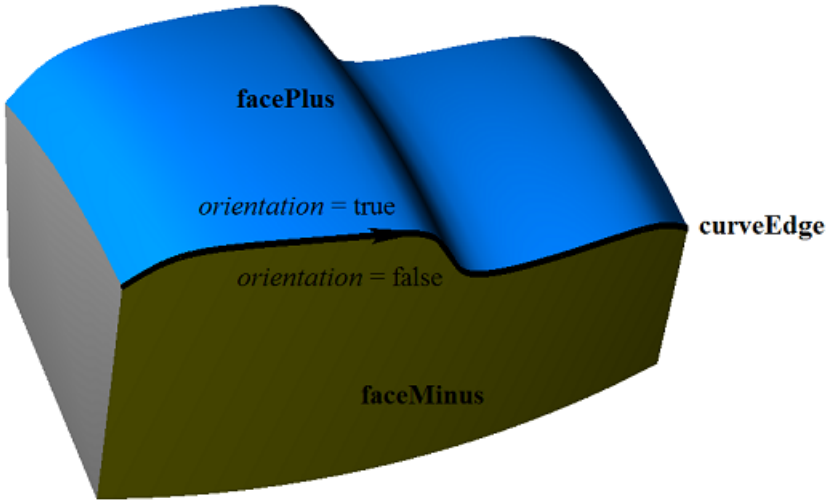


Рис. О.7.7.1.

В общем случае ребро грани MbCurveEdge входит в два цикла, эти циклы принадлежат соединяемым ребром граням. В один цикл ребро грани входит с признаком ориентации *orientation*==true, эта грань находится слева от ребра и поле данных **facePlus** указывает на неё. В другой цикл ребро грани входит с признаком ориентации *orientation*==false, эта грань находится справа от ребра и поле данных **faceMinus** указывает на неё. Таким образом смежные грани и соединяющие их рёбра связаны друг с другом.

О.7.8. Множество граней MbFaceShell

Класс MbFaceShell объявлен в файле topology_faceset.h.

Множество граней MbFaceShell является наследником топологического объекта MbTopItem. Структура данных MbFaceShell содержит множество граней RPArray<MbFace> **faceSet** и признак замкнутости *closed* множества граней. У множества граней есть ещё некоторые данные, которые не обязательны и служат для ускорения работы методов множества граней.

Множество граней, как правило, описывает связный кусок поверхности моделируемого объекта. Связанные между собой грани множества удовлетворяют определенным условиям, а именно: грани стыкуются между собой по общим ребрам, в каждом ребре стыкуются только две грани, причём грани стыкуются так, что внешняя сторона одной грани переходит во внешнюю сторону другой грани, и образуемая стыкующимися гранями общая поверхность не должна иметь самопересечений.

На рис. О.7.8.1 приведено множество связанных между собой граней. Все рёбра граней входят в два цикла, у всех ребер указатели **facePlus** и **faceMinus** не равны нулю, а кривые MbSurfaceIntersectionCurve, на которых построены рёбра граней, имеют **curveOne.surface**!=**curveTwo.surface**.

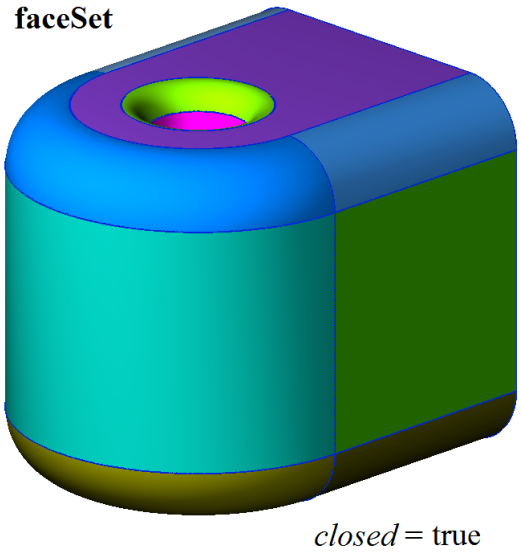


Рис. О.7.8.1.

Грани, приведенные на рис. О.7.8.1, образуют общую замкнутую поверхность, внешняя сторона каждой грани переходит во внешнюю сторону соседней грани. У множества граней, не имеющего ни одного краевого ребра, признак *closed* принимает значение true.

Если хотя бы одна грань множества имеет хотя бы одно краевое ребро, то признак *closed* множества граней принимает значение false. На рис. О.7.8.2 приведено множество граней, некоторые из которых имеют краевые ребра. Краевые рёбра входят только в один цикл и у краевых ребер грани только один из указателей **facePlus** или **faceMinus** не равен нулю, а кривые MbSurfaceIntersectionCurve, на которых построены рёбра, имеют **curveOne.surface**==**curveTwo.surface** и параметр *buildType=cbt_Boundary*. Полюсное ребро не является краевым, так как не образует край.

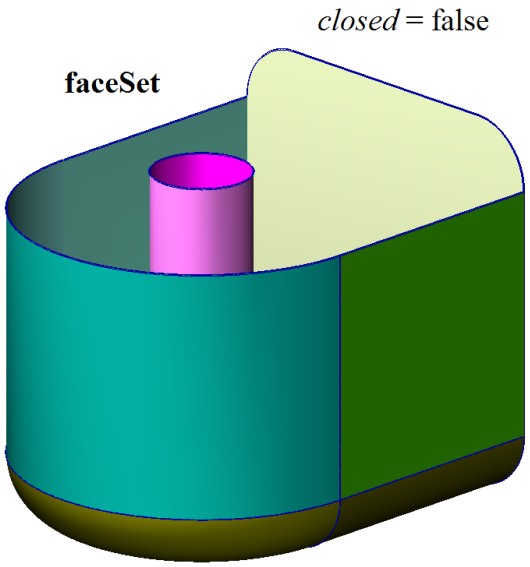


Рис. О.7.8.2.

Связное множество граней называют *замкнутой оболочкой*, если грани множества не имеют края. Если стыкующиеся друг с другом грани имеют хотя бы одно краевое ребро, то такое связное множество граней называют *незамкнутой оболочкой*. Подчеркнем, что замкнутая оболочка и незамкнутая оболочка представляют собой связное множество стыкующихся друг с другом граней.

Множество граней может состоять из нескольких не связанных между собой частей. На рис. О.7.8.3. приведено множество граней, описывающее две незамкнутые оболочки.

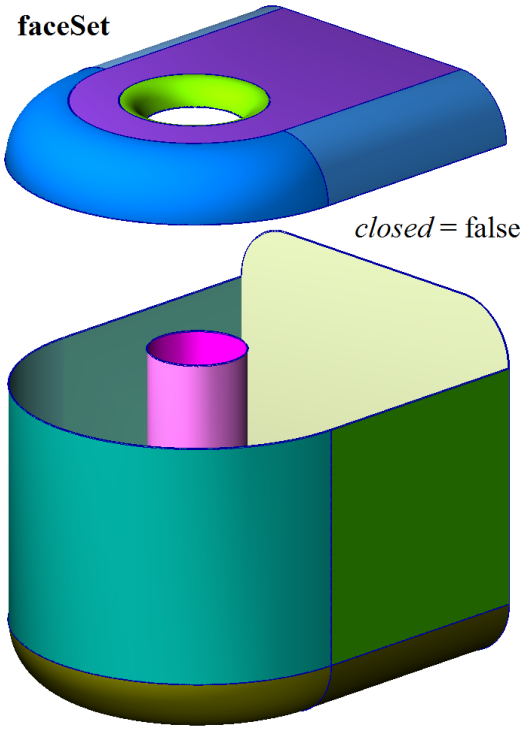


Рис. О.7.8.3.

Формально на грани множества не наложено никаких ограничений. Множество граней может состоять из отдельных граней. На рис. О.7.8.4 приведено множество не связанных между собой граней. Каждая грань, приведенная на рис. О.7.8.4, образует отдельную оболочку, все ребра граней являются краевыми.

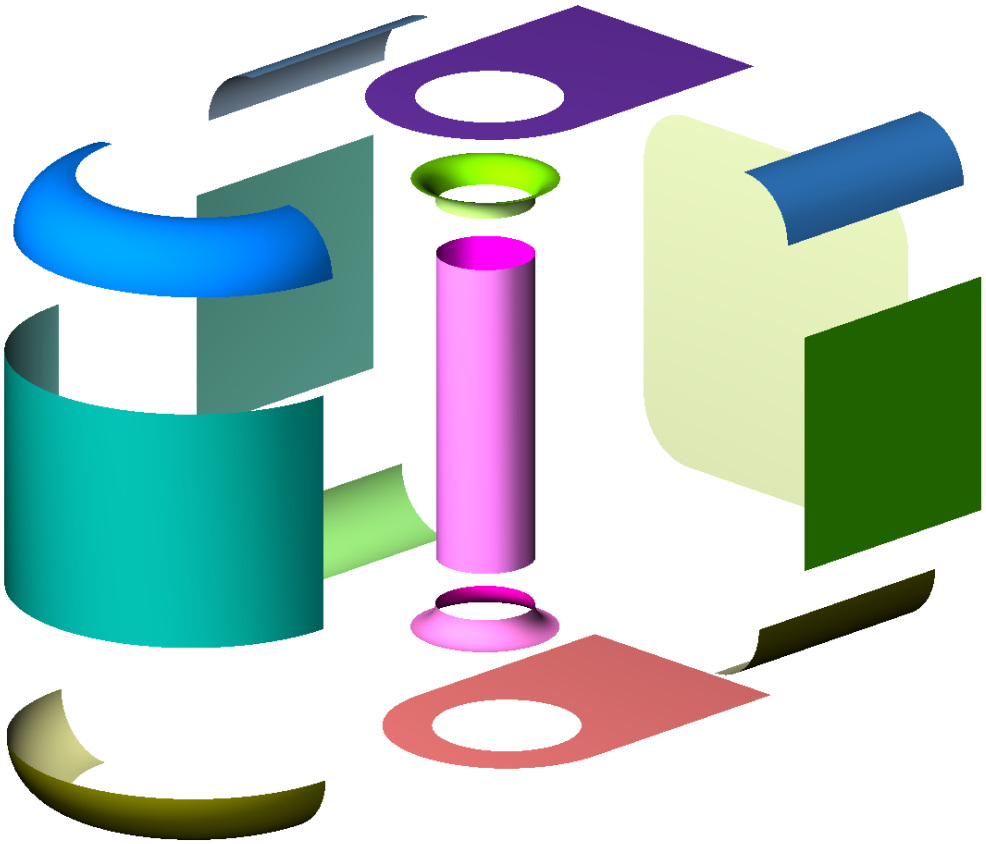


Рис. О.7.8.4.

Основными методами оболочки являются методы преобразования её в пространстве:
void **Move**(const MbVector3D & **v**, MbRegTransform * iReg = NULL),
void **Rotate**(const MbAxis3D & **axis**, double **angle**, MbRegTransform * iReg = NULL),
void **Transform**(const MbMatrix3D & **m**, MbRegTransform * iReg = NULL),
методы поиска граней, рёбер и вершин, а также методы определения положения точки относительно замкнутой оболочки:
bool **DistanceToBound**(const MbCartPoint3D &,...),
bool **PointClassification**(const MbCartPoint3D &,...).

Незамкнутая оболочка описывает только часть граничной поверхности моделируемого объекта. Незамкнутые оболочки используются для поверхностного моделирования. Если к замкнутой оболочке добавить множество точек, лежащих внутри неё, то мы получим *твердое тело*. Замкнутые оболочки используются для твердотельного моделирования. Обрезка и стыковка граней выполняется одновременно с построением оболочки. Это обеспечивают методы геометрического ядра C3D. На базе замкнутых и незамкнутых оболочек строятся объекты геометрической модели.

О.7.9. Копирование множества граней MbFaceShell

Каждый метод построения, который в составе входящих параметров использует множество граней, представленных в виде MbFaceShell или MbSolid, модифицирует некоторые вершины, рёбра и грани исходных объектов. Для ускорения построений и сохранения неизменным исходного множества граней применяется полное или частичное копирование данных объекта MbFaceShell. В геометрическом ядре C3D используются четыре способа копирования множества граней MbFaceShell, определяемые перечислением MbeCopyMode. Как правило, в методы построения вместе с модифицируемым множеством граней передается параметр типа MbeCopyMode, который управляет передачей граней, ребер и вершин от исходного объекта построенному объекту.

Перечисление MbeCopyMode объявлено в файле mb_enum.h. Параметр типа MbeCopyMode может принимать одно из четырех значений: *cm_Copy*, *cm_KeepSurface*, *cm_KeepHistory*, *cm_Same*.

При значении *cm_Copy* исходное множество граней модифицируемого объекта полностью копируется, поэтому исходный объект и построенный объект не будут иметь общих поверхностей, кривых, граней, ребер, вершин и других объектов. Этот вариант используется в случаях, когда требуется, чтобы построенный объект не был связан с исходным объектом.

При значении *cm_KeepSurface* исходный объект и построенный объект будут иметь одни и те же базовые поверхности граней. Этот вариант используется в случаях, когда требуется высокая скорость построения.

При значении *cm_KeepHistory* исходный объект и построенный объект будут иметь одни и те же вершины, базовые поверхности граней и грани, не модифицированные выполненным построением или другим действием. Этот вариант используется в случаях, когда требуется максимально экономить память.

При значении *cm_Same* в построенный объект будут перенесены все необходимые данные исходного объекта, поэтому после построения исходный объект должен быть удален. Этот вариант используется в случаях, исходный объект в дальнейшем не нужен и был построен специально для выполненного построения.

Перечисление MbeCopyMode присутствует в методе копирования множества граней MbFaceShell* MbFaceShell::**Copy**(MbeCopyMode, MbShellHistory*). Этот метод используется в операциях построения тел, в составе входящих параметров которых присутствуют другие тела.

При значение перечисления *cm_Copy* исходное множество граней и его копия не имеют общих данных. Варианту, при котором исходное множество граней и его копия имеют общие базовые поверхности, соответствует значение перечисления *cm_KeepSurface*. Варианту, при котором исходное множество граней и его копия имеют общие базовые поверхности, вершины и не изменённые операцией грани, соответствует значение перечисления *cm_KeepHistory*. В этом метод **Copy**(...) использует указатель на объект MbShellHistory, который запоминает соответствие между исходным множеством граней и его копией. После выполнения операции копия множества граней передается параметром в метод MbShellHistory::**SetOrigins**(MbFaceShell&) для замены в копии не измененных граней их оригиналами исходного множества граней. Варианту, при котором множество граней в методе **Copy**(...) не копируется, соответствует значение перечисления *cm_Same*. Следует заметить, что при неудачном выполнении операции, исходное множество граней будет модифицировано.

Для копирования множества граней MbFaceShell можно использовать метод MbFaceShell* **Duplicate**(MbRegDuplicate* iReg). Объект MbRegDuplicate используется для сохранения в копии структуры взаимных ссылок, которая присутствует в исходном множества граней. Копируемое множество граней и их копия не будут связаны между собой.

О.7.10. Именование граней, рёбер и вершин

Грани, рёбра и вершины в структуре данных имеют имя MbName. Класс MbName объявлен в файле name_item.h. Именование граней, рёбер и вершин выполняется геометрическим ядром C3D при построении множества граней MbFaceShell во всех формообразующих операциях. В параметрах каждой формообразующей операции присутствует объект MbSNameMaker. Объект MbSNameMaker содержит главное имя операции и контейнер простых имен типа SimpleName, которые используются для именования граней. Объект MbSNameMaker выполняет именование построенных граней с помощью элементов контейнера простых имен. Контейнер простых имен может иметь или набор уникальных чисел, или одно целое число, или ни одного целого числа.

Если контейнер простых имен содержит одно число, то остальные требуемые простые имена MbSNameMaker создаст сам путем прибавления к исходному числу чисел натуральной последовательности. Если контейнер простых имен пуст, то стартовым числом будет нуль. Каждое число из контейнера простых имен будет соответствовать одному из геометрических входных параметров (сегменту формообразующего контура операции, обрабатываемому ребру операции, модифицируемой грани операции, и тому подобное) и будет использоваться для именования новой грани, рожденной операцией.

Имена граней будут уникальными при уникальности элементов контейнера простых имен. Ребра получают имена хешированием имён соединяемых ими граней. Вершины получают имена хешированием имён стыкующихся в них рёбер. В качестве идентификатора грани, ребра или вершины можно использовать число, которое выдаст метод MbName::Hash() соответствующего

топологического объекта. Грани, ребра и вершины в теле можно искать по известному имени MbName методами **FindFaceByName**(...), **FindEdgeByName**(...), **FindVertexByName**(...).

Кроме того, объект MbSNameMaker содержит версию способа построения и обеспечивает сохранение старых способов построений при их модификации в процессе развития геометрического ядра..

О.8. ОБЪЕКТЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Среди трёхмерных геометрических объектов выделен класс объектов геометрической модели. Для твердотельного, поверхностного и прямого моделирования используется такой объект геометрической модели, как тело. Тела строятся и при моделировании объектов из листового металла. Кроме тела к объектам геометрической модели относятся проволочный каркас, точечный каркас и полигональный объект. Из объектов геометрической модели можно создавать сборочные единицы. Для вспомогательных построений могут использоваться такие объекты геометрической модели как локальная система координат. Среди объектов геометрической модели есть объект для построения эскизов.

О.8.1. Объект геометрической модели MbItem

Класс MbItem объявлен в файле model_item.h.

Объект геометрической модели MbItem является наследником классов MbSpaceItem, MbTransactions и MbAttributeContainer. Геометрическое ядро C3D оперирует объектами геометрической модели, которые приведены на рис. О.8.1.1.

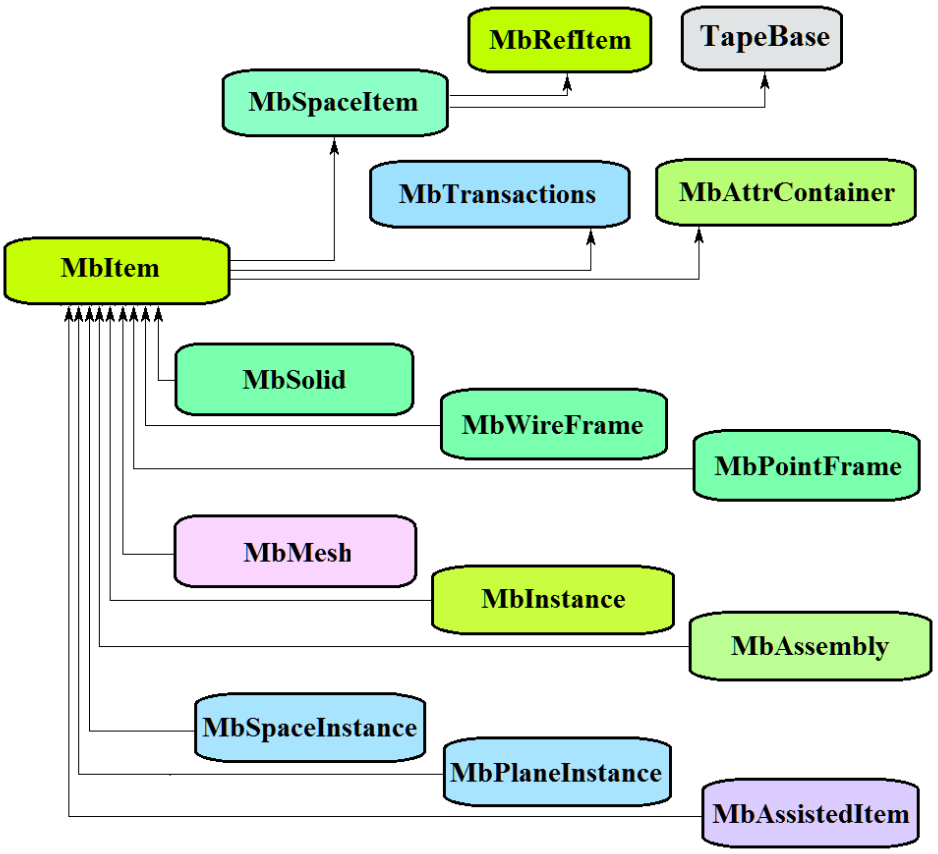


Рис О.8.1.1.

Журнал построения MbTransactions содержит данные, необходимые для построения объекта и позволяет повторить построение объекта с отредактированными параметрами. Контейнер атрибутов MbAttrContainer наделяет объекты геометрической модели атрибутами. Таким образом, все объекты геометрической модели кроме своих специфических данных содержат следующие данные:
size_t *m_countRegistrable* – количество регистрирований объекта при записи и чтении,
ptrdiff_t *useCount* – количество использований объекта другими объектами,
std::vector<MbCreator *> **transactions** – упорядоченное множество строителей объекта,
std::multimap<int, MbAttribute*> **attributes** – множество атрибутов объекта.

Наследниками класса MbItem являются следующие объекты геометрической модели:
MbSolid – твёрдое тело,
MbWireFrame – проволочный каркас,
MbPointFrame – точечный каркас,
MbMesh – полигональный объект,
426 – вставка объекта геометрической модели,
MbAssembly – сборочная единица объектов геометрической модели,
MbAssistingItem – вспомогательный объект,
MbSpaceInstance – вставка трёхмерного объекта,
MbPlaneInctance – вставка множества двумерных объектов.

Основными методами объектов геометрической модели являются методы, обеспечивающие редактирование и визуализацию объектов.

Метод
bool **RebuildItem**(MbeCopyMode sameShell, RPArray<MbSpaceItem> * **items**)
выполняет построение объекта заново по журналу построения. Этот метод вызывается после редактирования внутренних данных объекта.

Метод
MbItem * **CreateMesh**(MbeStepData data, bool wire, bool grid, MbRegDuplicate * iReg)
создаёт полигональную копию объекта. Если объект представляет собой сборочную единицу или вставку, то копия объекта будет также сборочной единицей или вставкой с полигональными объектами.

Метод
bool **AddYourMesh**(MbeStepData data, bool wire, bool grid, MbMesh & **mesh**)
добавляет полигональную копию объекта в объект **mesh**.

Метод
bool **NearestMesh**(MbeSpaceType sType, MbeTopologyType tType, MbePlaneType pType,
const MbAxis3D & **axis**, double maxDistance, double & t, double & dMin,
MbItem *& **find**, SimpleName & findName,
MbRefItem *& **element**, SimpleName & elementName,
MbPath & path, MbMatrix3D & **from**)
выполняет поиск ближайшего полигонального объекта **find**, его элемента **element**, их имён findName и elementName, пути в структуре сборочной единицы path и матрицы преобразования в глобальную систему координат **from**.

Объекты геометрической модели перегружают такие методы трёхмерного объекта как:
методы, обслуживающие преобразование геометрического объекта,
void **Move**(const MbVector3D & **v**, MbRegTransform * iReg = NULL),
void **Rotate**(const MbAxis3D & **axis**, double **angle**, MbRegTransform * iReg = NULL),
void **Transform**(const MbMatrix3D & **m**, MbRegTransform * iReg = NULL),
методы, обеспечивающие копирование, проверку на совпадение, проверку на возможность сделать совпадающими, делающие объекты совпадающими,
MbSpaceItem & **Duplicate**(MbRegDuplicate * iReg = NULL),
bool **IsSame**(const MbSpaceItem & **item**),
bool **IsSimilar**(const MbSpaceItem & **item**),
bool **SetEqual**(const MbSpaceItem & **item**),
методы, возвращающие тип из перечисления геометрических объектов,
MbeSpaceType **IsA**(),
MbeSpaceType **Type**(),
MbeSpaceType **Family**(),
методы, обеспечивающие выдачу и редактирование внутренних данных объекта,
MbProperty & **CreateProperty**(MbePrompt name),
GetProperties(MbProperties & *properties*),
SetProperties(MbProperties & *properties*).

О.8.2. Твёрдое тело MbSolid

Класс MbSolid объявлен в файле solid.h.

Твёрдое тело или просто тело MbSolid является наследником класса MbItem и описывается множеством граней MbFaceShell* **outer** и типом связности *multiState*.

Тело представляет собой набор граней, стыкующихся друг с другом по ребрам и описывающих поверхность моделируемого объекта. Тело может описывать одно или несколько связных множеств точек. Тип связности *multiState* сообщает о том, что тело описывает одно связное множество точек, или, что тело описывает несколько связных множеств точек и может быть разбито на несколько тел.

Множество граней тела **outer** в зависимости наличия краевых ребер может описывать два принципиально разных множества точек. Если множество граней не имеет края, то тело описывает множество точек, располагающихся на поверхности граней и с внутренней стороны от этих граней. Такое тело называется *замкнутым* и описывается замкнутой оболочкой. Замкнутое тело приведено на рис О.8.2.1.

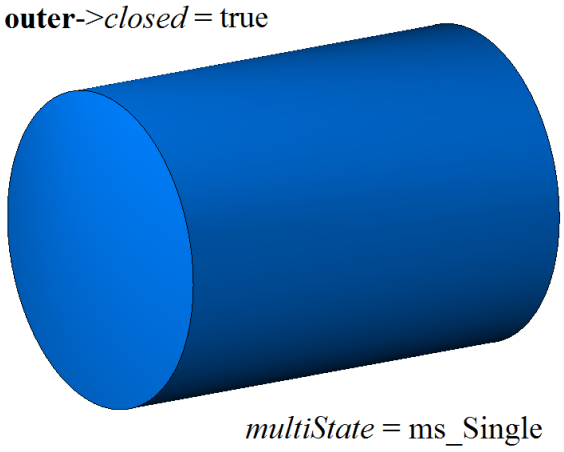


Рис. О.8.2.1.

Если множество граней тела имеет край или края, то тело описывает множество точек, располагающихся на поверхности граней и только. Такое тело называется *незамкнутым* и описывается незамкнутой оболочкой . Незамкнутое тело приведено на рис О.8.2.2.

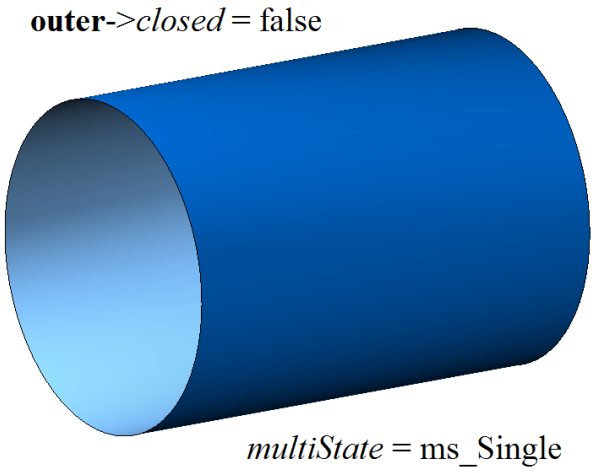


Рис. О.8.2.2.

В большинстве случаев замкнутое тело описывается одним связным множеством граней – одной оболочкой. Если у замкнутого тела есть внутренние полости, тело описывается несколькими связными наборами граней. На рис О.8.2.3 приведено замкнутое тело, которое описывается двумя замкнутыми оболочками, одной внешней, а другой внутренней, располагающейся внутри внешней оболочки.

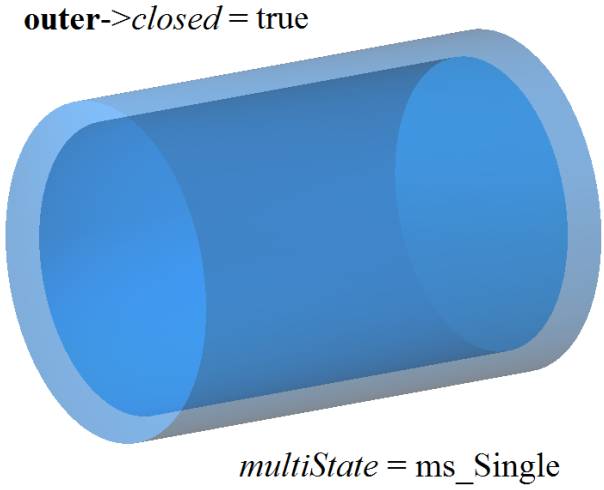


Рис. О.8.2.3.

Чтобы увидеть полость тела, тело выполнено полупрозрачным.

Над телами можно выполнять различные операции – совокупность действий, которая приводит к образованию тела иной формы, например, булевы операции. Результат вычитания двух замкнутых тел приведен на рис. О.8.2.4.

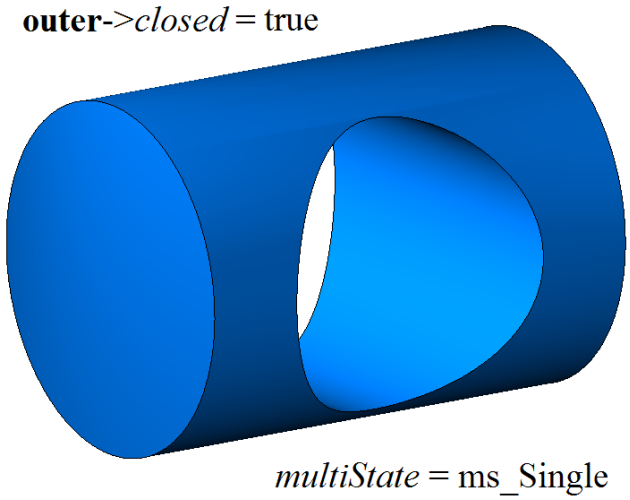


Рис. О.8.2.4.

Результат операции над замкнутым и незамкнутым телом принципиально отличается, так как действия выполняются над разными множествами точек. Результат вычитания тела из незамкнутого тела приведен на рис. О.8.2.5.

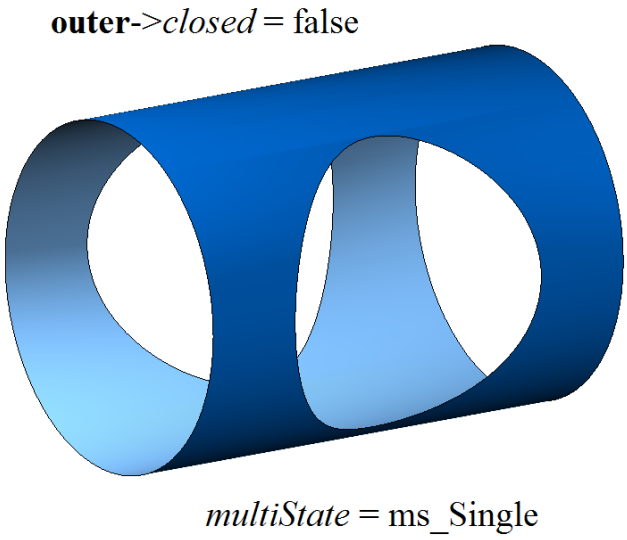


Рис. О.8.2.5.

Тело может быть многосвязным, то есть может состоять из нескольких отдельных частей. В этом случае *multiState* принимает значение ms_Multiple. Двусвязное тело, описываемое двумя замкнутыми оболочками, приведено на рис. О.8.2.6.

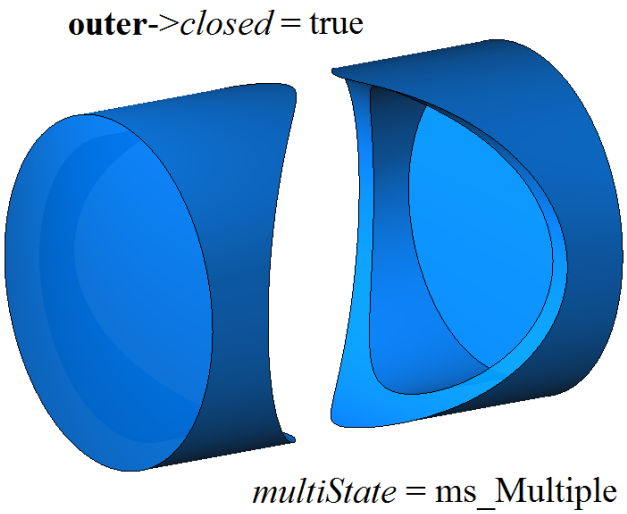


Рис. О.8.2.6.

Такое тело может быть разделено на два односвязных замкнутых тела методом **::164**(...). Тело на рис. О.8.2.6 выполнено полупрозрачным. Двусвязное тело, описываемое двумя незамкнутыми оболочками, приведено на рис. О.8.2.7.

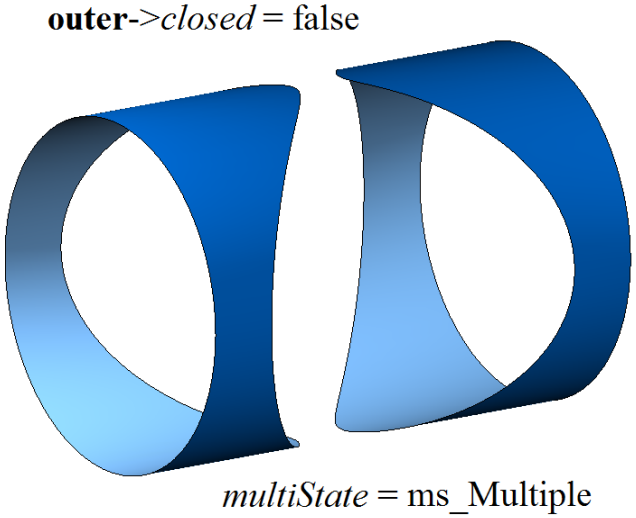


Рис. О.8.2.7.

Такое тело может быть разделено на два односвязных незамкнутых тела.

Тела создаются методами геометрического ядра C3D. Тела простой формы создаются по точкам, кривым и поверхностям. С помощью операций из тел простой формы можно получить более сложные тела. Редактировать исходные тела и создавать подобные тела можно путём изменения параметров журнала построения MbTransactions или путём непосредственной модификации элементов уже построенных тел. Незамкнутые тела используются в поверхностном моделировании. Незамкнутое тело позволяет сосредоточить усилия на сложных формах моделируемого объекта.

О.8.3. Проволочный каркас MbWireFrame

Класс MbWireFrame объявлен в файле wire_frame.h.

Проволочный каркас MbWireFrame является наследником класса MbItem и описывается множеством рёбер std::vector<MbEdge*>**edges**, количеством связных частей *parts* и признаком отсутствия краевых вершин *closed*.

Проволочный каркас представляет собой множество рёбер, стыкующихся друг с другом в вершинах и описывающих каркасную конструкцию моделируемого объекта. Проволочный каркас может описывать одно или несколько связных множеств точек. Количеством связных частей *parts* сообщает о том, что каркас описывает одно связное множество точек, или, что каркас описывает несколько связных множеств точек и может быть разбит на несколько проволочных каркасов.

В зависимости от отсутствия или наличия краевых вершин проволочный каркас будем называть *замкнутым* или *незамкнутым*. На рис О.8.3.1 приведен замкнутый проволочный каркас.

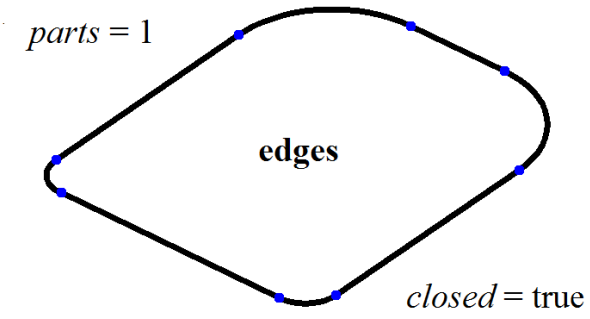


Рис. О.8.3.1.

Незамкнутый проволочный каркас приведен на рис О.8.3.2.

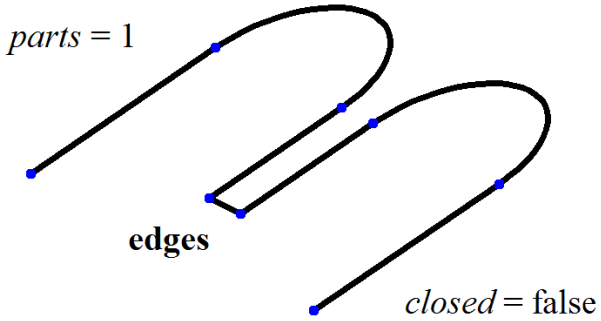


Рис. О.8.3.2.

На рис О.8.3.3 приведен незамкнутый проволочный каркас, состоящий из двух связных множеств рёбер.

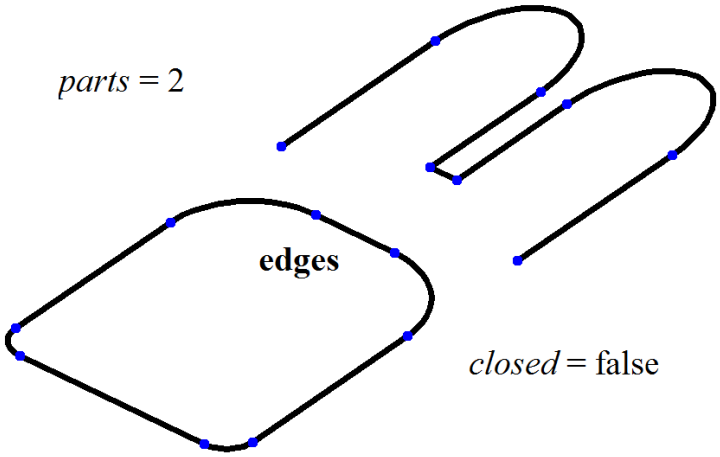


Рис. О.8.3.3.

На рис О.8.3.4 приведен замкнутый проволочный каркас, состоящий из двух связных множеств рёбер.

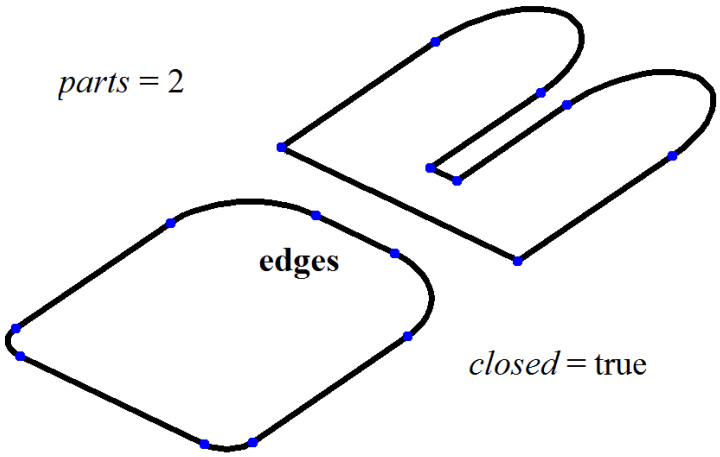


Рис. О.8.3.4.

Проволочный каркас может использоваться для построения траекторий, пространственных эскизов и для вспомогательных построений.

O.8.4. Точечный каркас MbPointFrame

Класс MbPointFrame объявлен в файле point_frame.h.

Точечный каркас MbWireFrame является наследником класса MbItem и описывается множеством точек, представленных в виде вершин, std::vector<MbVertex*>**vertices**.

На рис О.8.4.1 приведен точечный каркас.

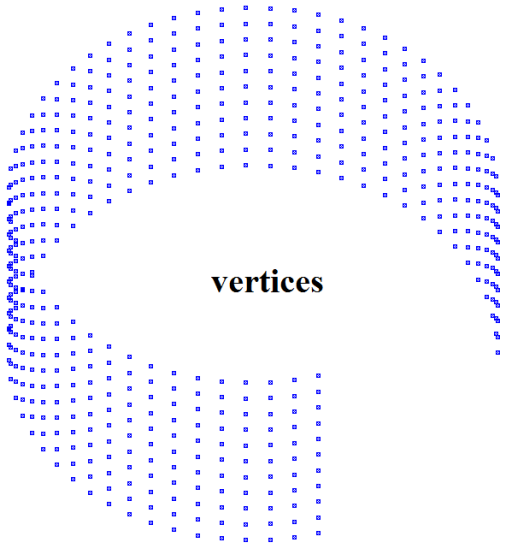


Рис. О.8.4.1.

Точечный каркас может использоваться для позиционирования других объектов и для вспомогательных построений.

O.8.5. Полигональный объект MbMesh

Класс MbMesh объявлен в файле mesh.h.

Полигональный объект MbMesh является наследником класса MbItem и описывается множеством триангуляций RPArray<MbGrid>**grids**, множеством полигонов RPArray<MbPolygon3D>**wires**, множеством апексов RPArray<MbApex3D>**peaks**, указателем на оригинальный объект MbRefItem* **item**, типом *type*, габаритным кубом **cube** и признаком замкнутости *closed*.

Полигональный объект представляет собой набор треугольных и четырехугольных пластин, ломаных линий и отдельных точек. Одним из способов построения полигонального объекта является аппроксимация других объектов геометрической модели, например, тела. Каждая *i*-ая грань тела аппроксимируется триангуляцией **grids**[*i*], каждое *j*-ое ребро тела аппроксимируется полигоном **wires**[*j*], каждой *k*-ой вершине тела соответствует апекс **peaks**[*k*], признак замкнутости *closed* соответствует замкнутости тела. Ещё одним способом получения полигонального объекта является импорт данных с помощью конвертера полигонального представления.

Триангуляция MbGrid представляет собой множество точек Sarray<MbFloatPoint3D>**points**, согласованное с ним множество нормалей Sarray<MbFloatVector3D>**normals** (количество точек равно количеству нормалей), множество двумерных точек параметрической области поверхности Sarray<MbFloatPoint>**params** (количество двумерных точек равно количеству трехмерных точек или равно нулю – множество может быть пустым), множество треугольных пластин Sarray<MbTriangle>*triangles* в виде трех индексов множества точек **points**, множество четырехугольных пластин SArray<MbQuadrangle>*quadrangles* в виде четырех индексов множества точек **points**. Пластины триангуляции аппроксимируют некоторую поверхность.

Полигон MbPolygon3D представляет собой упорядоченное множество точек, последовательное соединение которых даст ломаную линию, аппроксимирующую некоторую кривую.

Апекс MbApex3D представляет собой точку, наделенную дополнительными данными.

Указатель на оригинальный объект **item** может быть равен нулю, а тип *type* может быть неопределенным.

Векторное изображение полигонального объекта приведено на рис. О.8.5.1.

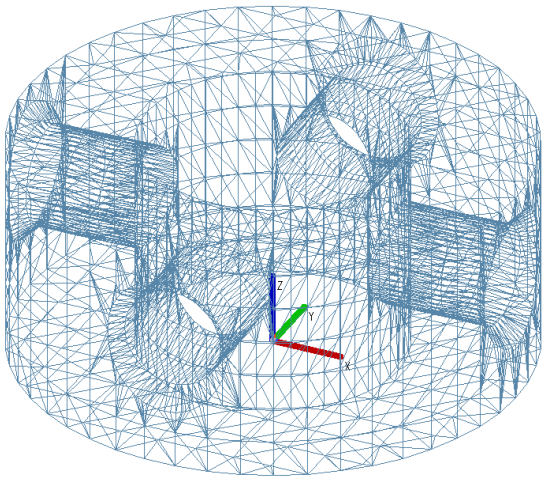


Рис. О.8.5.1.

Тонированное изображение полигонального объекта приведено на рис. О.8.5.2.

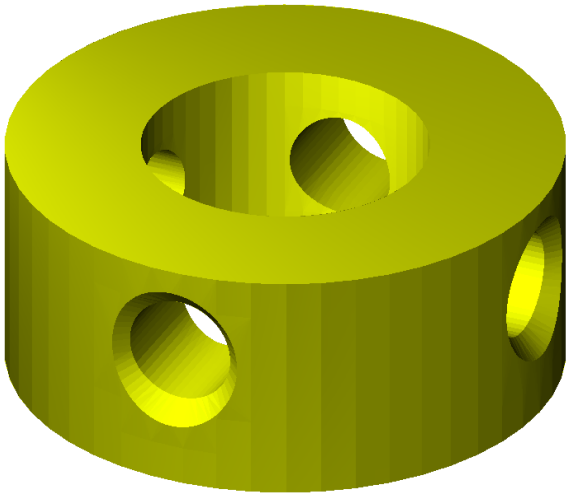


Рис. О.8.5.2.

На рис. О.8.5.2 видны отдельные треугольники объекта, из-за того, что направление нормалей в каждом треугольнике постоянно. Если направление нормалей в треугольниках триангуляции непрерывно меняется, то отдельные треугольники объекта становятся не видны, рис. О.8.5.3.

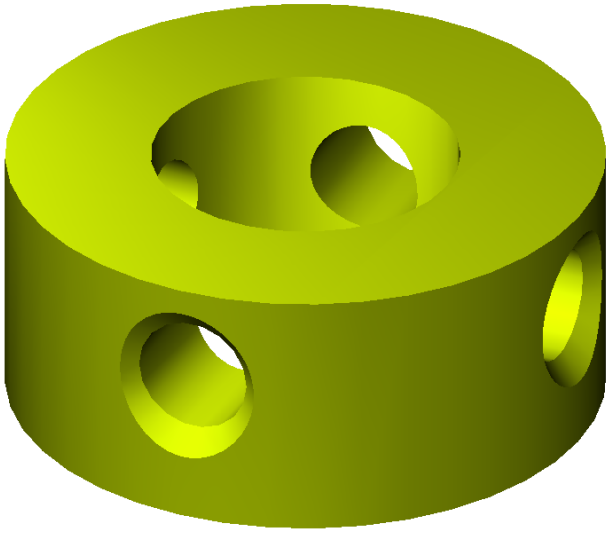


Рис. О.8.5.3.

Полигональный объект может быть создан методом MbItem::**CreateMesh**(...) или методом MbItem::**AddYourMesh**(...). Полигональный объект используется для визуализации, расчетов, производства моделируемых объектов. Основным преимуществом полигонального объекта является простота и высокая скорость вычислений, например, пересечения с прямой линией.

О.8.6. Вставка MbInstance

Класс MbInstance объявлен в файле instance.h.

Вставка объекта MbInstance является наследником класса MbItem и описывается объектом геометрической модели MbItem* **item** и локальной системой координат MbPlacement3D **place**. Вставка представляет собой объект **item**, перенесенный в локальную систему координат **place**.

Вставка обладает всеми свойствами объекта **item**. Отличие заключается в том, что методы **Move**(...), **Rotate**(...), **Transform**(...) изменяют систему координат **place** не меняя объект **item**.

Вставка объекта может содержать тело, проволочный каркас, точечный каркас, полигональный объект, но не может содержать другую вставку или сборочную единицу.

О.8.7. Сборочная единица MbAssembly

Класс MbAssembly объявлен в файле assembly.h.

Сборочная единица MbAssembly или сборка является наследником класса MbItem и описывается множеством объектов геометрической модели std::vector<MbItem*>**assemblyItems** и локальной системой координат MbPlacement3D **place**.

Сборка представляет собой множество объектов геометрической модели, которыми можно оперировать как единым объектом.

Сборочная единица приведена на рис. О.8.7.1.

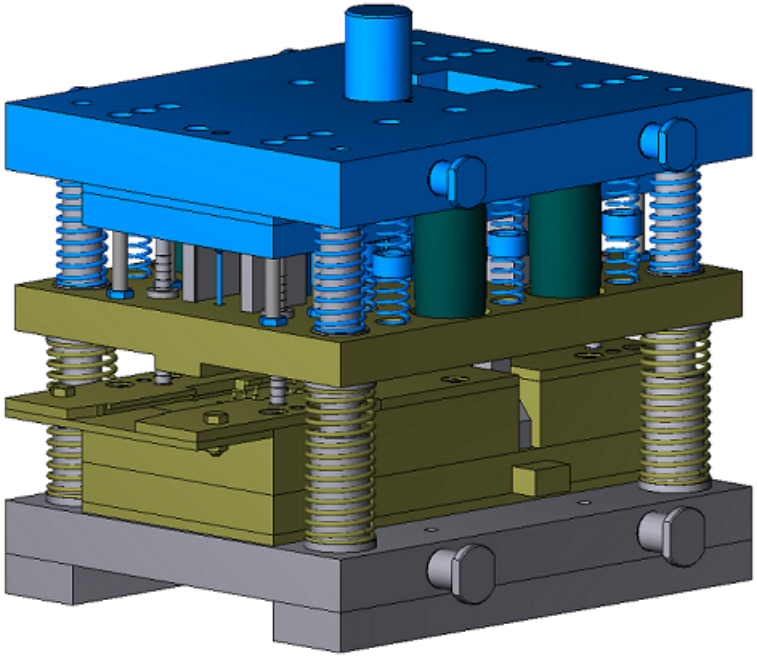


Рис. О.8.7.1.

Сборочная единица может содержать другие сборочные единицы в качестве своих объектов, то есть может иметь древовидную структуру.

О.8.8. Вставка трёхмерного объекта MbSpaceInstance

Класс MbSpaceInstance объявлен в файле space_instanse.h.

Вставка трёхмерного объекта MbSpaceInstance является наследником класса MbItem и описывается геометрическим объектом MbSpaceItem* **spaceItem**.

Вставка играет роль обёртки геометрического объекта, позволяющей работать с ним как с объектом геометрической модели. Вставка придает обычному геометрическому объекту журнал построения, наделяет объект атрибутами и методами объекта геометрической модели MbItem. Вставка трёхмерного объекта предназначена для вспомогательных построений. Вставка поверхности приведена на рис. О.8.8.1.

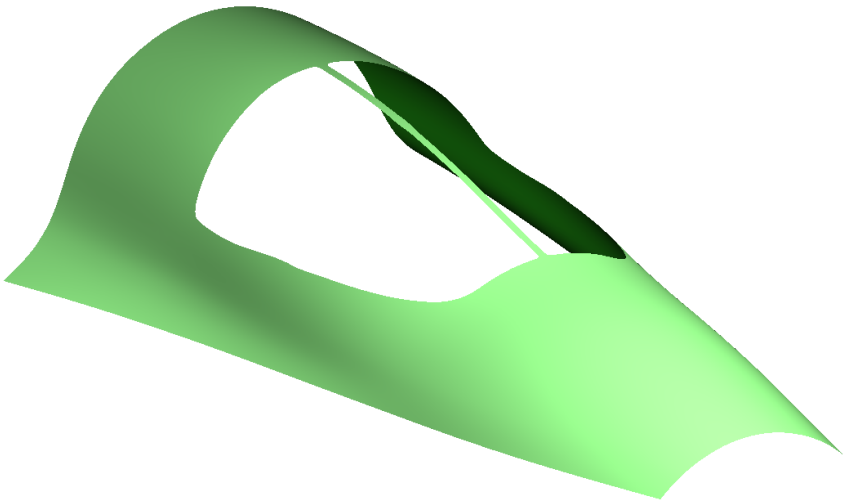


Рис. О.8.8.1.

Вставка объекта может содержать поверхность MbSurface, кривую MbCurve3D, точку MbPoint3D или вспомогательный геометрический объект MbLegend. Для объектов, наследников объекта геометрической модели MbItem (тело, проволочный каркас, точечный каркас, полигональный объект, сборка, вставка), вставка геометрического объекта не применяется.

О.8.9. Вставка двумерных объектов MbPlaneInctance

Класс MbPlaneInstance объявлен в файле plane_instanse.h.

Вставка двумерных объектов MbPlaneInstance является наследником класса MbItem и описывается множеством двумерных геометрических объектов std::vector<MbPlaneItem>**planeItems** и локальной системой координат MbPlacement3D **place**. Двумерные объекты располагаются в плоскости XY локальной системы координат.

Вставка играет роль обёртки двумерных геометрических объектов, позволяющей работать с ними как с объектом геометрической модели. Вставка придает двумерным геометрическим объектам журнал построения, наделяет их атрибутами и методами объекта геометрической модели MbItem. Вставка двумерных объектов предназначена для вспомогательных построений. Вставка двумерных кривых приведена на рис. О.8.9.1.

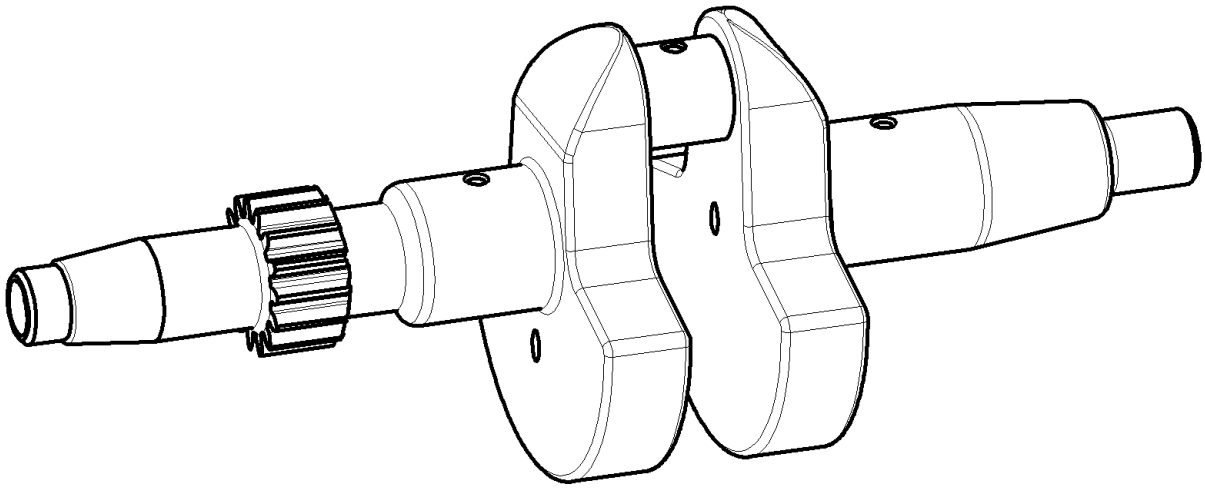


Рис. О.8.9.1.

Вставка двумерных объектов может содержать двумерную кривую MbCurve, мультилинию MbMultiline или регион MbRegion.

О.8.10. Вспомогательный объект MbAssistingItem

Класс MbAssistingItem объявлен в файле assisting_item.h.

Вспомогательный объект геометрической модели MbAssistingItem является наследником класса MbItem и описывается локальной системой координат MbPlacement3D **place**. Вспомогательный объект предназначен для позиционирования других объектов. Вспомогательный объект обладает журналом построения, атрибутами и методами объекта геометрической модели MbItem.
вспомогательных построений. Вспомогательный объект приведен на рис. О.8.10.1.

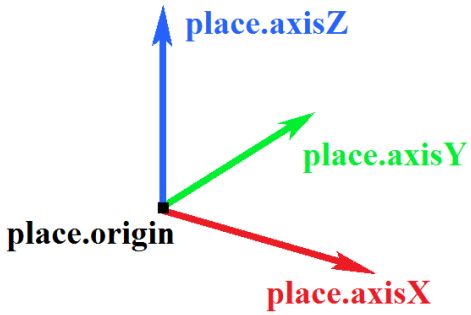


Рис. О.8.10.1.

O.9. МНОГОПОТОЧНОСТЬ

Поддержка многопоточности в математическом ядре подразумевает:

- Использование многопоточных вычислений в ядре.
- Поддержку многопоточности в пользовательских приложениях.

Математическое ядро реализует механизмы, обеспечивающие потокобезопасное использование интерфейсов ядра в параллельных вычислениях.

Для организации внутренней многопоточности ядро использует технологию **OpenMP**.

Основные многопоточные операции ядра включают в себя следующее (но не ограничиваются данным списком):

- Построение плоских проекций
- Расчет полигональных сеток
- Расчет массо-центровочных характеристик
- Операции конвертеров

Если реализация интерфейса использует параллельные вычисления, то соответствующая информация содержится в комментариях к интерфейсу.

Для обеспечения потокобезопасности использования интерфейсов ядра в многопоточных приложениях используются объекты синхронизации на базе системных механизмов.

O.9.1. Потокобезопасность объектов ядра

Потокобезопасность объектов ядра реализуется специальным механизмом - многопоточным кэшированием, которое обеспечивает потокобезопасный доступ к данным объекта ядра и делает возможным эффективное распараллеливание вычислений в случаях, когда объект обрабатывается одновременно в разных потоках.

Каждый поток работает со своей копией кэшированных данных, что предотвращает конкуренцию за данные между потоками. Управляет многопоточными кэшами менеджер кэшей, который отвечает за создание, хранение и выдачу кэшированных данных объекта для текущего потока.

Важно, что многопоточное кэширование эффективно работает как при многопоточных вычислениях, так и при последовательном выполнении вычислений. Несомненным плюсом является и то, что переход к использованию многопоточных кэшей требует минимальной переработки кода. При этом надо учитывать накладные расходы на поддержку многопоточных кэшей:

- Несколько увеличивается использование памяти.
- При отсутствии параллельности могут присутствовать незначительные дополнительные затраты времени на получение кэшированных данных.

Механизм многопоточных кэшей может быть включен или отключен при переключении режима многопоточности ядра.

O.9.2. Реализация многопоточных кэшей

Базовый класс для кэшированных данных и класс менеджера кэшей определены в файле tool_multithreading.h.

O.9.2.1. Менеджер кэшей CacheManager

Менеджер кэшей определен, как шаблонный класс **CacheManager** для класса кэшированных данных, и содержит члены:

- **longTerm** - данные главного потока; используются при последовательном выполнении и для инициализации данных потоков при параллельном выполнении.
- **tcache** — список кэшей с данными, которые используются при параллельном выполнении. Каждый поток по идентификатору threadKey использует только свою копию данных. Для многопоточной обработки зависимых (имеющих общие данные) объектов должен использоваться режим многопоточных вычислений **mtm_Items**.
- **lock** — блокировка менеджера кэшей, которая используется при изменении списка кэшей и изменении кэша главного потока.

Шаблонный класс **CacheManager<class T>** реализует методы:

- **T * operator()** - Возвращает указатель на кэш (данные) текущего потока. Всегда возвращает ненулевое значение.
- **void Reset (bool resetLongTerm)** - Аннулирует данные кэшей. Если resetLongTerm==true, также удаляет кэш главного потока.
- **void CleanAll(bool doPostproc, bool force)** - Удаляет все кэши и отписывается от сборки мусора. Должна вызываться в последовательном участке кода.
- **T * LongTerm()** - Возвращает указатель на кэш (данные) главного потока. Всегда возвращает ненулевое значение. Все операции с кэшем главного потока должны быть защищены блокировкой кэша.
- **CommonMutex * GetLock()** - Возвращает указатель на блокировку для операций с кэшем главного потока, учитывая, исполняется ли код параллельно. Может возвращать нулевое значение (удобно для использования с **ScopedLock**).
- **CommonMutex * GetLockHard()** - Возвращает указатель на блокировку для операций с кэшем главного потока. Всегда возвращает ненулевое значение.
- **bool ResetCacheData()** - Функция очистки, используемая сборщиком мусора.

Алгоритм работы менеджера кэшей зависит от режима многопоточности ядра **MbeMultithreadedMode**.

Если определен режим многопоточных вычислений не ниже **mtm_SafeItems**, менеджер кэшей инициирует использование выделенных кэшей для каждого потока. При этом менеджер кэшей по идентификатору потока выбирает и выдает потоку его копию данных.

При переходе к последовательной работе менеджер вызывает функцию **Postprocess()** для пост-обработки кэшей. Указанная функция итерируется по кэшам, использованным при параллельных вычислениях, и вызывает функцию longTerm.MergeWith() с данными каждого кэша в качестве параметра. После завершения работы функции **Postprocess()** многопоточные кэши удаляются. Далее на запрос кэша менеджер кэшей выдает только кэш главного потока (**longTerm**).

Класс CacheManager является производным от класса CacheCleaner, что позволяет запускать чистку кэшей по требованию.

O.9.2.2. Базовый класс кэшированных данных AuxiliaryData

Класс кэшированных данных должен наследоваться от базового класса **AuxiliaryData** и содержать определения конструктора по умолчанию и конструктора копирования.

Кроме того, если требуется пост-обработка кэшей после выхода из параллельных вычислений, наследник класса **AuxiliaryData** должен переопределить метод **void MergeWith(AuxiliaryData *)**, который вызывается Менеджером кэшей для данных основного потока с данными каждого из многопоточных кэшей в качестве параметра. Реализация **MergeWith()** по умолчанию не делает никакой пост-обработки.

Класс объекта ядра, использующего кэширование, должен определять кэшированные данные как класс, наследованный от **AuxiliaryData**, и включать в себя экземпляр **CacheManager** как член класса.

При многопоточной обработке зависимых (имеющих общие данные) объектов должен использоваться режим многопоточных вычислений не ниже **mtm_SafeItems**.

O.9.3. Сборка мусора в менеджере кэшей

Менеджер кэшей **CacheManager** удаляет ненужные кэши при первом вызове из последовательного кода.

Кроме того, при выходе из параллельного региона автоматически запускается сборка мусора в кэшах.

Математическое ядро предоставляет интерфейс для очистки кэшированных данных - класс **MbGarbageCollection.**

Класс MbGarbageCollection — это сборщик мусора в объектах типа **CacheCleaner**, хранящих кэшированные данные. По требованию он очищает кэши в зарегистрированных объектах.

Для того, чтобы в объекте типа CacheCleaner стала возможна сборка мусора, он должен реализовать метод **ResetCacheData()** для очистки кэшей и подписаться на сборку в классе MbGarbageCollection.

Класс CacheManager является производным от класса **CacheCleaner**, что позволяет запускать чистку кэшей в менеджере автоматически. Для этого при создании кэша для потока менеджер кэшей регистрируется в **MbGarbageCollection**.

O.9.3.1. Базовый класс объектов, требующих сборки мусора

Для того, чтобы подписаться на сборку мусора, класс должен наследоваться от класса **CacheCleaner** и реализовать метод ResetCacheData для удаления кэшированных данных.

CacheCleaner - это базовый класс для объектов, требующих сборки мусора. Он реализует методы:

- **void SubcribeOnCleaning()** - Подписаться на сборку мусора.
- **void UnsubcribeOnCleaning()** - Отписаться от сборки мусора.

Класс CacheCleaner также предоставляет метод:

- **bool ResetCacheData()** - Очистить кэшированные данные. Должен возвращать true, если кэшированные данные были очищены и объект отписан от сборки мусора.

O.9.3.2. Класс для сборки мусора MbGarbageCollection

Класс **MbGarbageCollection** — это сборщик мусора в объектах типа **CacheCleaner**, хранящих кэшированные данные. По требованию он очищает кэши в зарегистрированных объектах, вызывая метод **ResetCacheData** для каждого объекта.

Класс MbGarbageCollection реализует методы:

- **void Subscribe(CacheCleaner * obj)** - Подписать объект на сборку мусора.
- **void Unsubscribe(CacheCleaner * obj)** - Отписать объект от сборки мусора.
- **static bool Run(bool force = false)** - Выполнить сборку мусора. Должна вызываться в последовательном участке кода. При вызове в параллельном регионе ничего не

делает. Если force = false, то инициируется сборка мусора в кэшах, созданных для потоков, которые уже завершены, если force = true, то инициируется принудительная сборка мусора во всех кэшах.

- **static void Enable(bool allow = true)** - Активировать/деактивировать сбор данных для проведения сборки мусора. По умолчанию сбор данных активирован.

O.9.4. Режимы многопоточности ядра

Режим многопоточности ядра управляет распараллеливанием операций ядра и механизмами потокобезопасности ядра. Он включает или отключает параллельность вычислений в ядре и включает или отключает механизмы, обеспечивающие потокобезопасность объектов и операций ядра (что важно при организации многопоточных вычислений в пользовательском приложении)

Режим многопоточности ядра определен как перечисление **MbeMultithreadedMode** в файле tool_multithreading.h.

Ядро может работать в следующих режимах:

- **mtm_Off** - Многопоточность ядра отключена. В этом режиме все операции выполняются последовательно. Механизм, обеспечивающий потокобезопасность объектов ядра, отключен.
- **mtm_Standard** - В стандартном режиме многопоточности работает ограниченное распараллеливание операций ядра, а именно распараллеливаются только операции, обрабатывающие независимые данные. Механизм потокобезопасности объектов ядра отключен.
- **mtm_SafeItems** - Режим потокобезопасности объектов ядра. В этом режиме включается механизм многопоточного кэширования, но по-прежнему работает ограниченное распараллеливание операций ядра. Данный режим нужен для поддержки многопоточных вычислений в пользовательских приложениях.
- **mtm_Items** - Режим многопоточности объектов. В этом режиме включено полное распараллеливание операций ядра, то есть распараллеливаются операции, обрабатывающие как независимые, так и зависимые данные. Данный режим также может использоваться для поддержки многопоточных вычислений в пользовательских приложениях.
- **mtm_Max** - Включена максимальная многопоточность ядра. В настоящее время фактически совпадает с режимом mtm_Items.

По умолчанию в ядре установлен режим **mtm_Max.**

Ядро предоставляет интерфейсы для динамического изменения режима многопоточности ядра.

Интерфейсы для динамического изменения режима многопоточности ядра объявлены в файле mb_variables.h.

Для переключения между режимами многопоточности предназначены статические методы класса Math:

- **bool Multithreaded()** - Проверяет, включен ли режим **mtm_Standard** (работает ли распараллеливание).
- **void SetMultithreaded(bool b)** - Если b = false, устанавливает режим **mtm_Off** (отключает многопоточность). Если b = true, устанавливает режим **mtm_Standard** (включает ограниченную многопоточность).
- **MbeMultithreadedMode MultithreadedMode()** - Возвращает текущий режим

многопоточности.

- **bool CheckMultithreadedMode (MbeMultithreadedMode mode)** - Проверяет, что текущий режим многопоточности не ниже **mode.**
- **void SetMultithreadedMode (MbeMultithreadedMode mode)** - Устанавливает режим многопоточности **mode.**

О.9.5. Объекты синхронизации

Объекты синхронизации определены в файле tool_mutex.h.

О.9.5.1. Блокировки

По умолчанию ядро использует классы блокировок, реализованные на основе системных механизмов синхронизации, что позволяет безопасно использовать любые механизмы распараллеливания (в том числе, отличные от OpenMP) в пользовательском приложении.

Но ядро может быть переключено на использование блокировок на базе блокировок OpenMP.

На платформе Windows системные блокировки по умолчанию реализуются на базе критической секции. На платформе Linux системные блокировки реализуются на базе pthread_mutex_t.

Реализация классов блокировок управляется переменной **C3D_NATIVE_LOCK**. Переопределять переменную C3D_NATIVE_LOCK в пользовательском приложении запрещено.

Классы **CommonMutex** и **CommonRecursiveMutex** определяют блокировку и рекурсивную блокировку. Они реализуют методы lock() и unlock().

Классы **ScopedLock** и **ScopedRecursiveLock** определяют блокировку и рекурсивную блокировку в области видимости. Они могут принимать нулевой указатель на мьютекс. Блокировка происходит, если указатель на мьютекс ненулевой и код выполняется параллельно.

О.9.5.2. Базовые объекты синхронизации

Класс **MbSyncItem** - базовый объект синхронизации с отложенной инициализацией, реализующий методы Lock() и Unlock(). Создает блокировку (мьютекс) при необходимости.

Класс **MbNestSyncItem** - базовый объект синхронизации с отложенной инициализацией, поддерживающий множественные блокировки. Создает блокировку (мьютекс) при необходимости Реализует методы Lock() и Unlock().

Класс **MbPersistentSyncItem** - базовый объект синхронизации, реализующий методы Lock() и Unlock(). Всегда создает блокировку.

Класс **MbPersistentNestSyncItem** - базовый объект синхронизации, поддерживающий множественные блокировки. Всегда создает блокировку. Реализует методы Lock() и Unlock().

Объекты ядра, которым нужны средства синхронизации, являются наследниками одного из этих классов.

O.9.6. Поддержка многопоточности в пользовательском приложении

Чтобы использовать интерфейсы ядра в нескольких потоках, для ядра должен быть установлен режим многопоточных вычислений не ниже **mtm_SafeItems**. По умолчанию в ядре установлен максимальный режим многопоточности (**mtm_Max**).

Если пользовательское приложение использует интерфейсы ядра в нескольких потоках, оно обязано сообщать ядру о входе в каждый параллельный регион и о выходе из него. Для этого могут быть использованы класс **ParallelRegionGuard** (защитник параллельного региона в области видимости) или парные функции **EnterParallelRegion** и **ExitParallelRegion**.

O.9.6.1. Защита параллельного кода в пользовательском приложении

Класс ParallelRegionGuard сообщает ядру, что код в области видимости выполняется параллельно. Он должен использоваться для защиты параллельного кода.

Вместо класса ParallelRegionGuard следующая пара функций также может быть использована для нотификации ядра о границах параллельного региона кода:

- Функция EnterParallelRegion сообщает ядру о входе в параллельный блок кода.
- Функция ExitParallelRegion сообщает ядру о выходе из параллельного блока кода.

Использование ParallelRegionGuard или функций EnterParallelRegion и ExitParallelRegion является обязательным, если интерфейсы ядра используются в нескольких потоках.

При этом, прежде, чем начать использовать параллельные вычисления, надо убедиться, что в ядре установлен режим многопоточности не ниже **mtm_SafeItems** (по умолчанию в ядре установлен максимальный режим многопоточности **mtm_Max**).

O.9.6.2. Примеры уведомления ядра о его использовании в параллельных вычислениях

ParallelRegionGuard должен вызываться один раз перед началом работы в нескольких потоках. Например:

```
<...Последовательный код...>
if( Math::CheckMultithreadedMode( mtm_Items ) ) {
    ParallelRegionGuard guard;// Работает в области видимости
    std::thread t1( func1 );
    std::thread t2( func2 );
    t1.join();
    t2.join();
}
<...Последовательный код...>
```

То же самое можно сделать, используя пару функций EnterParallelRegion() и ExitParallelRegion() вместо ParallelRegionGuard:

```
<...Последовательный код...>
if( Math::CheckMultithreadedMode( mtm_Items ) ) {
      EnterParallelRegion();
      std::thread t1( func1 );
      std::thread t2( func2 );
      t1.join();
      t2.join();
      ExitParallelRegion();
}
<...Последовательный код...>
```

Интерфейсы **ParallelRegionGuard**, **EnterParallelRegion** и **ExitParallelRegion** должны использоваться, чтобы нотифицировать ядро о распараллеливании в пользовательском

приложении. Эти нотификации нужны, чтобы обеспечить правильную работу механизмов потокобезопасности ядра.

O.9.6.3. Краткое справка по организации параллельных вычислений с использованием интерфейсов ядра C3D

1. Перед запуском параллельных вычислений, приложение должно проверить, что установленный режим многопоточности ядра позволяет использовать параллельные вычисления. Чтобы использовать интерфейсы ядра в нескольких потоках, в ядре должен быть установлен режим многопоточных вычислений не ниже mtm_SafeItems.

   Пример проверки режима ядра:

   ```
   bool useParallel = Math::CheckMultithreadedMode( mtm_SafeItems );
   ```

2. При использовании параллельных вычислений, пользовательское приложение обязано нотифицировать ядро о входе в параллельный регион и выходе из него.
   - Если используется параллельный цикл, то перед его началом нужно вызвать **EnterParallelRegion**, а после окончания - **ExitParallelRegion**.

   Пример:

   ```
   if( Math::CheckMultithreadedMode( mtm_Items ) ) {
     EnterParallelRegion();
   #pragma omp parallel for
     for ( ptrdiff_t i = 0; i < count; ++i ) {
       /* Cycle body */
      }
     ExitParallelRegion();
   }
   ```

   - Если интерфейсы ядра просто вызываются из разных потоков, то в каждом потоке перед вызовами интерфейса ядра должен быть вызов **EnterParallelRegion**, а после окончания использования ядра - вызов **ExitParallelRegion**.

   Пример:

   ```
   Поток 1:
   EnterParallelRegion();
   // Вызовы интерфейсов ядра
   ExitParallelRegion();

   Поток 2:
   EnterParallelRegion();
   // Вызовы интерфейсов ядра
   ExitParallelRegion();
   ```

   После первого вызова **EnterParallelRegion** ядро начнет использовать многопоточные кэши, а последнего вызова **ExitParallelRegion** вернется в базовый режим одного потока.

3. Не рекомендуется вызывать функции **EnterParallelRegion** и **ExitParallelRegion** без надобности (в отсутствие многопоточности), так как использование многопоточных кэшей влечет за собой дополнительные затраты времени на получение кэшированных данных.

O.10. ФОРМАТ C3D

Геометрическая модель C3D может быть сохранена в компактном виде в буфер памяти или в файл. Существуют две разновидности формата хранения геометрической модели C3D - компактный и расширенный.

Данная статья описывает форматы хранения геометрической модели и интерфейсы, предоставляемые геометрическим ядром для записи и чтения данных геометрической модели.

O.10.1. Формат хранения геометрической модели

O.10.1.1. Понятия и термины

Напомним, что **сериализация -** это процесс преобразования объекта (класса) в последовательность байтов с целью сохранения в буфере памяти (файле). **Десериализация -** обратный процесс восстановления объекта из последовательности байтов.

Потоковые операции - это операции записи и чтения модели и ее объектов (работа с потоками записи и чтения).

Объекты, которые могут сериализоваться (представлять себя в виде последовательности байтов) будем называть **потоковыми**.

Кластером будем называть непрерывный участок памяти (последовательность байтов), а **файловым пространством** - набор кластеров. Файловое пространство имеет одну точку записи (чтения) - позицию в текущем кластере.

O.10.1.2. Принципы записи геометрической модели

Геометрическая модель C3D может записываться в сериализованном виде (в виде последовательности байтов) в набор файловых пространств.

Все основные объекты геометрической модели являются потоковыми, то есть умеют писать и читать себя в файловое пространство. Каждый объект модели записывается, начиная с последнего незаполненного кластера текущего файлового пространства.

Запись геометрической модели начинается с объекта MbModel.

Каждый объект модели сначала записывает данные своего родительского объекта (если он существует), затем собственные данные и объекты, которые он содержит или на которые ссылается.

После завершения записи объекта MbModel геометрическая модель полностью сериализована в набор файловых пространств.

Далее вызовом специальной функции формируется единый последовательный буфер в памяти, куда записывается специальный заголовок и последовательно копируются данные всех кластеров файловых пространств.

Сформированный таким образом буфер памяти, содержащий данные геометрической модели в виде последовательности байтов, может быть передан куда-либо для последующего восстановления модели или записан в файл.

O.10.1.3. Компактный формат C3D

Компактный формат обеспечивает компактную и быструю запись данных геометрической модели в буфер памяти (файл) и обеспечивает чтение модели из буфера памяти (файла) целиком.

Особенностями компактного формата являются:

- Минимум накладных расходов при записи и чтении модели.
- Компактность хранения данных.
- Возможность чтения модели целиком.
  - Информация о структуре модели и отдельных объектах доступна только после прочтения всей модели.
  - Чтение объектов модели в произвольном порядке и импорт отдельных объектов невозможны.

Компактный формат помещает все данные модели в одно файловое пространство, то есть подразумевает наличие только одной точки записи или чтения данных - текущий кластер данного файлового пространства.

Схема 1 показывает структуру сериализованных данных геометрической модели перед сохранением в последовательный буфер памяти при использовании компактного формата.

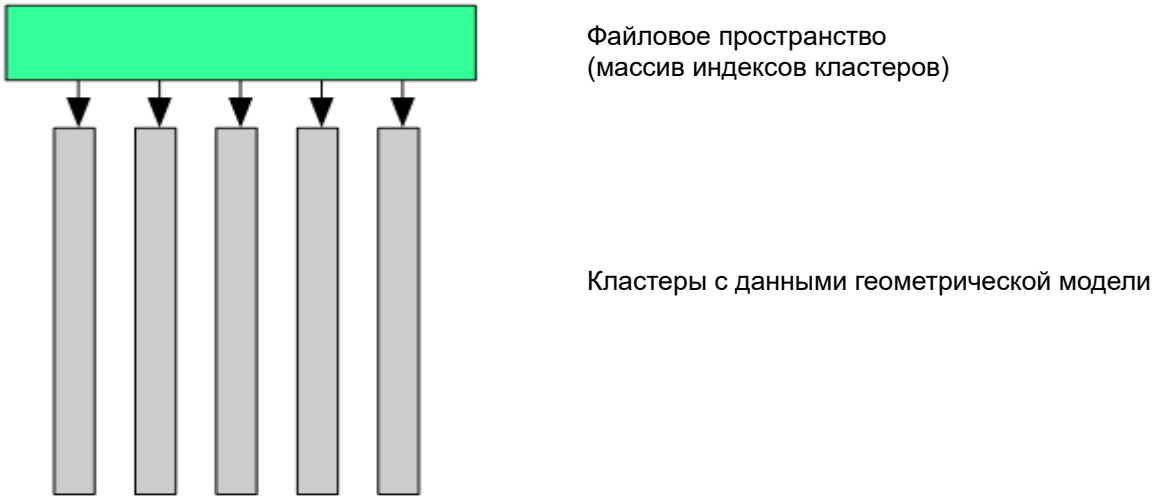


Схема 1. Структура данных в файловом пространстве (компактный формат).

Во время записи модели, если геометрический объект содержит внутри себя другой объект или ссылается на другой объект, то последний записывается внутри ссылающегося на него объекта.

Объект, на который ссылаются несколько объектов, объявляется ***регистрируемым***. Такой объект во время первой своей записи регистрируется в специальной таблице Регистрируемых объектов. Все последующие записываемые объекты, ссылающиеся на данный регистрируемый объект, содержат только ссылку на запись в таблице.

Схема 2 показывает структуру хранения данных геометрической модели в последовательном буфере памяти.

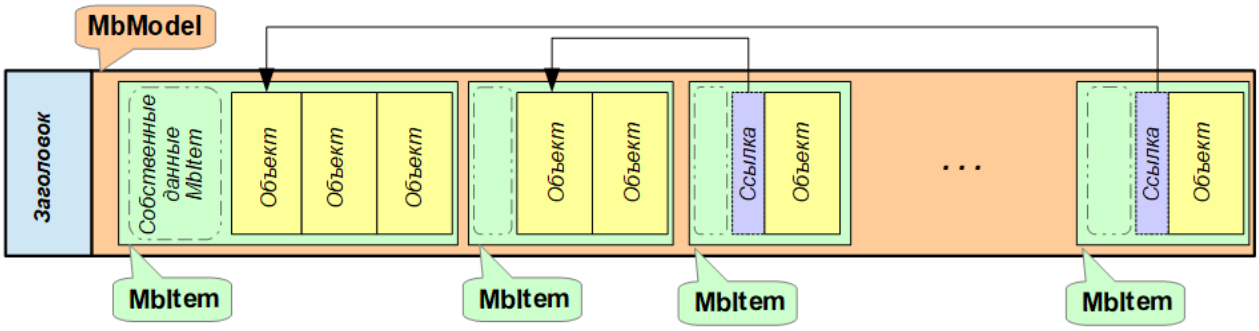


Схема 2. Схема хранения геометрической модели в последовательном буфере памяти (компактный формат).

О.10.1.4. Расширенный формат C3D

Расширенный формат обеспечивает независимое хранение объектов геометрической модели. Помимо данных объектов модели, он хранит информацию о позициях их хранения и краткое оглавление модели, что позволяет получить сведения о структуре модели без ее полного чтения, а также дает возможность выборочного чтения объектов модели.

Особенности расширенного формата:

– Независимое хранение объектов, которое обеспечивает возможность выборочного

чтения объектов модели.

- Наличие оглавления модели с данными об объектах модели и ссылками на позиции их хранения.
- Некоторое увеличение размера хранимых данных.

Расширенный формат записывает объекты модели в несколько файловых пространств, то есть обеспечивает несколько точек записи (чтения) данных - текущий кластер в каждом файловом пространстве.

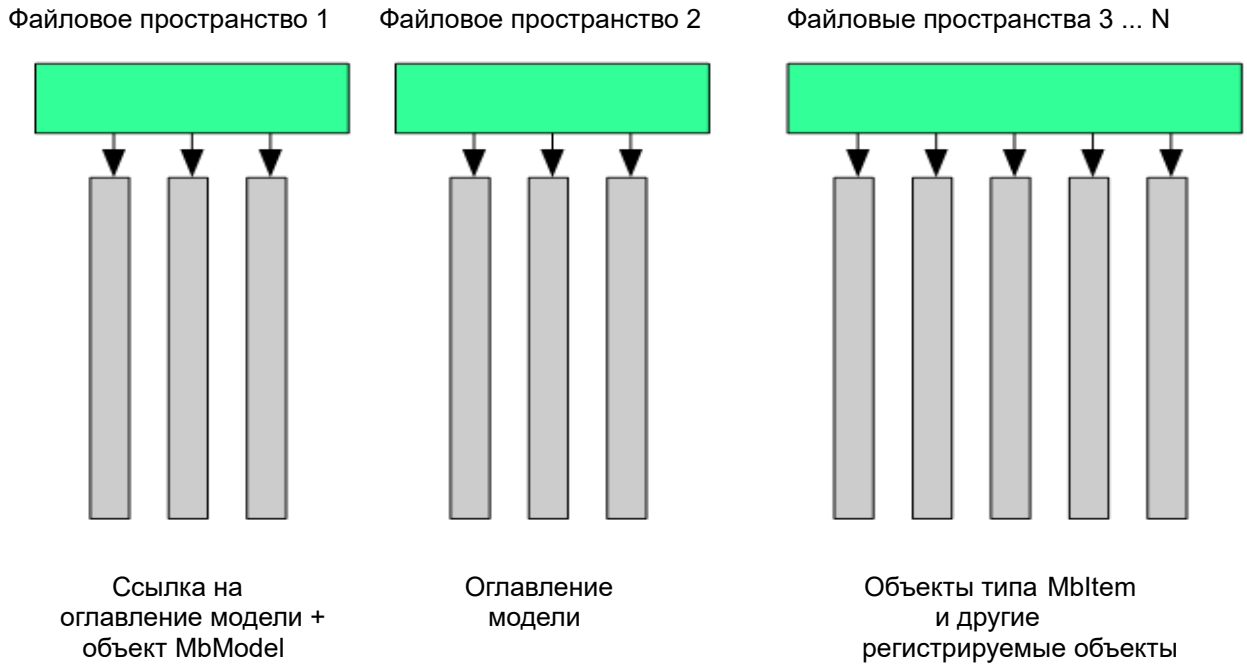


Схема 3. Структура данных в памяти (расширенный формат)

Схема 3 показывает структуру сериализованных данных геометрической модели перед сохранением в последовательный буфер памяти при использовании расширенного формата.

Объекты каждого уровня модели записываются в отдельное файловое пространство (количество используемых файловых пространств определяется глубиной вложенности объектов модели).

Схема 4 показывает структуру хранения данных геометрической модели в последовательном буфере памяти при использовании расширенного формата.

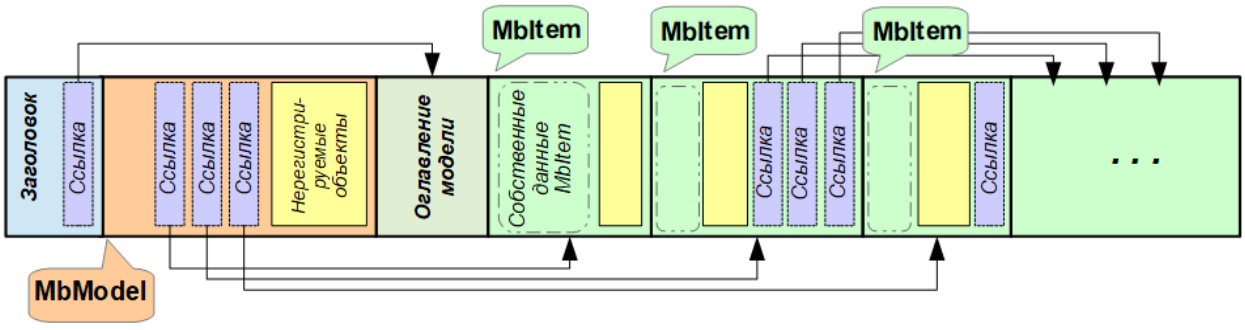


Схема 4. Схема хранения геометрической модели в последовательном буфере памяти (расширенный формат).

Оглавление модели в расширенном формате

Расширенный формат реализует генерацию дерева геометрической модели и его запись/чтение в буфере памяти (файле).

Дерево создается для всех объектов геометрической модели типа *MbItem* и записывается как ***оглавление модели*** в отдельное файловое пространство, ссылка на которое добавляется в заголовок файла.

Оглавление модели, записываемое в файл, содержит:

1. Данные узлов дерева модели.
   Каждый узел дерева хранит информацию для одного объекта геометрической модели. В узле хранятся следующие данные:
   - Уникальный ID узла в дереве модели.
   - Тип объекта (MbeSpaceType).
   - Имя объекта (SimpleName).
   - Габарит объекта.
   - Информация об атрибутах объекта.
   - Список непосредственных потомков узла.
   - Позиция записи/чтения объекта в файле.
2. Данные о корнях дерева модели.

Оглавление модели может быть прочитано отдельно от всей модели, что позволяет получить сведения о структуре модели и основных ее объектах без полной загрузки модели. Используя данные оглавления модели, можно выбрать и прочитать отдельные объекты модели.

Работа с исполнениями

Расширенный формат C3D предоставляет возможность работы с исполнениями (вариантами реализации модели):

- Модель с исполнениями может быть сохранена (сериализована) в файл в расширенном формате с помощью класса writer_ex и прочитана помощью класса reader_ex.
- Прочитав дерево модели из файла с исполнениями, можно посмотреть иерархию исполнений, выбрать исполнение и прочитать его содержимое как отдельную модель.
- При чтении файла с исполнениями без использования дерева модели (например, с помощью прямого вызова функции ReadModelItems) будет прочитано первое по порядку (умолчательное) исполнение.

Модель с исполнениями представляет собой объект MbModel, содержащий набор сборок (объектов MbAssembly), каждая из которых представляет собой одно исполнение (содержит объекты одного исполнения) и имеет атрибут типа at_Embodiment. Первая по порядку сборка является умолчательным исполнением.

Сборка считается исполнением и обрабатывается, как исполнение, только, если она находится непосредственно в корне модели и имеет атрибут типа at_Embodiment. Объекты MbAssembly, содержащиеся внутри какого-либо исполнения (глубже корня в дереве модели), обрабатываются как обычные сборки.

Атрибут типа at_Embodiment служит индикатором исполнения. Он должен содержать имя (SimpleName) текущего исполнения и имя (SimpleName) родительского исполнения (или UNDEFINED_SNAME, если родителя нет).

Чтобы обеспечить возможность просмотра иерархии исполнений и выборочного чтения, модель с исполнениями должна записываться с помощью класса writer_ex. После этого модель с исполнениями должна читаться с помощью класса reader_ex.

При чтении файла с исполнениями может быть прочитано только одно исполнение.

Если читать файл с исполнениями обычным способом, то есть без использования дерева модели (например, с помощью прямого вызова функции ReadModelItems), то будет прочитано первое по порядку (умолчательное) исполнение.

Чтобы прочитать любое другое исполнение, надо сначала прочитать дерево модели. Затем, используя дерево модели, можно посмотреть иерархию исполнений, выбрать исполнение и прочитать его содержимое как отдельную модель.

O.10.2. Чтение и запись потоковых объектов

Классы для чтения и записи потоковых объектов модели (потоки для чтения и записи) определены в файле tape.h. Они наследуют от базового класса tape.

O.10.2.1. Базовый класс для потоков чтения и записи

Базовый класс потока для чтения и записи **tape** содержит ссылки на буфер данных, менеджер потоков чтения (записи) и структуру для регистрации прочитанных (записанных) объектов.

Он предоставляет методы управления буфером данных, регистрацией объектов и методы работы с индикатором прогресса:

- Доступ к буферу данных:
  const iobuf_Seq & GetIOBuffer() - Доступ к буферу данных.
  iobuf_Seq & GetIOBuffer() - Доступ к буферу данных.
  bool IsOwnBuffer() - Владеем ли буфером?
  void SetOwnBuffer(bool) - Установить флаг владения буфером.
- Управление режимом работы буфера данных:
  uint8 mode() - Узнать режим работы буфера.
  void setMode(uint8) - Установить режим работы буфера.
  void clearState(state) - Убрать состояние буфера.
  void setState (state) - Добавить состояние буфера.
- Опрос состояния буфера данных:
  int fresh() - Свежий ли буфер?
  bool good() - Корректно ли состояние буфера?
  uint8 eof() - Достигнут ли конец файла?
  uint32 state() - Получить флаг состояния буфера.
  io::pos tell() - Получить текущую позицию в потоке.
  - Управление версиями:
    void SetVersionsByStorage() - Установить текущую версию равной версии хранилища.
    VERSION MathVersion() - Вернуть главную версию (версию математического ядра).
    VERSION AppVersion(size_t ind) - Вернуть дополнительную версию (версию конечного приложения).
    const VersionContainer & GetVersionsContainer() - Получить доступ к контейнеру версий.
    void SetVersionsContainer(const VersionContainer &) - Установить версию открытого файла.
    VERSION SetStorageVersion(VERSION) - Установить версию хранилища.
- Управление регистрацией объектов:
  void registrate(const TapeBase *) - Зарегистрировать указатель.
  void unregistrate(const TapeBase *) - Отменить регистрацию указателя.
  bool exist (const TapeBase *) - Есть ли зарегистрированный объект?

void flushRegister() - Очистить массив регистрации.
size_t RegisteredCount() - Получить количество зарегистрированных объектов.
size_t GetMaxRegisteredCount() - Получить максимально возможное количество объектов для регистрации.
void ReserveRegistered(size_t n) - Зарезервировать память под n объектов.
uint8 GetIndexType(size_t index) - Получить тип индекса.

- Работа с индикатором прогресса:
  void InitProgress(IProgressIndicator * pr) - Инициализировать индикатор прогресса.
  void InitProgress(ProgressBarWrapper & pr) - Инициализировать индикатор прогресса.
  void ResetProgress() - Освободить текущий индикатор прогресса. Установить родительский индикатор прогресса, если он есть.
  ProgressBarWrapper * GetProgress() - Получить индикатор прогресса.

O.10.2.2. Запись модели

Класс writer

Класс **writer** обеспечивает запись модели в буфер данных (файловое пространство) в компактном формате. Он наследует от базового класса tape.

Класс **writer** реализует:

- Статические функции для создания экземпляра класса:
  - writer_ptr CreateWriter(std_unique_ptr<iobuf_Seq>, uint16) - создает экземпляр класса для последовательного буфера памяти типа iobuf_Seq.
  - writer_ptr CreateMemWriter(membuf &, uint8) - создает экземпляр класса для буфера памяти типа membuf.
- Методы для записи в буфер объектов различных типов:
  - void writeObject(const TapeBase *) - Записать объект.
    void writeObjectPointer(const TapeBase *) - Записать указатель на объект.
  - void writeByte(uint8) - Записать байт в буфер.
  - void writeBytes (const void *, size_t) - Записать последовательность байтов в буфер.
    void writeUInt64(const uint64 &) - Записать беззнаковое 64-разрядное целое число. Возвращает количество записанных байт.
  - void writeInt64 (const int64 &) - Записать 64-разрядное целое число. Возвращает количество записанных байт.
  - writer & __writeChar (const char *) - Записать CHAR строку в поток (кодировка ANSI, русская локаль).
  - writer & __writeWchar(const TCHAR *) - Записать WCHAR строку в поток (в потоке хранится как UTF-16).
  - writer & __writeWcharT(const wchar_t *) - Записать WCHAR строку в поток (в потоке хранится как UTF-16).
  - size_t __lenWchar(const TCHAR *) - Получить длину записи WCHAR строки в поток (в потоке хранится как UTF-16).
- Методы для записи дерева модели и доступа к нему (данные методы в этом классе определяются, но не поддерживаются, то есть содержат пустую реализацию):
  - void WriteModelCatalog() - Записать дерево модели.
  - const c3d::IModelTree * GetModelTree() const - Получить указатель на дерево модели.

Класс writer_ex

Класс **writer_ex** обеспечивает запись модели в буфер данных (в набор файловых пространств) в расширенном формате. Он наследует от базового класса writer.

Класс **writer_ex** реализует:

- Статические функции для создания экземпляра класса:
  - std_unique_ptr<writer_ex> CreateWriterEx(std_unique_ptr<iobuf_Seq>, uint16) - создает экземпляр класса для последовательного буфера памяти типа iobuf_Seq.
  - std_unique_ptr<writer_ex> CreateMemWriterEx(membuf &, uint8) - создает экземпляр класса для буфера памяти типа membuf.
- Методы для записи дерева модели и доступа к нему:
  - void WriteModelCatalog() - Записать дерево модели.
  - const c3d::IModelTree * GetModelTree() const - Получить указатель на дерево модели.

О.10.2.3. Чтение модели

Класс reader

Класс **reader** обеспечивает чтение модели из буфера данных (файлового пространства), записанного в компактном формате. Он наследует от базового класса tape.

Класс **reader** реализует:

- Статические функции для создания экземпляра класса:
  - reader_ptr CreateReader (std_unique_ptr<iobuf_Seq>, uint16) - Создать экземпляр класса для последовательного буфера.
  - reader_ptr CreateMemReader (membuf &, uint8) - Создать экземпляр класса для буфера в памяти.
- Методы для чтения из буфера объектов различных типов:
  - TapeBase * readObject (TapeBase *) - Прочитать объект.
  - TapeBase * readObjectPointer() - Прочитать указатель на объект.
  - bool readUInt64(uint64 &) - Прочитать беззнаковое 64-разрядное целое число.
  - bool readInt64(int64 &) - Прочитать 64-разрядное целое число.
  - int readByte() - Прочитать байт из буфера.
  - bool readBytes(void *, size_t) - Прочитать последовательность байтов из буфера.
- Методы управления чтением дерева модели и частичным чтением объектов модели (данные методы в этом классе определяются, но не поддерживаются, то есть содержат пустую реализацию):
  - void ReadObjectCatalog() - Прочитать каталог объектов.
  - membuf * ReadObjectByPosition (const ClusterReference &) - Прочитать объект по позиции чтения.
  - bool SetReadPosition (ClusterReference &) - Установить позицию чтения.
  - const c3d::IModelTree * GetModelTree() const - Получить указатель на дерево модели.
  - bool IsFullRead() - Получить признак полного чтения текущего объекта (читается ли текущий объект целиком).
  - void SetFullRead(bool) - Установить признак полного чтения текущего объекта (читать ли текущий объект целиком).
- Метод получения ошибок чтения:
  - uint32 GetLastError() - Получить ошибки чтения.
- Методы работы с индикатором прогресса:
  - void InitProgress(IProgressIndicator *) - Инициализировать индикатор прогресса.

- void InitProgress(ProgressBarWrapper &) - Инициализировать индикатор прогресса.

Класс reader_ex

Класс **reader_ex** обеспечивает чтение модели из буфера данных (набора файловых пространств), записанного в компактном или расширенном формате. Может читать из нескольких файловых пространств по заданным позициям. Наследует от базового класса reader.

Класс reader_ex реализует:

- Статические функции для создания экземпляра класса:
  - std_unique_ptr<reader_ex> CreateReaderEx (std_unique_ptr<iobuf_Seq>, uint16) - Создать экземпляр класса для последовательного буфера.
  - std_unique_ptr<reader_ex> CreateMemReaderEx(membuf&, uint8) - Создать экземпляр класса для буфера в памяти.
- Методы управления чтением дерева модели и частичным чтением объектов модели:
  - void ReadObjectCatalog() - Прочитать каталог объектов.
  - TapeBase * ReadObjectByPosition (const ClusterReference &) - Прочитать объект по позиции чтения.
  - bool SetReadPosition (ClusterReference &) - Установить позицию чтения.
  - const c3d::IModelTree * GetModelTree() const - Получить указатель на дерево модели.
  - bool IsFullRead() - Получить признак полного чтения текущего объекта (читается ли текущий объект целиком).
  - void SetFullRead(bool) - Установить признак полного чтения текущего объекта (читать ли текущий объект целиком).
- Метод получения ошибок чтения:
  - uint32 GetLastError() - Получить ошибки чтения.

Индикатор прогресса в области видимости для классов чтения

Класс **ScopedReadProgress** реализует индикатор прогресса в области видимости для классов чтения модели. Он создает дочерний индикатор прогресса для индикатора прогресса в заданном экземпляре класса reader или reader_ex. При выходе из области видимости текущий индикатор прогресса освобождается и устанавливается родительский индикатор прогресса.

Класс определяет оператор доступа к текущему индикатору прогресса:

ProgressBarWrapper * operator()().

О.10.2.4. Чтение и запись модели

Класс rw обеспечивает чтение и запись модели в буфер данных (в набор файловых пространств) в компактном формате. Он наследует от классов reader и writer.

Класс реализует статическую функцию для создания экземпляра класса:

rw_ptr CreateMemWriter(membuf &, uint8).

О.10.2.5. Дерево модели

Классы дерева модели определены в файле io_tree.h.

Данные узла дерева объявлены как структура **MbItemData**.

Класс **IModelTreeNode** определяет интерфейс для узла дерева модели, который может иметь несколько потомков, умеет записываться в поток и читаться из потока.

Класс IModelTreeNode содержит упорядоченные массивы указателей на непосредственных потомков узла и непосредственных предков узла.

Класс IModelTreeNodeобъявляет методы:

- std::set<const IModelTreeNode*>& GetParents() - Доступ к непосредственным предкам узла.
- const std::set<const IModelTreeNode*>& GetParents() const - Доступ к непосредственным предкам узла.
- std::set<const IModelTreeNode*>& GetChildren() - Доступ к непосредственным потомкам узла.
- const std::set<const IModelTreeNode>& GetChildren() const - Доступ к непосредственным потомкам узла.
- void AddParent(IModelTreeNode* parent) - Добавить предка.
- void AddChild(IModelTreeNode* child)- Добавить потомка.
- MbItemData& GetData() - Доступ к данным узла.
- const MbItemData& GetData() const - Доступ к данным узла.
- ClusterReference& GetPosition() - Доступ к позиции чтения/записи узла.
- bool PartialRead() - Узнать, читать ли только часть узла. При чтении объекта может возникнуть необходимость чтения некоторых данных его родителя. В этом случае объект родителя читается частично и имеет соответствующий флаг.
- void SetPartialRead (bool partial) - Установить признак частичного или полного чтения узла.
- writer& operator >> (writer &) - Записать узел в поток.
- reader & operator << (reader&) - Прочитать узел из потока.

Класс **IModelTree** определяет интерфейс обобщенного дерева модели, которое используется для формирования, записи и чтения оглавления модели в буфере памяти.

Класс определяет типы callback функций:

- FilterNodesFunc - Тип функции для выбора узлов дерева по фильтрам.
- NodeToAddFunc - Тип функции для определения, нужно ли добавлять объект в дерево модели, и заполнения данных узла дерева.

Класс IModelTree_ определяет перечисление TreeType для типов дерева:

- mtt_Model - Дерево содержит стандартную модель (объект MbModel).
- mtt_Embodiment - Дерево содержит исполнения.

Класс объявляет методы:

- TreeType GetType() const - Выдать тип дерева.
- void SetType(TreeType type) - Установить тип дерева.
- void AddNode (const TapeBase*, const ClusterReference&) - Добавить узел в дерево.
- void CloseNode(const IModelTreeNode*) - Нотификация об окончании чтения/записи текущего узла (функция должна вызываться по окончании чтения/записи заданного узла дерева).
- std_unique_ptr<const IModelTree> GetFilteredTree (const std::vector<MbItemData>& filters) - Построить и выдать дерево из узлов текущего дерева, выбранных по фильтрам. В случае дерева с типом mtt_Embodiment, функция работает с первым исполнением.
- std_unique_ptr<const IModelTree> GetFilteredTree (std::vector<const IModelTreeNode*>& nodes) - Построить и выдать дерево из заданных узлов. Не применимо к дереву с типом mtt_Embodiment (в этом случае возвращает NULL).
- const IEmbodimentTree* GetEmbodimentsTree() const - Выдать указатель на дерево исполнений. Выдает NULL, если не применимо (в случае дерева с типом mtt_Model).
- void SetNodeToAddFunction(NodeToAddFunc callback) - Установить функцию для выбора геометрического объекта для добавления в дерево модели, и заполнения

данных узла дерева.
- void SetFilterFunction(FilterNodesFunc callback) - Установить функцию для выбора узлов из дерева модели.
- writer & operator >> (writer &) - Записать дерево в поток.
- reader & operator << (reader &) - Прочитать дерево из потока.
- Доступ к корням дерева. Узел дерева может быть рекурсивно вложен (например, Объект Вставка может содержать сборку, которая содержит другой объект Вставка, ссылающийся на эту же сборку).
  - const std::vector<const IModelTreeNode*>& GetRoots() - Получить корни дерева.
  - std::vector<const IModelTreeNode*>& GetRoots() - Получить корни дерева.
- VERSION GetVersion() - Получить версию дерева.
- void SetVersion(VERSION) - Задать версию дерева.
- static IModelTree* CreateModelTree() - Создать экземпляр дерева.

Класс **IEmbodimentNode** определяет интерфейс для узла дерева исполнений. Он содержит упорядоченный массив указателей на непосредственных потомков узла в дереве исполнений.

Класс объявляет методы:

- std_unique_ptr<const IModelTree> GetEmbodiment() const - Построить дерево модели типа mtt_Model, которое содержится в данном исполнении.
- const MbItemData& GetEmbodimentData() const - Доступ к информации об исполнении.
- std::set<const IEmbodimentNode*>& GetChildren() - Доступ к непосредственным потомкам узла.
- const std::set<const IEmbodimentNode*>& GetChildren() - Доступ к непосредственным потомкам узла.
- void AddChild(IEmbodimentNode* child) - Добавить потомка.

Класс **IEmbodimentTree** определяет интерфейс для дерева, которое отражает иерархию вариантов реализации модели (исполнений). Каждый узел дерева представляет одно исполнение.

Класс объявляет методы:

- const std::vector<const IEmbodimentNode*>& GetRoots() const - Доступ к корням дерева.
- std::vector<const IEmbodimentNode*>& GetRoots() - Доступ к корням дерева.

О.10.2.6. Потоковые объекты

Объекты модели, которые могут сериализоваться (представлять себя в виде последовательности байтов), называются потоковыми. Все классы потоковых объектов модели наследуются от базового класса TapeBase, который определен в файле tape.h.

Потоковые объекты могут быть регистрируемыми и не регистрируемыми. От этого зависит, как они будут записаны в поток. Регистрируемый объект пишется отдельно, и объекты модели, которые ссылаются на него, содержат ссылку. Нерегистрируемый объект пишется внутри объекта, который на него ссылается.

Типы регистрации потоковых объектов

Типы регистрации потоковых объектов определены в перечислении **RegistrableRec:**
- noRegistrable - Нерегистрируемый объект.
- registrable - Регистрируемый объект.

Базовый класс потоковых объектов TapeBase

Класс **ClassDescriptor** определяет упакованное имя потокового класса. Он хранит хэш имени класса и идентификатор приложения.

Классы потоковых объектов модели наследуются от базового класса **TapeBase**, который определяет следующие методы:

- RegistrableRec GetRegistrable() const - Получить тип регистрации потокового класса.
- void SetRegistrable(RegistrableRec regs) - Установить состояние регистрации потокового класса.
- ClassDescriptor GetClassDescriptor(const VersionContainer &) - Получить дескриптор класса.
- const char * GetPureName(const VersionContainer &) - Получить имя класса.
- bool IsFamilyRegistrable() const - Принадлежит ли объект к регистрируемому семейству.

O.10.2.7. Режимы потоковых операций

Режимы потоковых операций описываются перечислением **io::mode_flags** в файле io_buffer.h:

- in - Открыть поток для чтения.
- out - Открыть поток для записи.
- trunc - Открыть существующий файл и удалить его содержимое.
- speedOnClose - Упорядочить поток при закрытии.
- delIfEmpty - Удалить файл, если он оказался пустым.
- delOnClose - Удалить файл при закрытии.
- recovery - Режим восстановления.
- appSpecial - Вспомогательный флаг приложения.
- createNew - Создать новый файл. Выдается ошибка, если такой файл уже существует.
- createAlways - Создать новый файл. Если такой файл уже существует, то он перезаписывается.
- openExisting - Открыть существующий файл. Выдается ошибка, если файл не существует.
- openAlways - Открыть существующий файл. Если файл не существует, то создается новый.
- truncExisting - Открыть файл с удалением его содержимого.

O.10.2.8. Флаги состояния потока

Флаги состояния потока определены в перечислении **state** в файле io_buffer.h:

- good - Все в порядке (никакие биты не выставлены).
- eof - Конец файл.
- outOfRead - Выход за пределы файла.
- outOfMemory - Не получилось выделить необходимую память.
- fail - Ошибка операции ввода-вывода.
- badData - Неверная структура файла.
- notFound - Файл не найден.
- accessViolation - Доступ запрещен.
- cantOpenStore - Не получилось открыть хранилище.
- cantCreateStore - Не получилось создать хранилище.
- badSig - Нет подписи или подпись чужая.
- cantReadCatalog - Не получилось прочитать каталог хранилища.
- cantWriteCatalog - Не получилось записать каталог хранилища.
- cantFind - Не получилось найти файл в каталоге.

- cantRead - Не получилось прочитать файл.
- cantWrite - Не получилось записать файл.
- badClassId - Прочитанный идентификатор класса не найден в базе данных.
- doubledClassId - Попытка повторной регистрации идентификатора класса.
- verViolation - Версия файла старше версии задачи.
- hardFail - Ошибка файловой операции.
- closed - Буфер закрыт.
- writeProtect - У файла установлен атрибут "Только чтение".
- cantWriteObject - Не могу записать объект (версия потока младше версии появления нового класса объектов).
- underflow64to32 - Не могу прочитать файл с 64-битными данными в 32-битной задаче (потеря старшего слова uint32 при чтении uin64 в 32-битной задаче).
- encrypted - Файл защищен или закодирован.
- skippedUnknown - Файл в расширенном формате прочитан частично (неизвестные объекты пропущены).
- readAborted - Чтение файла прервано пользователем.
- allMask - Все ошибки.

O.10.3. Работа с буфером потока

O.10.3.1. Кластер

Кластер - это непрерывный участок памяти (последовательность байтов), который описывается классом Cluster в файле io_buffer.h.

Класс содержит начало кластера (для дисковых кластеров - смещение, для памяти - адрес) и длину кластера в байтах.

Класс реализует методы доступа к данным кластера:

- uint16 _len() - Получить длину кластера.
- size_t _off() - Получить начало кластера.
- const uint8 * _ptr() - Выдать адрес.
- uint8 * _getMemPointer() - Выдать адрес.
- void clear() - Очистить кластер.
- void AllocFile(size_t beg, uint16 len) - Запомнить смещение в файле и кол-во байт.
- void SetClusterOffset(size_t off) - Установить начало кластера.
- void SetClusterLength(uint16 len) - Установить длину кластера.
- static size_t SizeOf(VERSION version) - Размер данных о кластере в потоке указанной версии.

O.10.3.2. Файловое пространство

Файловое пространство - это набор кластеров. Файловое пространство описывается классом FileSpace в файле io_buffer.h.

Класс содержит массив индексов кластеров и количество занятых байтов в последнем кластере.

Класс реализует методы доступа к массиву индексов кластеров:

- size_t Count() - Получить количество элементов в массиве.
- void Flush() - Обнулить количество элементов в массиве.
- void RemoveInd(size_t) - Удалить элемент из массива.
- size_t * Add() - Добавить элемент в конец массива.
- size_t * Add(const size_t &) - Добавить элемент в конец массива
- void SetSize(size_t, bool) - Установить новый размер массива.
- void Reserve(size_t) - Зарезервировать место под столько элементов.

- bool IsExist(size_t &) - Выдать true, если элемент найден.
- size_t FindIt(size_t & el) - Найти индекс элемента (если не найден вернуть -1).
- size_t * InsertInd(size_t index, const size_t & el) - Вставить пустой элемент перед указанным.
- const size_t * GetAddr() - Выдать адрес начала массива.
- size_t * AddItems(size_t n) - Добавить n элементов в конец массива.
- size_t & operator [](size_t loc) - Оператор доступа к элементу массива по индексу.
- uint16 & rest() - Получить количество занятых байт в последнем кластере.

O.10.3.3. Позиция чтения/записи

Класс ClusterReference описывает позицию в кластере для чтения/записи. Он определен в файле io_buffer.h.

Класс содержит индекс кластера в массиве кластеров буфера iobuf_Seq и смещение в данном кластере.

O.10.3.4. Потоковый последовательный буфер

Класс iobuf_Seq описывает потоковый буфер, который обеспечивает только последовательную запись/чтение (базовый класс). Класс iobuf_Seq и его наследники служат для выполнения операций чтения и записи в интересах потока (класс tape). Объявлен в файле io_buffer.h.

Используются следующие термины:

- Хранилище - файл на диске или область памяти.
- Файл — файловое пространство внутри хранилища.

Основные данные класса:

- FileSpace sys - "системное" файловое пространство. Открывается в конструкторе класса tape.
- PArray<FileSpace> files - список файловых пространств, содержащихся в iobuf_Seq. Первым элементом в нем всегда лежит адрес sys.
- uint32 stateFlag - состояние буфера.
- VERSION storageVers - версия хранилища.
- VERSION curFileVers - версия текущего открытого файлового пространства (потока). В общем случае версия хранилища и версия любого файлового пространства в нем могут не совпадать.
- uint8 bufferMode - Режим, в котором может работать буфер.
- uint8 curFileMode - Режим открытия текущего файлового пространства. В общем случае режим хранилища и режим открытого файлового пространства в нем могут не совпадать. Ограничение - если режим буфера io::in, то попытка открыть файловое пространство на запись (io::out) не приводит к открытию.
- uint8 * base - Указатель на начало буфера в памяти.
- uint8 * ptr - Указатель на след символ в памяти.
- uint8 * end - Указатель на конец буфера в памяти.

Основные методы класса:

- Доступ к массиву кластеров:
  - void Reserve(size_t n, bool addAdditionalSpace) - Зарезервировать место под заданное количество элементов.
  - void Flush() - Обнулить количество элементов.
  - void HardFlush() - Освободить всю память.
  - void Adjust() - Удалить лишнюю память.
  - Cluster * Add() - Добавить элемент в конец массива.
  - Cluster * Add(const Cluster &) - Добавить данный элемент в конец массива.
  - size_t Count() - Выдать количество элементов массива.
  - Cluster & operator [](size_t) - Оператор доступа по индексу.
- Доступ к файловым пространствам:

    - void ReserveFiles(size_t n, bool addAdditionalSpace) - Зарезервировать место под заданное количество файловых пространств.
    - ClusterReference getCurrentClusterPos() - Получить текущую позицию в буфере.
    - FileSpace & sysFile () - Получить доступ к системному файловому пространству.
    - FileSpace * openedFile() - Получить доступ к открытому файловому пространству.
- Доступ к версиям:
    - void SetVersionsByStorage() - Установить текущую версию равной версии хранилища.
    - VERSION MathVersion()B - вернуть главную версию (математического ядра).
    - 451 AppVersion(size_t) - Вернуть дополнительную версию (версию конечного приложения).
    - const VersionContainer & GetVersionsContainer() - Получить версии буфера.
    - VERSION GetStorageVersion() - Узнать версию хранилища.
    - VERSION GetFormatVersion() - Узнать версию формата.
    - void SetFormatVersion (VERSION) - Установить версию формата.

O.10.3.5. Потоковый буфер с произвольным доступом

Класс **iobuf** реализует потоковый буфер с произвольным доступом. Он наследует от класса iobuf_Seq и расширяет его функциональность возможностью удаления и перезаписи файловых пространств (базовый класс). Объявлен в файле io_buffer.h.

Класс содержит файловое пространство со списком освобожденных кластеров. При удалении файла все его кластеры переносятся сюда. При записи, когда необходимо распределить новый кластер, сначала проверяется этот массив на наличие свободных кластеров. Кластеры в файловом пространстве всегда лежат упорядоченными по смещению от начала файла.

Методы класса:

- bool open (FileSpace &, uint8, const VersionContainer &, bool fullCheck = true) - Открыть файловое пространство, если оно свое. Флаг fullCheck = false отключает избыточные проверки (ради производительности).
- bool del(FileSpace &) - Освободить место, занимаемое файловым пространством.
- bool truncate(FileSpace &, size_t) - Урезать файловое пространство.
- bool detach(FileSpace &) - Отсоединить файловое пространство от буфера.
- bool speedOnClose() - Нужно ли упорядочивать при закрытии.
- void speedOnClose(bool) - Установить флаг необходимости упорядочивания при закрытии.
- void free(size_t) - Освободить кластер.

O.10.3.6. Потоковый буфер в памяти

Класс membuf реализует потоковый буфер памяти. Наследует от iobuf . Объявлен в файле io_memory_buffer.h.

Потоковый буфер памяти предназначен для использования в потоках чтения и записи. Кроме необходимых для буфера свойств, имеет функции для упаковки в непрерывный блок памяти, что позволяет передавать данные буфера через память в другое приложение.

Класс содержит массив файловых пространств, который хранит все используемые файловые пространства, кроме sys, который определен в iobuf_Seq. При использовании расширенного формата объекты каждого уровня записываются в отдельное файловое пространство. При этом индекс файлового пространства в векторе соответствует уровню объекта в модели.

Основные методы класса:

- bool isEmpty() - Пуст ли буфер.
- size_t toMemory(const char *& memory, size_t addSize = 0) - Записать в непрерывную память. Если memory != 0 (память уже распределена), то addSize равен ее размеру,

если memory = 0, то addSize определяет, сколько байтов добавить в начале, обнулив их.

- bool fromMemory(const char *) - Прочитать из непрерывной памяти.
- size_t getMemLen() - Вычислить необходимую длину непрерывного куска памяти для буфера.
- void clean() - Очистить буфер.
- void closeBuff() - Закрыть буфер.

O.10.3.7. Чтение и запись буфера памяти в файле на диске

Функции записи непрерывного буфера памяти в файл на диске и чтения в непрерывный буфер памяти из файла на диске определены в io_memory_buffer.h.

Чтение непрерывного буфера памяти из файла на диске:

- iobuf & createiobuf(const TCHAR * fileName).

Запись непрерывного буфера памяти в файл на диске:

- bool writeiobuftodisk(const TCHAR * fileName, membuf & buf).

O.10.4. Контейнер версий

Тип VERSION определяет версию. Определен в файле system_types.h.

Класс **VersionContainer** определяет контейнер версий объектов геометрического ядра. Он определяет следующие основные методы:

VERSION GetMathVersion() - Вернуть главную версию (версию математического ядра).

VERSION GetAppVersion (size_t ind) - Вернуть дополнительную версию (версию конечного приложения).

void Flush() - Очистить контейнер.

void SetVersion(size_t index, VERSION ver) - Установить версию по индексу.

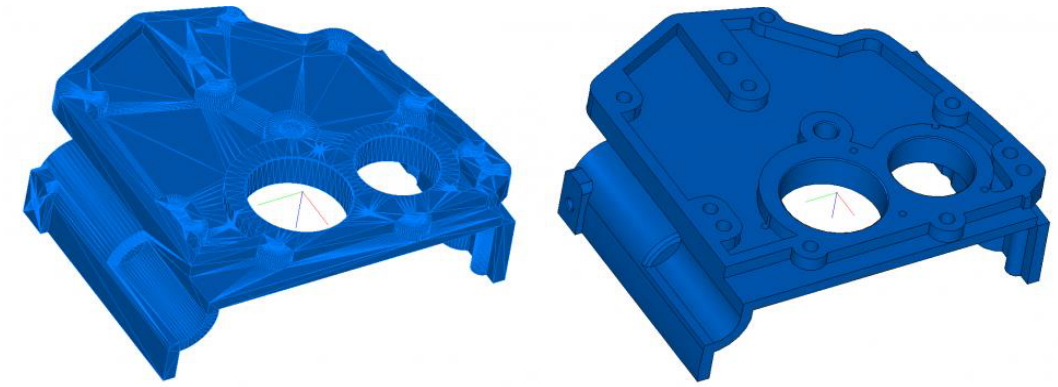
size_t ToMemory(const char *&) - Записать контейнер в кусок памяти.

size_t FromMemory(const char *) - Прочитать контейнер из куска памяти.

Класс VersionContainer определен в файле io_version_container.h.

Р.1. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПОЛИГОНАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

Модуль C3D B-Shaper преобразует полигональные модели в твердотельные с граничным представлением (B-Rep). В результате выполнения алгоритмов пользователь может редактировать полученную модель привычными инструментами CAD-системы, значительно уменьшив сложность и объем данных.



Области применения C3D B-Shaper:

- работа в CAD и BIM-системах с полигональными моделями из каталогов готовых и типовых моделей деталей, элементов зданий и сооружений;
- распознавание поверхностей в полигональных моделях , полученных в результате 3D-сканирования или топологической оптимизации в CAE-системах ;
- алгоритмы сглаживания сетки, децимации и сжатия в компьютерной графике.

Уникальный алгоритм модуля C3D B-Shaper разбивает полигональную сетку на сегменты – прообразы предполагаемых граней. После этого выделенные области могут быть распознаны как элементарные поверхности (плоскость, цилиндр, конус, сфера, тор), поверхность вращения или NURBS поверхность. Между соседними сегментами вычисляются кривые пересечения, на основе которых в дальнейшем строятся ребра граней тела.

Работа с модулем ведется через API. Предусмотрены два варианта его использования: полностью автоматический и интерактивный. Необходимо отметить, что работа в автоматическом режиме распознавания оболочки в общем случае не подходит для моделей, полученных в результате 3D-сканирования или топологической оптимизации. Данный режим предназначен для применения на полигональных моделях, имеющих в своей основе некоторые модели, созданные в CAD-приложениях.

Р.1.1. Автоматический режим распознавания оболочки по полигональной сетке

Интерфейс автоматического преобразования C3D B-Shaper представлен двумя функциями: **ConvertMeshToShell**() и **ConvertCollectionToShell**().

Метод

MbResultType **ConvertMeshToShell**(MbMesh & mesh,
MbFaceShell *& shell,
const MbMeshProcessorValues & params = MbMeshProcessorValues())

выполняет создание оболочки в граничном представлении (B-Rep), соотвествующей модели, заданной полигональной сеткой. Алгоритм модуля в автоматическом режиме распознаёт и реконструирует грани, соответствующие элементарным поверхностям (плоскость, цилиндр, конус, сфера, тор), поверхности вращения или NURBS поверхности.

Входными параметрами метода являются:

- mesh – полигональная сетка модели;
- params – настройки преобразования.

Выходным параметром метода является построенная оболочка shell.

При удачной работе алгоритма метод возвращает значение rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_b_shaper.h.

К настройкам преобразования относится значение точности распознавания, т.е. максимально допустимого отстояния вершин полигональной сетки в границах данного сегмента до распознаваемой поверхности. Эта точность может быть абсолютной или относительной: при использовании относительной точности отклонение граней тела от сетки проверяется относительно размера модели. Также пользователю доступна опция переключения режимов распознавания, которая позволяет управлять типами поверхностей при реконструкции. Эти параметры находятся в полях класса MbMeshProcessorValues, который содержит:

- useRelativeTolerance – флаг использования относительной точности;
- tolerance – точность распознавания;
- surfReconstructMode – режим распознавания поверхностей, из перечисления: o srm_All – строить все поверхности;
    1. srm_NoGrids – не строить поверхности на базе триангуляции;
    2. srm_CanonicOnly – строить только элементарные поверхности;
    3. srm_Default – по умолчанию.

Метод

MbResultType **ConvertCollectionToShell** (MbCollection & collection,
MbFaceShell *& shell,
const MbMeshProcessorValues & params = MbMeshProcessorValues())

выполняет создание оболочки в граничном представлении (B-Rep), соотвествующей коллекции элементов, содержащих полигональную сетку. Алгоритм модуля в автоматическом режиме распознаёт и реконструирует грани, соответствующие элементарным поверхностям (плоскость, цилиндр, конус, сфера, тор).

Входными параметрами метода являются:

- collection – коллекция элементов, содержащая полигональную сетку;
- params – настройки преобразования.

Выходным параметром метода является построенная оболочка shell.

При удачной работе алгоритма метод возвращает значение rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод объявлен в файле action_b_shaper.h.

Тестовое приложение выполняет построение оболочки в граничном представлении командой меню «Создать->Тело->На базе полигональной модели->Преобразовать в тело с распознаванием поверхностей».

P.1.2. Класс MbMeshProcessor – создание оболочки по полигональной сетке с пользовательскими настройками

Расширенные возможности по управлению процессами сегментации и распознавания поверхностей предоставляет интерфейс класса **MbMeshProcessor**.

```
class MbMeshProcessor {
public:
// Создание экземпляра процессора по коллекции элементов.
MbMeshProcessor * Create( const MbCollection & collection );
// Деструктор
~MbMeshProcessor();
// Управление точностью распознавания
void SetRelativeTolerance( double tolerance );
void SetTolerance( double tolerance );
double GetTolerance() const;
// “Лечение” сетки.
void SetUseMeshSmoothing( bool useSmoothing );
// Управление сегментацией сетки.
const MbCollection & GetSegmentedMesh();
MbResultType SegmentMesh( bool createSurfaces = true );
void ResetSegmentation();
void UniteSegments( size_t firstSegmentIdx, size_t secondSegmentIdx );
MbResultType SegmentMeshBySeparators( const std::vector<std::vector<uint>> & sep );
// Управление распознаванием поверхностей.
void SetReconstructionMode( MbeSurfReconstructMode mode );
void FitSurfaceToSegment( size_t idxSegment );
void FitSurfaceToSegment( size_t idxSegment, MbeSpaceType surfaceType );
const MbSurface * GetSegmentSurface( size_t idxSegment ) const;
// Построение B-rep модели.
MbResultType CreateBRepShell( MbFaceShell *& pShell );
..
}
```

Описание класса находится в файле action_b_shaper.h.

Далее будут рассмотрены более подробные описания методов данного класса.

P.1.3. Управление точностью распознавания

Одной из ключевых настроек преобразования полигональной сетки в модель с граничным представлением является значение точности распознавания. Точность работы метода определяется максимальным допустимым отклонением распознанных поверхностей от вершин полигональной сетки. Пользователь может задать требуемую в расчетах точность, или будет использоваться значение по умолчанию. В случае, когда параметр отклонения граней от сетки заранее не известен, можно использовать относительную точность, которая будет рассчитана исходя из размеров исходного тела. Таким образом, в случае неудовлетворительного результата действия алгоритма пользователь может влиять на него, изменяя параметр точности распознавания.

Для управления значением точности используются несколько функций класса MbMeshProcessor.

Метод

void **SetRelativeTolerance** (double tolerance)

устанавливает значение относительной точности. При использовании относительной точности отклонение граней тела от сетки проверяется относительно габаритов текущей сетки. Входным параметром метода является:

- tolerance – значение относительной точности.

Для получения абсолютной погрешности распознавания значение tolerance будет умножено на диагональ габаритного куба полигональной сетки или коллекции элементов модели. Таким образом, при заданной относительной погрешности, равной 1.0, значение абсолютной погрешности будет посчитано, исходя из размеров модели.

Метод
void **SetTolerance** (double tolerance)

устанавливает абсолютную точность распознавания поверхностей и расширения сегментов сетки. Входным параметром метода является:

• tolerance – значение абсолютной погрешности.

Данный метод должен быть вызван перед вызовом метода SegmentMesh(). По умолчанию абсолютная точность равна 0.1.

Метод
double **GetTolerance** () const
передаёт значение текущей абсолютной точности, используемой при распознавании поверхностей и расширения сегментов сетки.

Метод возвращает абсолютную погрешность значением типа double.

P.1.4. Редактирование сегментации полигональной сетки

Часто полигональные сетки моделей, являясь результатом 3D-сканирования, имеют сложное внутреннее устройство с наличием «шумов» – случайных выбросов точек за пределы габаритов грани. Преобразование таких сеток предполагает более плотное интерактивное взаимодействие с пользователем, так как автоматическое распознавание затруднено. Для коррекции результатов сегментации предусмотрены несколько инструментов.

Метод
MbResultType **SegmentMesh** (bool createSurfaces = true)
выполняет сегментирование заданной полигональной сетки.
Входным параметром метода является:
• createSurfaces – флаг создания поверхностей на сегментах.
При удачной работе алгоритма метод возвращает значение rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

Метод
void **UniteSegments** (size_t firstSegmentIdx,
size_t secondSegmentIdx)
объединяет два сегмента в текущей сегментации полигональной сетки.

Входными параметрами метода являются:
• firstSegmentIdx – индекс первого сегмента для объединения;
• secondSegmentIdx – индекс второго сегмента для объединения.
Результат объединения доступен через коллекцию, возвращаемую методом **GetSegmentedMesh** ().

Метод
MbResultType **SegmentMeshBySeparators** (const std::*vector*<std::*vector*<uint>> & separators)
выполняет сегментацию полигональной сетки по разделителям сегментов.

Входным параметром метода является:

• separators – массив разделителей, каждый из которых содержит путь по вершинам сетки, ребра которого разделяют сегменты.

При удачной работе алгоритма метод возвращает значение rt_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbResultType.

P.1.5. Реконструкция поверхности на сегменте

При использовании C3D B-Shaper разработчикам доступна реконструкция поверхности определенного типа на сегменте. Для управления распознаванием поверхностей используются следующие методы.

Метод
void **FitSurfaceToSegment** (*size_t* idxSegment)
распознаёт поверхность по сегменту сетки с заданным индексом и вписывает её в сегментацию. Распознанная поверхность может быть получена с помощью вызова метода GetSegmentSurface(). Входной параметр idxSegment передаёт индекс сегмента полигональной сетки.

Метод
void **FitSurfaceToSegment** (*size_t* idxSegment, MbeSpaceType surfaceType)
выполняет построение поверхности заданного типа, аппроксимирующей сегмент сетки с заданными индексом. Распознанная поверхность может быть получена с помощью вызова метода **GetSegmentSurface**(). Входной параметр idxSegment передаёт индекс сегмента полигональной сетки.

R.1. ПОСТРОЕНИЕ ТРИАНГУЛЯЦИИ

Геометрическое ядро C3D выполняет построение полигонального представления геометрической модели по её граничному представлению. Полигональное представление содержит набор триангуляций. Каждая триангуляция аппроксимирует отдельную грань моделируемого объекта плоскими пластинами треугольной и четырёхугольной формы. Полигональное представление используется для визуализации геометрической модели, вычисления инерционных характеристик, определения соударений элементов модели.

R.1.1. Управление вычислением триангуляции

На входе в методы построения полигональных представлений используется структура **MbStepData**, которая приведена на рис. R.1.1.1.

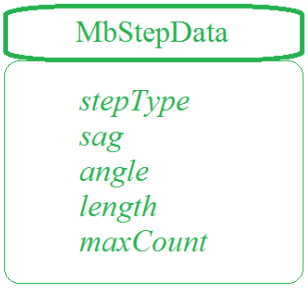


Рис. R.1.1.1.

Структура **MbStepData** объявлена в файле mb_data.h. Структура **MbStepData** содержит следующие данные:

- unsigned char *stepType* – поле, определяющее способ вычисления приращения параметра,
- double *sag* – максимально допустимое отклонение по прогибу,
- double *angle* – максимально допустимое отклонение по углу касательных или нормалей,
- double *length* – максимально допустимое расстояние между соседними точками,
- unsigned int *maxCount* – максимальное количество ячеек в строке или столбце триангуляционной сетки.

Структура **MbStepData** управляет густотой сетки полигонального объекта и содержит данные, по которым вычисляется шаг по параметру при движении вдоль кривых и поверхностей модели. Поле *stepType* определяет способ вычисления приращения параметра при движении вдоль кривой или поверхности и может содержать маски перечисления MbeStepType, объявленного в файле mb_enum.h:

- *ist_SpaceStep* – для визуализации геометрической формы;
- *ist_DeviationStep* – для операций построения;
- *ist_MetricStep* – для 3D принтеров;
- *ist_ParamStep* – для визуализации геометрической формы объектов с привязкой текстуры к параметрам поверхности;
- *ist_CollisionStep* – для определения столкновений элементов модели;
- *ist_MipStep* – для вычисления инерционных характеристик.

Параметр *sag* ограничивает шаг по параметру кривой или поверхности исходя из максимально допустимого отклонения полигонального объекта от оригинала по прогибу. Параметр *angle* ограничивает шаг по параметру кривой или поверхности исходя из максимально допустимого отклонения полигонального объекта от оригинала по угловому отклонению касательных кривой или нормалей поверхности в соседних точках на расстоянии шага. Параметр *length* ограничивает шаг по параметру кривой или поверхности исходя из максимально допустимого размера элемента полигонального объекта – стороны треугольника или отрезка полигона. Параметр *maxCount* ограничивает шаг по параметру кривой или поверхности исходя из максимально допустимого количества разбиений в строке или столбце триангуляционной сетки.

На входе в методы построения полигональных представлений используется структура **MbFormNote**, которая приведена на рис. R.1.1.2.

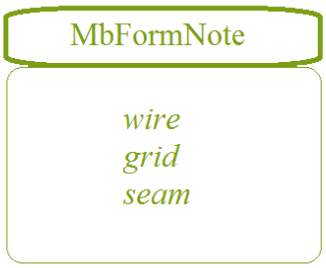


Рис. R.1.1.2.

Структура **MbFormNote** объявлена в файле mb_data.h. Структура **MbFormNote** содержит следующие данные:

- bool *wire* – флаг построения полигонного объекта,
- bool *grid* – ф лаг построения полигонального объекта,
- bool *seam* – флаг использования шовных ребер.

Структура **MbFormNote** определяет способ построения полигонального объекта: при *wire*==true полигональный объект заполняется ломаными линиями, при *grid*==true полигональный объект заполняется триангуляциям. Параметр *seam* определяет способ представления швов в полигональном объекте: при *seam*==true триангуляция не замыкается на швах и шовные ребра обрабатываются как обычные ребра – в триангуляции их точки считаются краевыми и для них строятся полигоны, при *seam*==false триангуляция замыкается на швах и шовные рёбра игнорируются – триангуляции строятся замкнутыми, а полигоны для швов не строятся.

R.1.2. Построение полигонального объекта

Виртуальный метод объектов геометрической модели
MbItem *
MbItem::**CalculateMesh** (const MbStepData & *stepData*,
const MbFormNote & *note*,
MbRegDuplicate * iReg) const
строит полигональный объект, аппроксимирующий рассматриваемый объект геометрической модели.

Входными параметрами метода являются:

- *stepData* – данные для вычисления шага аппроксимации,
- *note* – способ построения полигонального объекта,
- iReg – регистратор копируемых объектов.

В случае успешной работы метод возвращает указатель вновь построенный объект геометрической моделиMbItem*, в противном случае возвращает ноль.

Метод объявлен в файле item.h и заголовочных файлах наследников MbItem.

Рассматриваемый метод аппроксимирует объекты модели, создавая полигональные копии с аналогичной структурой. Для тела, проволочного каркаса и точечного каркаса рассматриваемый метод создаст полигональный объект MbMesh, аппроксимирующий исходный объект, и вернет указатель на созданный объект. Каждая триангуляция **grids**[*i*] объекта MbMesh будет аппроксимировать *i*-ую грань, каждый полигон **wires**[*i*] объекта MbMesh будет аппроксимировать *i*-ое ребро, каждый апекс **peaks**[*i*] объекта MbMesh будет аппроксимировать *i*-ую вершину. Для полигонального объекта MbMesh рассматриваемый метод создаст полигональный объект копию. Для вставки рассматриваемый метод создаст вставку с объектом, который создаст этот же метод для содержимого вставки. Для сборочной единицы рассматриваемый метод создаст сборочную единицу с объектами, которые создаст этот же метод для объектов сборочной единицы.

Параметр *stepData* управляет густотой сетки полигонального объекта и содержит данные для вычисления шага при движении вдоль кривых и поверхностей объекта модели. Параметр *note* определяет способ построения полигонального объекта. Параметры *stepData* и *note* описаны в параграфе R.1.1. Управление вычислением триангуляции. При *note*.*wire*==true рассматриваемый метод заполняет множество указателей на полигоны **mesh**.wires; при *note*.*grid*==true рассматриваемый

метод заполняет множество указателей на триангуляции **mesh**.grids (для граней и поверхностей), множество указателей на полигоны **mesh**.wires (для рёбер), множество указателей на апексы **mesh**.peakes (для вершин).

Параметр iReg может быть равен нулю. Он служит для передачи вложенным методам информации о уже обработанных объектах.

На рис. R.1.2.1 приведен полигональный объект тела, построенный с параметрами *note.wire*==false, *note.grid*==true, содержащий триангуляции, полигоны и апексы. На рис. R.1.2.2 приведен полигональный объект тела, построенный с параметрами *note.wire*==true, *note.grid*==false, содержащий только полигоны.

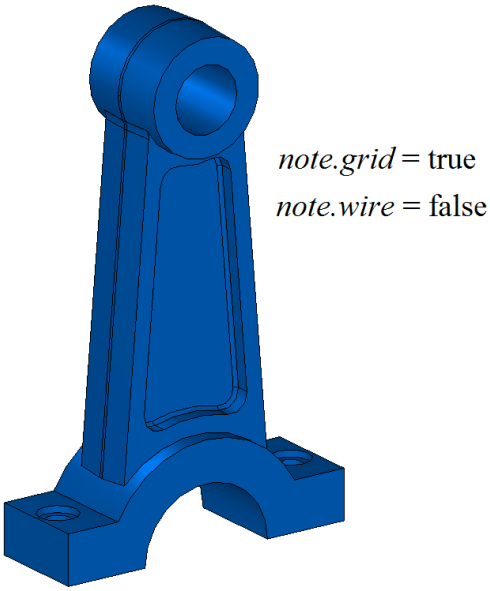


Рис. R.1.2.1.

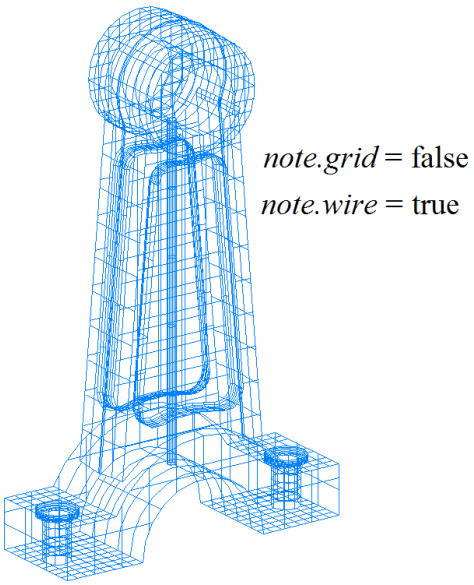


Рис. R.1.2.2.

На рис. R.1.2.3 приведен полигональный объект сборочной единицы, построенный с параметрами *note.wire*==false, *note.grid*==true, состоящий из сборочной единицы полигональных объектов, аппроксимирующих детали.

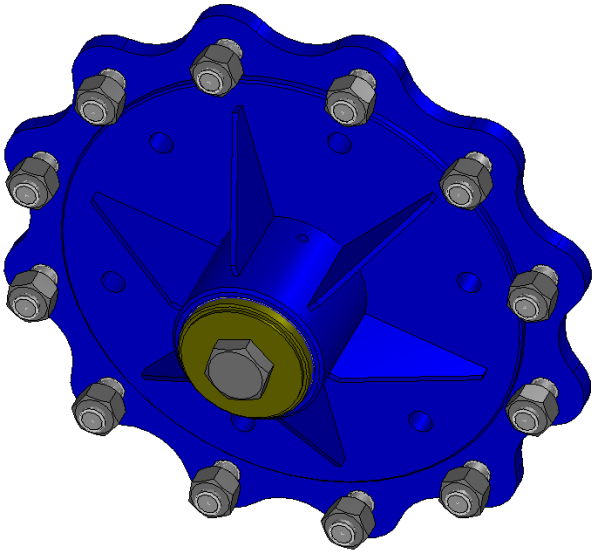


Рис. R.1.2.3.

Рассматриваемый метод используется для визуализации объектов геометрической модели. Полигональные объекты легко трансформируются, для них можно быстро найти пересечение с

прямой линией. На экране рисуется именно полигональная копия объекта геометрической модели, а объект в исходном представлении остаётся за кадром.

R.1.3. Добавление полигонального объекта

Виртуальный метод объектов геометрической модели

bool
MbItem::**AddYourMesh** (const MbStepData & *stepData*,
const MbFormNote & *note*,
MbMesh & **mesh**) const

строит и добавляет свою полигональную копию в присланный полигональный объект **mesh**.

Входными параметрами метода являются:

- *stepData* – данные для вычисления шага аппроксимации,
- *note* – способ построения полигонального объекта.

Выходным параметром метода является полигональный объект **mesh**.

В случае успешной работы метод возвращает true.

Метод объявлен в файле item.h и заголовочных файлах наследников MbItem.

Рассматриваемый метод аппроксимирует объекты модели полигональными копиями и добавляет их в присланный объект **mesh**. Для вставки рассматриваемый метод создаст полигональную копию содержимого вставки, трансформирует её в глобальную систему координат и добавит в присланный объект **mesh**. Для сборочной единицы рассматриваемый метод создаст полигональную копию содержимого сборочной единицы, трансформирует её в глобальную систему координат и добавит в присланный объект **mesh**.

Так же, как в методе **CalculateMesh**, параметр *stepData* управляет густотой сетки полигонального объекта, а параметр *note* определяет способ построения полигонального объекта. Параметры *stepData* и *note* описаны в параграфе R.1.1. Управление вычислением триангуляции. В отличие от вышеупомянутого метода рассматриваемый метод для сложных объектов создает единый полигональный объект. На рис. R.1.3.1 приведен полигональный объект показанной на рис. R.1.2.3 сборочной единицы, построенный с рассматриваемым методом.

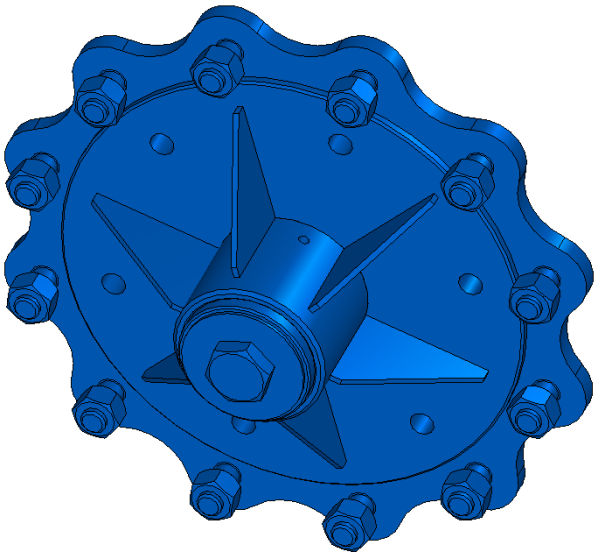


Рис. R.1.3.1.

R.1.4. Построение полигонов объекта

Виртуальный метод трехмерных геометрических объектов

void
MbSpaceItem::**CalculateWire** (double *sag*,
MbMesh & **mesh**)
заполняет присланный полигональный объект **mesh** набором полигонов, аппроксимирующих геометрический объект.

Входным параметром метода является *sag* – максимально допустимое отклонение полигонального элемента от оригинала по прогибу.

Выходным параметром метода является полигональный объект **mesh**.

Метод объявлен в файле space_item.h и заголовочных файлах наследников MbSpaceItem.

Полигональный объект описан в параграфе О.8.5. Полигональный объект MbMesh. Параметр *sag* определяет максимально допустимое расстояние между объектом и ломаной линией, проходящей по точкам полигонов. Рассматриваемый метод заполняет только множество указателей на полигоны **mesh.wires** (ломаные линии).

Кривую рассматриваемый метод аппроксимирует одним полигоном. Контур рассматриваемый метод аппроксимирует несколькими полигонами, каждый из которых проходит по соответствующему сегменту контура. На рис. R.1.4.1 приведена кривая и ее полигональный объект, состоящий из одного полигона.

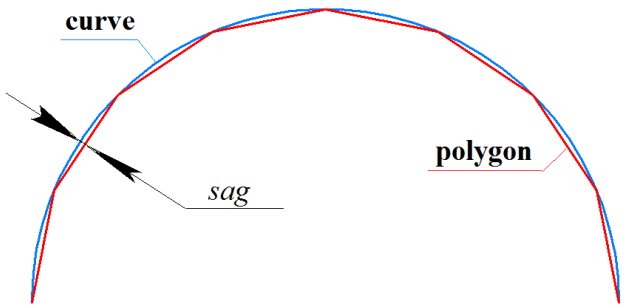


Рис. R.1.4.1.

Поверхность рассматриваемый метод аппроксимирует набором полигонов, проходящих по *u*-линиям, *v*-линиям и по границе поверхности. На рис. R.1.4.2 приведен полигональный объект поверхности, состоящий из нескольких ломаных линий.

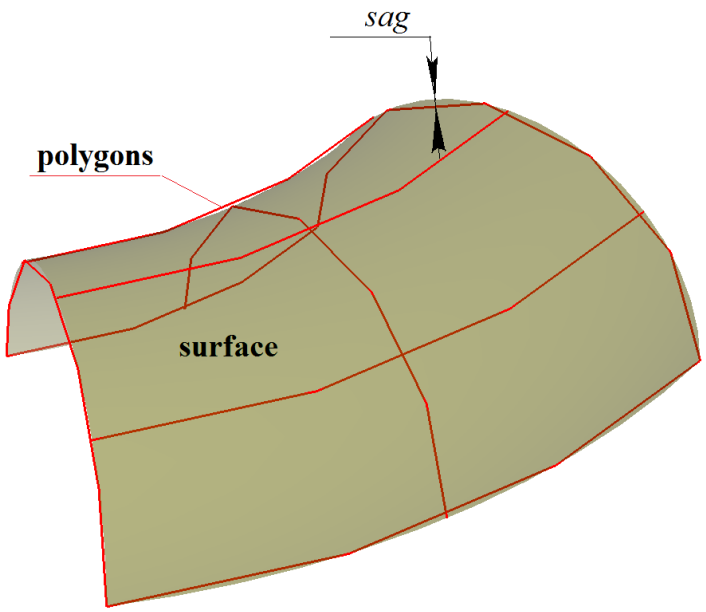


Рис. R.1.4.2.

Тело рассматриваемый метод аппроксимирует набором ломаных линий, проходящих внутри грани вдоль *u*-линий и *v*-линий поверхностей граней, и набором ломаных, аппроксимирующих кривые, на которых базируются ребра тела. На рис. R.1.4.3 справа приведен полигональный объект тела.

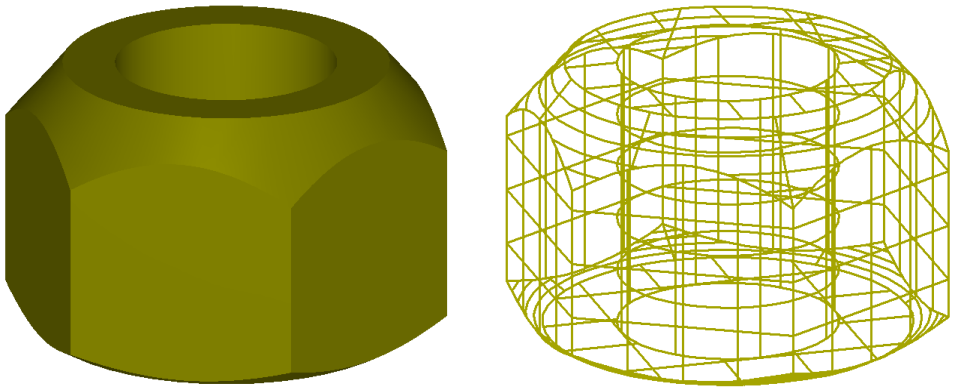


Рис. R.1.4.3.

Для объектов геометрической модели рассматриваемый метод работает аналогично методу **CalculateMesh** при *stepData.stepType*==ist_SpaceStep, *stepData.sag*==*sag*, note.wire==true, note.seam==true.

R.1.5. Построение триангуляции грани

Метод
void
CalculateGrid (const MbFace & **face**,
const MbStepData & *stepData*,
bool *edgePoints*,
MbGrid & **grid**,
bool *dualSeams* = true)
аппроксимирует грань треугольными и четырёхугольными пластинами.

Входными параметрами метода являются:

- **face** – грань,
- *stepData* – данные для вычисления шага аппроксимации,
- *edgePoints* – флаг использования пространственных точек,
- *dualSeams* – флаг обработки швов.

Выходным параметром метода является триангуляция **grid**.

Метод объявлен в файле tri_face.h.

Параметр *stepData* управляет густотой триангуляции и содержит данные для вычисления шага при движении вдоль поверхности грани. Параметр *stepData* описан в параграфе R.1.1. Управление вычислением триангуляции. Для различных значений *stepData.stepType* заполняются различные данные триангуляции **grid**. Если *stepData.stepType* содержит маску *ist_MipStep*, то заполняется множество **grid.params**. Если *stepData.stepType* содержит маску *ist_CollisionStep* или *ist_ParamStep*, то заполняются множества **grid.params**, **grid.points** и **grid.normals**. В остальных случаях заполняются множества **grid.params** и **grid.points**.

На рис. R.1.5.1 приведена триангуляция плоской грани с маской *ist_SpaceStep*.

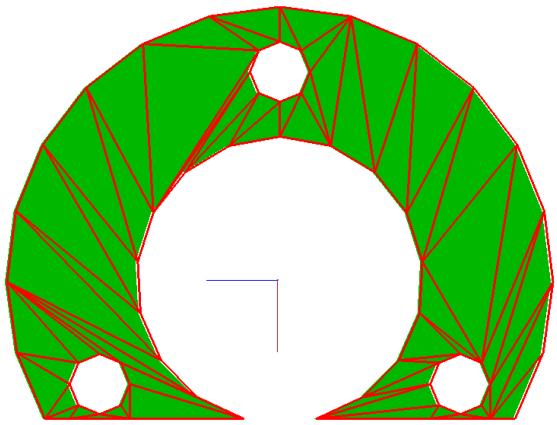


Рис. R.1.5.1.

На рис. R.1.5.2 приведена триангуляция криволинейной грани с маской *ist_SpaceStep*.

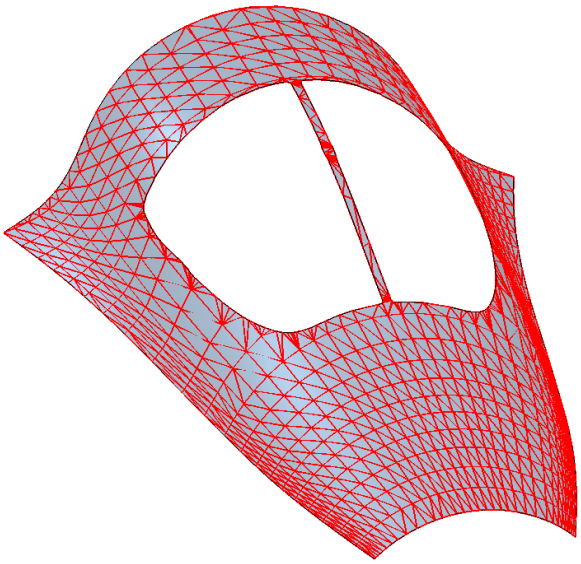


Рис. R.1.5.2.

Рассматриваемый метод вызывается при построении полигональных объектов методами **CalculateMesh** и **AddYourMesh**, если *note.grid*==true.

R.1.6. Построение триангуляции тела

Метод
void
CalculateGrid (const MbSolid & **solid**,
const MbStepData & *stepData*,
RPArray<MbGrid> & **grids**)
строит множество триангуляций для граней тела.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** –тело,
- *stepData* – данные для вычисления шага аппроксимации.

Выходным параметром метода является множество **grids**.

Метод не возвращает значений.

Метод объявлен в файле mip_solid_area_volume.h.

Рассматриваемый метод аппроксимирует грани тела **solid** триангуляциями **grids**. При вызове метода множество **meshs** должно быть пустым. При вызове метода множество **grids** должно быть пустым. Каждой *i*–ой грани тела **solid** соответствует построенный объект **grids**[*i*].

Параметр *stepData* управляет густотой сетки полигональных объектов и содержит данные для вычисления шага при движении вдоль кривых и поверхностей тел. Параметр *stepData* описан в параграфе R.1.1. Управление вычислением триангуляции.

R.1.7. Построение полигональных объектов множества тел

Метод
void
CalculateGrid (const RPArray<MbSolid> & **solids**,
const MbStepData & *stepData*,
RPArray<MbMesh> & **meshs**)
строит множество полигональных объектов для множества тел.

Входными параметрами метода являются:

- **solids** – множество тел,
- *stepData* – данные для вычисления шага аппроксимации.

Выходным параметром метода является множество **meshs**.

Метод не возвращает значений.

Метод объявлен в файле mip_solid_area_volume.h.

Рассматриваемый метод аппроксимирует тела **solids** полигональными объектами **meshs**. При вызове метода множество **meshs** должно быть пустым. Каждому телу **solids**[*i*] соответствует построенный объект **meshs**[*i*].

Параметр *stepData* управляет густотой сетки полигональных объектов и содержит данные для вычисления шага при движении вдоль кривых и поверхностей тел. Параметр *stepData* описан в параграфе R.1.1. Управление вычислением триангуляции.

R.2. ПОСТРОЕНИЕ ПЛОСКИХ ПРОЕКЦИЙ

Для построения плоской проекции моделируемого объекта геометрическое ядро C3D использует каркасную модель. Каркасную модель получим из граничного представления геометрической модели, взяв рёбра и добавив вместо граней их линии очерка. Линии очерка проходят внутри граней и делят их на видимые и невидимые из точки наблюдения части. Плоские проекции более информативны, если в каркасной модели скрыты невидимые из точки наблюдения рёбра и линии очерка.

R.2.1. Данные построения плоских проекций

На входе в метод построения плоских проекций для передачи тел используется структура **MbLump**, которая приведена на рис. R.2.1.1.

Рис. R.2.1.1.

Структура **MbLump** объявлена в файле lump.h. Структура **MbLump** содержит указатель на тело **solid**, матрицу преобразования тела из локальной системы координат **from**, идентификационные параметры тела *component* и *identifier*.

Для передачи вспомогательных объектов в метод построения плоских проекций используется класс **MbProjectionsObjects**, который приведен на рис. R.2.1.2.

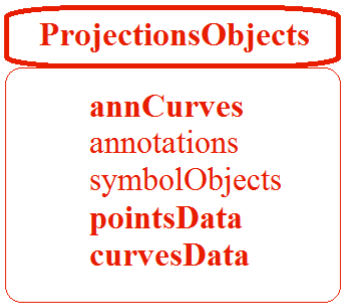


Рис. R.2.1.2.

Класс **MbProjectionsObjects** объявлен в файле map_create.h. Класс **MbProjectionsObjects** содержит следующие данные:

- TPointer<PArray<MbAnnCurves> > **annCurves** – аннотационные кривые,
- TPointer<RPArray<MbSimbolthThreadView> > annotations – вспомогательные объекты,
- TPointer<RPArray<MbSymbol> > symbolObjects – условные обозначения,
- TPointer<RPArray<MbSpacePoints> > **pointsData** – точки,
- TPointer<RPArray<MbSpaceCurves> > **curvesData** – кривые.

Для передачи результатов построения плоской проекции объекта используется структура **MbVEFVestiges**, которая приведена на рис. R.2.1.3.

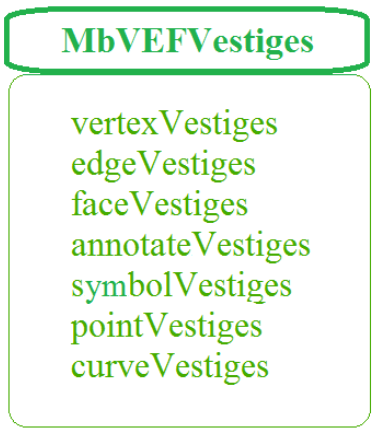


Рис. R.2.1.3.

Структура **MbVEFVestiges** объявлена в файле map_vestiges.h. Структура **MbVEFVestiges** содержит проекции элементов объекта на проекционную плоскость, объединенные в группы. Каждый элемент группы проекций состоит из построенной проекции, указателя на породивший проекцию объект, сведений о видимости этой проекции и другой информации о проекции. Структура **MbVEFVestiges** содержит следующие группы:

- PArray<MbVertexVestige> vertexVestiges – множество проекций вершин,
- PArray<MbEdgeVestige> edgeVestiges – множество проекций ребер,
- PArray<MbFaceVestige> faceVestiges – множество проекций граней,
- PArray<MbAnnotationVestige> annotateVestiges – множество проекций аннотационных объектов,
- PArray<MbSymbolVestige> symbolVestiges – множество проекций условных обозначений,
- PArray<MbVertexVestige> pointVestiges – множество проекций точек,
- PArray<MbEdgeVestige> curveVestiges – множество проекций кривых.

R.2.2. Построение плоской проекции модели

Метод
void
GetVestiges (const MbPlacement3D & **place**,
double *znear*,
const RPArray<MbLump> & **lumps**,
const MbProjectionsObjects & **objects**,
MbVEFVestiges & **result**,
bool *invisible*,
VERSION version)
выполняет построение плоской проекции множества тел и других объектов.
Входными параметрами метода являются:

- **place** – проекционная плоскость,
- *znear* – параметр точки наблюдения,
- **lumps** – проецируемые тела в локальных системах координат,
- **objects** – прочие проецируемые объекты,
- *invisible* – признак построения невидимых линий,
- version – версия построения, последняя версия Math::DefaultMathVersion().

Выходным параметром метода является **result** – структура, содержащая информацию о проекции.
Метод не возвращает значений.
Метод объявлен в файле map_create.h.
Проекционной плоскостью является плоскость XY локальной системы координат **place**.
Параметр *znear* определяет тип изображения. При *znear*=0 строится параллельная проекция объектов. Параметр **lumps** (рис. R.2.1.1) содержит тела и матрицы преобразования их из локальной

системы координат. Параметр **objects** (рис. R.2.1.2) содержит вспомогательные объекты, необходимые для оформления проекции: вспомогательные точки, кривые, условные обозначения, объекты аннотации. Параметр *invisible* сообщает о необходимости строить невидимые линии. В некоторых случаях при отказе от построения невидимых линий метод работает заметно быстрее.

На рис. R.2.2.1 приведено тело, линии проекции которого на плоскость, параллельную плоскости экрана, приведены на рис. R.2.2.2. На рис. R.2.2.3 приведены только видимые линии проекции тела, показанного на рис. R.2.2.1.

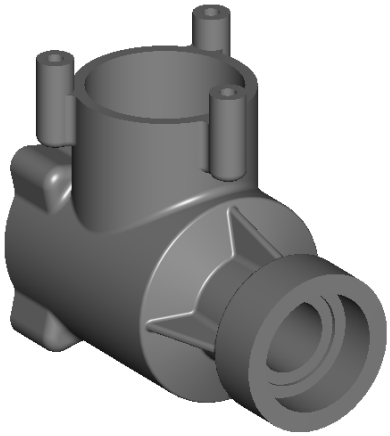


Рис. R.2.2.1.

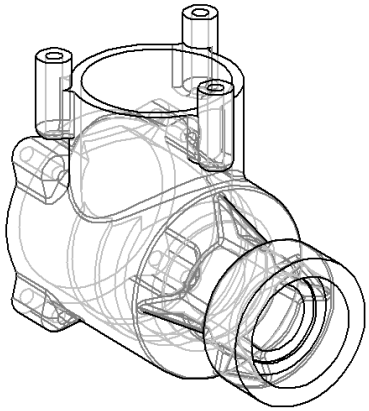


Рис. R.2.2.2.

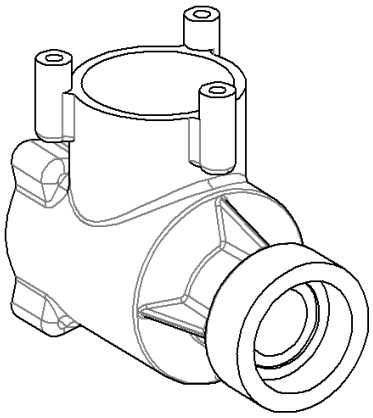


Рис. R.2.2.3.

Последний параметр рассматриваемого метода используется для поддержки предыдущих версий построения.

Метод

void

VisualLinesMapping (const MbPlacement3D & **place**,
double *znear*,
const RPArray<MbLump> & **lumps**,
MbVEFVestiges & **result**,
bool *invisible* = true)

выполняет построение плоской проекции множества тел и отличается от метода **GetVestiges** отсутствием дополнительных объектов **objects**.

R.2.3. Построение полигональной проекции тел

Метод

void

HiddenLinesMapping (const RPArray<MbLump> & **lumps**,
const MbPlacement3D & **place**,

double *znear*,
double *sag*,
PArray<MbPolygon3DSolid> & visibleEdges,
PArray<MbPolygon3DSolid> & hiddenEdges,
PArray<MbPolygon3DSolid> & visibleTangs,
PArray<MbPolygon3DSolid> & hiddenTangs)

выполняет построение полигональной проекции множества тел на заданную плоскость.

Входными параметрами метода являются:

- **lumps** – проецируемые тела в локальных системах координат,
- **place** – проекционная плоскость,
- *znear* – параметр точки наблюдения,
- *sag* – максимально допустимое отклонение по прогибу.

Выходными параметрами метода являются:

- visibleEdges – полигоны видимых негладких ребер,
- hiddenEdges – полигоны невидимых негладких ребер,
- visibleTangs – полигоны видимых гладких ребер,
- hiddenTangs – полигоны невидимых гладких ребер.

Метод не возвращает значений.

Метод объявлен в файле map_create.h.

Проекционной плоскостью является плоскость XY локальной системы координат **place**.

Параметр **lumps** (рис. R.2.1.1) содержит тела и матрицы преобразования их из локальной системы координат. Параметр *znear* определяет тип изображения. При *znear*=0 строится параллельная проекция объектов. Класс MbPolygon3DSolid содержит номер компонента и указатель на полигон, состоящий из множества точек, последовательное соединение которых даст аппроксимацию проекции ребра на плоскость. Точность аппроксимации определяет параметр *sag*. Полигоны visibleEdges и hiddenEdges представляют собой соответственно видимые и невидимые полигональные проекции негладких ребер на плоскость XY локальной системы координат **place**. Полигоны visibleTangs и hiddenTangs представляют собой соответственно видимые и невидимые полигональные проекции гладких ребер на плоскость XY локальной системы координат **place**.

Метод

void

VisualLinesMapping (const RPArray<MbLump> & **lumps**,
const MbPlacement3D & **place**,
double *znear*,
double *sag*,
PArray<MbPolygon3DSolid> & visibleEdges,
PArray<MbPolygon3DSolid> & visibleTangs)

выполняет построение только видимой полигональной проекции множества тел на заданную плоскость. Рассматриваемый метод выполняет те же построения, что и метод **HiddenLinesMapping**, с той разницей, что строит только видимые проекции. В некоторых случаях метод **VisualLinesMapping** работает заметно быстрее метода **HiddenLinesMapping**.

R.2.4. Построение линий очерка триангуляции

Метод

void

CalculateBoundsSltFast (const MbGrid & **grid**,
const MbMatrix3D & **matrix**,
bool *perspective*,
RPArray<MbFloatPoint3D> & **points**)

выполняет построение линий очерка триангуляции.

Входными параметрами метода являются:

- **grid** – триангуляция грани тела,
- **matrix** – матрица, определяющая вектор взгляда,
- *perspective* – признак перспективного отображения.

Выходным параметром метода является:

points – множество указателей на точки из триангуляции **grid.points**.

Метод не возвращает значений.

Метод объявлен в файле map_create.h.

Метод предназначен для построения полигональных линий очерка и используется для визуализации силуэта триангуляции.

R.3. ВЫЧИСЛЕНИЕ ИНЕРЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Геометрическое ядро C3D вычисляет площадь поверхности, объём, положение центра масс и моменты инерции моделируемого объекта. В общем случае вычисление выполняется путем численного интегрирования. Интегрирование по объему с помощью теоремы Остроградского-Гаусса сводится к интегрированию по поверхности моделируемого объекта. Интегрирование по поверхности использует триангуляцию двумерной области определения параметров поверхности. При вычислении перечисленных характеристик модели предусмотрена возможность использования готовых данных для отдельных элементов модели.

R.3.1. Инерционные характеристики модели

Для передачи инерционных характеристик модели используется класс **InertiaProperties**, который приведен на рис. R.3.1.1.

Рис. R.3.1.1.

Класс **InertiaProperties** объявлен в файле mip_solid_mass_inertia.h. Класс **InertiaProperties** содержит следующие данные о модели:

- double *area* – площадь поверхности,
- double *volume* – объем,
- double *mass* – масса,
- double **inertia**[3] – статические моменты в исходной системе координат,
- double **initial**[3][3] – моменты инерции в исходной системе координат,
- double **moments**[3][3] – моменты инерции в центральной системе координат,
- double **general**[3] – главные центральные моменты инерции,
- MbCartPoint3D **center** – центр масс,
- MbVector3D **direction**[3] – векторы направлений главных осей инерции.

При инициализации класса **InertiaProperties** все данные принимают нулевые значения, а координаты центра масс полагаются равными NOT_INITIAL_DBL. Моменты инерции **initial** вычисляются в системе координат, в которой описана модель. Моменты инерции **moments** вычисляются в системе координат, начало которой находится в точке **center**, а координатные оси совпадают с осями исходной системы координат, в которой описана модель. Моменты инерции **general** вычисляются в главной центральной системе координат, начало которой находится в точке **center**, а координатные оси получены вычислением и совпадают с главными осями инерции модели. Центробежные моменты инерции в главных системах координат отсутствуют.

Векторы **direction** дают направления главных осей инерции. Если все главные моменты инерции **general**[*i*] *i*=1,2,3 разные, то все векторы **direction**[*i*] *i*=1,2,3 не равны нулю. Если все главные

моменты инерции **general**[*i*] *i*=1,2,3 одинаковые, то все векторы **direction**[*i*] *i*=1,2,3 равны нулю и главными направлениями могут служить любые три взаимно ортогональных вектора. Если два из трех главных моментов инерции равны, например **general**[*j*]==**general**[*k*], то два из трёх векторов равны нулю **direction**[*j*]=**direction**[*k*]=0, а не равный нулю вектор **direction**[*i*] определяет направление главной оси инерции, момент относительно которой отличается от других, двумя другими главными направлениями могут служить любые два взаимно ортогональных и ортогональных не равному нулю вектору **direction**[*i*] вектора.

Возможность использования готовых данных для отдельных элементов модели позволяют реализовать классы **SolidMIAttire** и **AssemblyMIAttire**. которые приведены на рис. R.3.1.2 и рис. R.3.1.3. Классы объявлены в файле mip_solid_mass_inertia.h.

Рис. R.3.1.2.

Рис. R.3.1.3.

Класс **SolidMIAttire** содержит следующие данные:

- const MbSolid & **solid** – тело,
- double *density* – плотность или удельная масса на единицу площади,
- MbMatrix3D **matrix** – матрица преобразования тела в систему ближайшей сборки,
- **InertiaProperties** * **properties** – назначенные инерционные характеристики тела, могут быть ноль или заданы не полностью,
- bool *ready* – признак, показывающий, что характеристики не требуется считать.

Класс **AssemblyMIAttire** содержит следующие данные:

- RPArray<**AssemblyMIAttire**> **assemblies** – множество сборочных единиц следующего уровня,
- RPArray<**SolidMIAttire**> **solids** – тела сборочной единицы,
- MbMatrix3D **matrix** – матрица преобразования сборочной единицы в систему ближайшей сборки,
- **InertiaProperties** * **properties** – назначенные инерционные характеристики сборочной единицы, могут быть нулями или заданы не полностью,
- bool *ready* – признак, показывающий, что характеристики не требуется считать.

Если экземпляры классов **SolidMIAttire** и **AssemblyMIAttire** содержат не нулевые **properties** и *ready*==true, то инерционные характеристики соответствующего объекта не будут вычисляться, а результат вычисления будет содержать данные из **properties**.

Если экземпляры классов **SolidMIAttire** и **AssemblyMIAttire** содержат не нулевые **properties** и *ready*==false, то результат вычисления будет содержать данные из **properties**, которые не равны NULL_EPSILON или NOT_INITIAL_DBL. Данные, которые в **properties** равны NULL_EPSILON или NOT_INITIAL_DBL, будут вычислены. Рассматриваемые классы позволяют смешивать рассчитанные данные с назначенными.

R.3.2. Инерционные характеристики тела

Функция

```
void
MassInertiaProperties ( const MbSolid * solid,
                        double density,
                        double deviateAngle,
                        InertiaProperties & properties,
                        IfProgressIndicator * progress = 0 )
```

вычисляет площадь поверхности, объем, массу, центр масс и моменты инерции тела.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – тело,
- *density* – плотность или удельная масса на единицу площади,
- *deviateAngle* – параметр управления точностью расчёта.

Выходными параметрами метода являются:

- **properties** – рассчитанные инерционные характеристики,
- progress – индикатор выполнения расчета.

Метод не возвращает значения.

Метод объявлен в файле mip_solid_mass_inertia.h.

Для замкнутого тела **solid** параметр *density* определяет плотность тела. Для незамкнутого тела **solid** параметр *density* определяет удельную массу единицы площади тела. Вычисление в общем случае выполняется численно и использует триангуляцию области определения параметров поверхности граней. Триангуляция параметрической области граней выполняется методом **CalculateGrid**, описанным в параграфе R.1.4. Построение полигонов объекта, при значениях *stepData.stepType=ist_MipStep* и *stepData.angle=deviateAngle*. Параметр *deviateAngle* определяет максимально допустимый угол между нормалями соседних треугольников и четырёхугольников триангуляции поверхности. Параметр *deviateAngle* управляет точностью расчёта и от его значения зависит время расчета. Параметр *deviateAngle* должен находиться в пределах 0.01<=*deviateAngle*<=0.35 радиан. Следует заметить, что при малых значениях *deviateAngle* для сложных моделей требуется большое время расчета.

Инерционные характеристики **properties** описаны в параграфе R.1.4. Построение полигонов объекта. Параметр progress выдает информацию о выполнении в процессе расчета и может использоваться для остановки вычислений.

R.3.3. Инерционные характеристики множества тел

Функция

void

MassInertiaProperties (const RPArray<MbSolid> & **solids**,
const SArray<double> & *densities*,
const SArray<MbMatrix3D> & **matricies**,
const PArray<InertiaProperties> & **mpSolids**,
double *deviateAngle*,
InertiaProperties & **properties**,
IfProgressIndicator * progress = 0)

вычисляет площадь поверхности, объем, массу, центр масс и моменты инерции множества тела.

Входными параметрами метода являются:

- **solids** – множество тел,
- *densities* – множество плотностей или удельных масс на единицу площади,
- **matricies** – множество матриц преобразования тел в общую систему координат,
- **mpSolids** – множество имеющихся характеристик тел (может содержать нули),
- *deviateAngle* – параметр управления точностью расчёта.

Выходными параметрами метода являются:

- **properties** – рассчитанные инерционные характеристики,
- progress – индикатор выполнения расчета.

Метод не возвращает значения.

Метод объявлен в файле mip_solid_mass_inertia.h.

Количество элементов в множествах *densities*, **matricies**, **mpSolids** должно совпадать с количеством тел в множестве **solids**. Второй параметр определяет плотность тела для замкнутых тел или удельную массу единицы площади для незамкнутых тел. Параметр **matricies** содержит матрицы преобразования тел в систему координат, в которой требуется выполнить расчет. Параметр **mpSolids** содержит назначенные характеристики соответствующих тел, которыми необходимо заменить соответствующие характеристики, полученные в результате расчета. Рассматриваемый метод может использоваться для вычисления инерционных характеристик сборочной единицы, инерционные характеристики элементов которой были вычислены ранее в локальных системах координат.

Вычисление в общем случае выполняется численно и использует триангуляцию области определения параметров поверхности граней. Триангуляция параметрической области граней выполняется методом **CalculateGrid**, описанным в параграфе R.1.4. Построение полигонов объекта, при значениях *stepData.stepType=ist_MipStep* и *stepData.angle=deviateAngle*. Параметр *deviateAngle* определяет максимально допустимый угол между нормалями соседних треугольников и четырёхугольников триангуляции поверхности. Параметр *deviateAngle* управляет точностью расчёта и от его значения зависит время расчета. Параметр *deviateAngle* должен находиться в пределах 0.01<=*deviateAngle*<=0.35 радиан. Следует заметить, что при малых значениях *deviateAngle* для сложных моделей требуется большое время расчета.

Инерционные характеристики **properties** описаны в параграфе R.3.1. Инерционные характеристики модели. Параметр progress выдает информацию о выполнении в процессе расчета и может использоваться для остановки вычислений.

R.3.4. Инерционные характеристики модели

Функция

void

MassInertiaProperties (const AssemblyMIAttire & **assembly**,
double *deviateAngle*,
InertiaProperties & **properties**,
IfProgressIndicator * progress = 0)

вычисляет площадь поверхности, объем, массу, центр масс и моменты инерции модели, представленной в виде сборочной единицы.

Входными параметрами метода являются:

- **assembly** – сборочная единица, которая может содержать рассчитанные ранее характеристики,
- *deviateAngle* – параметр управления точностью расчёта.

Выходными параметрами метода являются:

- **properties** – рассчитанные инерционные характеристики,
- progress – индикатор выполнения расчета.

Метод не возвращает значения.

Метод объявлен в файле mip_solid_mass_inertia.h.

Параметр **assembly** представляет собой аналог сборочной единицы, элементы которой есть такие же сборочные единицы в локальных системах координат и тела с заданной плотностью в локальных системах координат. Элементы сборочной единицы могут иметь насчитанные ранее инерционные характеристики и параметры управления ими. При наличии у элемента насчитанных ранее характеристик последние будут использоваться в общей сумме, что сократит общее время расчета.

Параметр *deviateAngle* управляет точностью расчёта и от его значения зависит время расчета. Параметр *deviateAngle* определяет максимально допустимый угол между нормалями соседних треугольников и четырёхугольников триангуляции поверхности. Параметр *deviateAngle* должен находиться в пределах 0.01<=*deviateAngle*<=0.35 радиан. Следует заметить, что при малых значениях *deviateAngle* для сложных моделей требуется большое время расчета.

Инерционные характеристики **properties** описаны в параграфе R.3.1. Инерционные характеристики модели. Параметр progress выдает информацию о выполнении в процессе расчета и может использоваться для остановки вычислений.

R.3.5. Вычисление площади поверхности

Метод

double

CalculateArea (const RPArray<MbFace> & **faces**,
double *deviateAngle*)

вычисляет площадь поверхности набора граней.

Входными параметрами метода являются:

- **faces** – набор граней,

- *deviateAngle* – параметр управления точностью расчёта.

Метод возвращает площадь набора граней.

Метод объявлен в файле mip_solid_mass_inertia.h.

Параметр *deviateAngle* управляет точностью расчёта, и от его значения зависит время расчета. Параметр *deviateAngle* должен находиться в пределах 0.01<=*deviateAngle*<=0.35 радиан. Вычисление в общем случае выполняется численно и использует триангуляцию области определения параметров поверхности граней. Триангуляция параметрической области граней выполняется методом **CalculateGrid**, описанным в параграфе R.1.4. Построение полигонов объекта, при значениях *stepData.stepType=ist_MipStep* и *stepData.angle=deviateAngle*. Параметр *deviateAngle* определяет максимально допустимый угол между нормалями соседних треугольников и четырёхугольников триангуляции поверхности.

Метод

double

CalculateArea (const MbFace & **face**,
double *deviateAngle*)

вычисляет площадь поверхности одной грани.

Входными параметрами метода являются:

- **face** – грань,
- *deviateAngle* – параметр управления точностью расчёта.

Метод возвращает площадь грани **face**.

Метод объявлен в файле tri_face.h.

Параметр *deviateAngle* управляет точностью расчёта, и от его значения зависит время расчета. Параметр *deviateAngle* должен находиться в пределах 0.01<=*deviateAngle*<=0.35 радиан.

Метод

double

CalculateArea (const MbSurface & **surface**,
double *deviateAngle*);

вычисляет площадь поверхности.

Входными параметрами метода являются:

- **surface** – поверхность,
- *deviateAngle* – параметр управления точностью расчёта.

Метод возвращает площадь поверхности **surface**.

Метод объявлен в файле mip_solid_area_volume.h.

Параметр *deviateAngle* управляет точностью расчёта, и от его значения зависит время расчета. Параметр *deviateAngle* должен находиться в пределах 0.01<=*deviateAngle*<=0.35 радиан.

Метод

double

CalculateAreaCentre (const MbFace & **face**,
double *deviateAngle*,
bool *byOuter*,
VERSION version,
MbCartPoint3D & **centre**)

вычисляет площадь поверхности и центр масс грани.

Входными параметрами метода являются:

- **face** – грань,
- *deviateAngle* – параметр управления точностью расчёта,
- *byOuter* – параметр игнорирования внутренних вырезов грани,
- version – параметр версионирования расчета.

Выходным параметром метода является **centre** – центр масс грани.

Метод возвращает площадь грани.

Метод объявлен в файле mip_solid_area_volume.h.

Параметр *deviateAngle* управляет точностью расчёта, и от его значения зависит время расчета. Параметр *deviateAngle* должен находиться в пределах 0.01<=*deviateAngle*<=0.35 радиан.

Параметр *byOuter* позволяет исключить внутренние вырезы грани при расчете. Если *byOuter*=true, то в расчете считается, что внутренние вырезы грани отсутствуют. Для нормального расчета площади поверхности и центра масс грани следует положить *byOuter*=false. Параметр version необходим для поддержания старых версий расчета.

Метод
double
CalculateAreaCentre (const MbFaceShell & **shell**,
double *deviateAngle*,
MbCartPoint3D & **centre**)
вычисляет площадь поверхности и центр масс набора граней.

Входными параметрами метода являются:

- **shell** – набор граней,
- *deviateAngle* – параметр управления точностью расчёта.

Выходным параметром метода является **centre** – центр масс набора граней.

Метод возвращает площадь набора граней.

Метод объявлен в файле mip_solid_area_volume.h.

Параметр *deviateAngle* управляет точностью расчёта, и от его значения зависит время расчета. Параметр *deviateAngle* должен находиться в пределах 0.01<=*deviateAngle*<=0.35 радиан.

R.3.6. Вычисление объема тела

Метод
double
CalculateVolume (const MbSolid & **solid**,
double *deviateAngle*)
вычисляет объем тела.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – тело,
- *deviateAngle* – параметр управления точностью расчёта.

Метод возвращает объем тела.

Метод объявлен в файле mip_solid_area_volume.h.

Параметр *deviateAngle* управляет точностью расчёта, и от его значения зависит время расчета. Параметр *deviateAngle* должен находиться в пределах 0.01<=*deviateAngle*<=0.35 радиан.

R.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОЛКНОВЕНИЙ ТЕЛ

Геометрическое ядро C3D предоставляет два способа оценки столкновения твердотельных объектов. Первый способ основан на алгоритмах булевой операции и предназначен для точной оценки пересечения двух неподвижных тел с вычислением ребер границы пересечения. Второй способ основан на работе с полигональным представлением модели и предназначен для динамических сцен, заданных набором тел. Второй способ рекомендуется использовать, если требуется многократная оценка столкновения твердотельных моделей, изменяющих свое положение в режиме реального времени.

R.4.1. Определение пересечения двух тел

Метод

MbResultType

InterferenceSolids(MbSolid & **solid**1, MbSolid & **solid**2,
std::vector<MbCurveEdge*> * **edges**,
std::vector<ptrdiff_t> (*faceNumbers)[4])

выполняет оценку пересечения двух тел.

Входными параметрами метода являются:

- **solid**1 – первое тело,
- **solid**2 – второе тело,
- **edges** – ребра пересечения тел (может быть 0),
- (*faceNumbers)[4] – контейнер номеров граней (может быть 0).

Выходными параметрами метода являются:

- ребра пересечения **edges** граней тел **solid**1 и **solid**2,
- номера пересекшихся граней (*faceNumbers)[4].

Метод возвращает rt_Intersect, если тела пересекаются, или rt_NoIntersect, если тела не пересекаются.

Метод объявлен в файле cdet_bool.h.

Метод модифицирует ребра тел **solid**1 и **solid**2, поэтому если требуется сохранить тела неизменными, необходимо передавать в метод копии, сделанные с помощью MbSolid::Duplicate(). Модифицирование заключается в резке ребер тел ребрами пересечения.

Возвращаемое значение rt_Intersect означает, что пара тел имеет некоторый объем пересечения или некоторую площадь соприкосновения. Функция вернет rt_NoIntersect, если тела не имеют объема пересечения. Касание в одной точке не считается пересечением, так как имеет нулевой объем пересечения.

Если указатель на контейнер рёбер **edges** не равен NULL, то в **edges** будут помещены ребра пересечения тел **solid**1 и **solid**2.

Если указатель на контейнер номеров граней faceNumbers не равен NULL, то в faceNumbers[0] и faceNumbers[1] будут помещены номера пересекшихся граней соответственно первого и второго тела, кроме того, в faceNumbers[2] и faceNumbers[3] будут помещены номера соприкасающихся граней соответственно первого и второго тела.

R.4.2. Определение столкновений в наборе тел

Данный способ оценки столкновений применяется в случае, когда необходимо осуществить серию тестов на столкновение для одного и того же набора тел, меняющих свое положение во времени. На рис. R.4.2.1 изображен механизм, представляющий собой сборочную единицу из семи деталей, положение которых подчинено кинематическим связям. Требуется оценить границы, в пределах которых детали не мешают друг другу при работе механизма. На рис. R.4.2.2. приведено положение деталей механизма, при котором возникают столкновения между ними. Красным цветом на рис. R.4.2.2. показаны грани тел, встретившихся друг с другом при выходе за границы свободного движения.

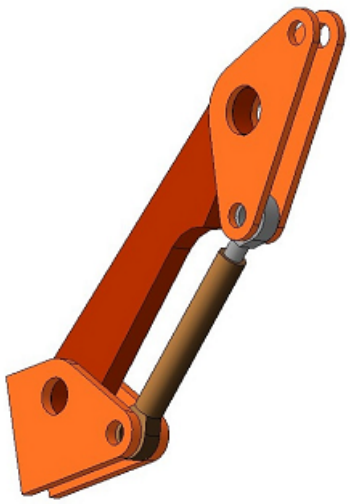


Рис. R.4.2.1

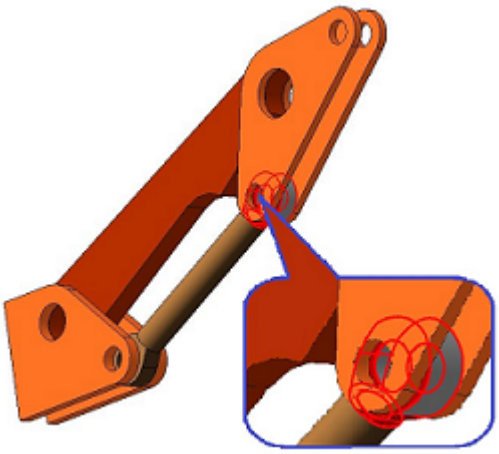


Рис. R.4.2.2

Для контроля столкновения между телами из некоторого набора необходимо завести экземпляр класса MbCollisionDetectionUtility, с помощью метода **AddItem** добавить тела в набор для контроля столкновений. В момент времени, когда одно или несколько тел изменили положение, приложение сообщает телам набора новое положение вызовом **Reposition** и определяет, имеются ли в геометрической модели коллизии с помощью вызова **CheckCollisions**.

Класс для контроля столкновений MbCollisionDetectionUtility объявлен в файле cdet_utility.h, вспомогательные типы данных объявлены в файле cdet_data.h.

Метод

cdet_item

MbCollisionDetectionUtility::**AddItem** (const MbSolid & **solid**,

const MbPlacement3D & **place,**

cdet_app_item *appItem* = CDET_APP_NULL)

добавляет твердое тело **solid** в набор для контроля столкновений.

Входными параметрами метода являются:

- **solid** – твердотельная модель,
- **place** – локальная система координат, задающая положение тела **solid** в пространстве,
- *appItem* – геометрический объект клиентского приложения, которому принадлежит тело.

Метод возвращает дескриптор объекта для контроля столкновений.

Параметр *appItem* используется для идентификации объектов модели клиентского приложения при их столкновении. Если параметр *appItem* не определен, то идентификация осуществляется только на основе дескриптора (тип cdet_item), с которым тело было зарегистрировано в наборе. Предполагается, что одному объекту *appItem*, может принадлежать не одно тело MbSolid, то есть для одного и того же объекта с *appItem* метод **AddItem** может быть вызван более одного раза. В этом случае тела из группы, добавленной для одного и того же *appItem,* не проверяются на столкновения между собой.

Метод

cdet_item

MbCollisionDetectionUtility::**RemoveItem** (cdet_item *cdItem*)

удаляет твердое тело из набора для контроля столкновений.

Входным параметром метода является *cdItem* – дескриптор объекта для контроля столкновений, ранее добавленный методом **AddItem.**

Метод возвращает дескриптор объекта.

Метод

cdet_result

MbCollisionDetectionUtility::**CheckCollisions** (cdet_query **cdQuery** = defaultQuery)

проверяет столкновения между объектами из контрольного набора тел.

Входным параметром метода является **cdQuery** – структура запроса деталей столкновения.

Метод возвращает код результата поиска столкновений.

Метод **CheckCollisions** ищет столкновения между телами, добавленными в контрольный набор с помощью вызова **AddItem**. Метод вернет значение CDET_RESULT_Intersected, если в данном наборе

тел найдено столкновение. Если столкновений не обнаружено, то метод вернет вернёт CDET_RESULT_NoIntersection**.** Код cdet_result является основным результатом работы алгоритма **CheckCollisions**, однако с помощью структуры **cdQuery** можно заказать более детальную информацию о результатах поиска столкновений, а также ограничить или даже прервать поиск, когда это требуется. Если параметр **cdQuery** не определен, то алгоритм поиска не тратит время на выявление всех подробностей столкновения и останавливается, как только будет найдена первая пара пересекшихся граней.

Если для одного и того же объекта cdet_app_item добавлены два и более тел, то столкновения в пределах такой группы не проверяется.

R.4.3. Запросы на поиск столкновений

Кроме самого факта столкновения тел иногда требуется получить список граней, которые участвуют в столкновении, как показано на рис. R.4.2.2, или выделить группы тел, между которыми искать столкновения не требуется. Для этого предусмотрен набор типовых классов, наследников от cdet_query, настроенных на запрос подробностей столкновения:

- Структура cdet_query_result – самый простой и быстрый вариант, отвечающий на вопрос имеются ли столкновения в контрольной группе тел. Именно эта структура используется в качестве параметра по умолчанию для **CheckCollisions.**
- Структура cdet_first_collided – выдает первую найденную пару граней столкновения.
- Структура cdet_collided_faces – выдает список граней, участвующих в столкновениях, в виде упорядоченного множества пар std::pair<cdet_app_item,const MbRefItem*>, где первый элемент пары – твердотельная модель клиентского приложения, второй элемент пары – грань, принадлежащая модели. Также с помощью метода cdet_collided_faces::**Group** можно сгруппировать объекты контрольного набора тел так, что бы искать только пересечения между группами.

Метод cdet_collided_faces::**Group** объединяет в группу пару тел; для объединения в группу ***n*** тел необходимо вызвать cdet_collided_faces::**Group** ***n***-1 раз для первого и всех остальных тел группы.

В параграфе 4.4. Настройка запроса на поиск столкновений описано, как с помощью наследования от cdet_query пользователь геометрического ядра может настроить собственные запросы, однако, в большинстве случаев необходимые запросы можно осуществить с помощью класса cdet_collided_faces. Для этого необходимо завести экземпляр cdet_collided_faces и применить его в качестве параметра **CheckCollisions**. Перед этим можно настроить фильтр поиска с помощью методов cdet_collided_faces::**Group** и cdet_collided_faces::**ExcludeGroup**. При необходимости фильтр поиска можно сбросить с помощью вызова cdet_collided_faces::Reset и перенастроить фильтр заново.

Метод
cdet_collided_faces::**Group**(cdet_app_item *fst*, cdet_app_item *snd*)
объявляет группу тел, элементы которой не проверяются на столкновение друг с другом.

Входными параметрами метода являются *fst* и *snd* – пара тел, которые уже состоят в группах или впервые объединяются в группу.

Данный метод объединяет в одну группу два тела или присоединяет одно тело к группе другого тела. Таким образом, для того, чтобы объединить ***n*** тел в группу необходимо вызвать cdet_collided_faces::Group ***n***-1 раз для первого и всех остальных тел группы.

Метод
cdet_collided_faces::**ExcludeGroup**(cdet_app_item *member*)
исключает все элементы группы из поиска на столкновения.

Входным параметром метода является *member* – любое тело, участник группы, элементы которой исключаются.

Данный метод отключает группу из любых проверок на столкновение. Его рекомендуется применять для временного отключения проверки тел на столкновения без полного удаления из набора с помощью MbCollisionDetectionUtility::**RemoveItem,** так как последующее добавление с помощью **AddItem** займет больше вычислительного времени, чем отменить исключение с помощью cdet_collided_faces::**Reset**. Для исключения набора тел из проверки на столкновения допускается многократно вызвать метод **ExcludeGroup** для всех элементов набора либо предварительно объединить все исключаемых тела в группу, а затем один раз вызвать **ExcludeGroup** для любого тела группы.

Метод
cdet_collided_faces::**Reset**()
отменяет результаты всех вызовов **Group** и **ExcludeGroup**. Метод применяется, если требуется перенастроить группы и исключения для однажды заданной структуры запросов cdet_collided_faces.

R.4.4. Настройка запроса на поиск столкновений

Если возможности настроек структуры cdet_collided_faces не достаточны, пользователь геометрического ядра C3D может реализовать собственный запрос. Для этого необходимо определить наследника класса cdet_query и реализовать для него специальную функцию обратного вызова (call-back функцию) вида:
typedef cback_res (***cback_func**)(cdet_query *, message, cback_data &).

Ниже приведен пример реализации на языке программирования C++ структуры cdet_query_result, являющейся наследником структуры запроса cdet_query. Пример задает поиск до первого найденного пересечения и определяет, есть ли хотя бы одно пересечение в контрольном наборе тел. Пример можно найти в файле cdet_data.h

```
//------------------------------------------------------------------------------
struct cdet_query_result: public cdet_query
{
 cdet_result result;

 cdet_query_result()
  : cdet_query( QueryFunc )
  , result( CDET_RESULT_NoIntersection )
 {}

private:
 static cback_res QueryFunc( cdet_query * query, message code, cback_data & )
 {
  cdet_query_result * q = static_cast<cdet_query_result*>( query );
  switch( code )
  {
  case CDET_QUERY_STARTED: // The collision query is started for all solids of the set
    {
     q->result = CDET_RESULT_NoIntersection;
     return CBACK_VOID_RESULT;
    }
  case CDET_INTERSECTED: // First intersection is founded.
    {
     q->result = CDET_RESULT_Intersected;
     return CBACK_SUFFICIENT;
    }
  case CDET_FINISHED: // A pair of solids is finished.
   return (q->result == CDET_RESULT_Intersected) ? CBACK_BREAK:CBACK_VOID_RESULT;

  default:
   return CBACK_VOID;
  }
 }
};
```

В основе запроса лежит функция обратного вызова
static cback_res **QueryFunc**(cdet_query * **query**, message *code*, cback_data & **cData**),
которую пользователь может реализовать на свое усмотрение. Данная функция передается в алгоритм **CheckCollisions** через структуру cdet_query и будет вызываться при наступлении одного из следующих событий (enum cdet_query::message):
CDET_QUERY_STARTED (Начат поиск столкновений в контрольной группе тел),
CDET_STARTED (Начат поиск столкновений для пары объектов),
CDET_FINISHED (Завершен поиск столкновений для пары объектов),
CDET_INTERSECTED (Найдено пересечение граней от пары объектов),
CDET_TOUCHED (Найдены соприкасающиеся грани пары объектов).

Входными параметрами функции **QueryFunc** являются:

- **query** – указатель на структуру запроса,
- *code* – целочисленное значение, кодирующее событие поиска,

- **cData** –структура передачи данных.

Функция возвращает одно из значений перечисления cback_res:

CBACK_SUFFICIENT (Реакция клиентского приложения на события
CDET_INTERSECTED или CDET_TOUCHED;
Прерывает поиск для данной пары тел, но продолжает поиск
столкновений других пар из контрольного набора тел),
CBACK_SKIP (Пропустить поиск для данной пары тел по событию
CDET_STARTED:
Поиск для других пар из набора будет продолжен),
CBACK_BREAK (Прерывает дальнейший поиск пересечений для всех событий),
CBACK_VOID (Не оказывает влияния на запрос столкновений, продолжает поиск),

которое передает клиентское приложение ядру C3D для настройки алгоритма поиска.

Целочисленное значение *code* определяет событие поиска и может принимать одно из значений:

CDET_QUERY_STARTED,
CDET_STARTED,
CDET_FINISHED,
CDET_INTERSECTED,
CDET_TOUCHED,

Структура данных **cData** предназначена для передачи пары элементов типа cdet_query::geom_element и должна иметь вид:

```
struct cback_data
{
  geom_element first, second;
};
```

где элемент пары cdet_query::geom_element – это структура деталей поиска, содержащая следующие:

- geom_element::**appItem** – геометрический объект клиентского приложения,
- geom_element::**refItem** – геометрический объект типа MbRefItem, как правило это грань MbFace,
- geom_element::**wMatrix** – матрица перехода в общую, мировую СК из локальной СК тела.

Различная реализация метода обратного вызова **QueryFunc** позволяет выполнять следующие настройки процесса поиска:

- Собрать все пары граней, участвующих в столкновении тел;
- В любой момент исключать из рассмотрения определенные тела или пары тел;
- Различать случай пересечения и касания граней;
- Прерывать поиск всех пересечений при достижении определенного результата;
- Прерывать поиск при обнаружении пересечения или касания;
- Группировать тела, чтобы в пределах группы пересечения не искались.

R.4.5. Группировка тел из контрольного набора

При контроле столкновений часто требуется искать столкновения не для всех пар из контрольного набора тел, а только между группами тел. Например, можно повысить быстродействие, если не тратить время на тесты пересечения, когда известно, что тела внутри группы не пересекаются, либо по какой-то причине проверки внутри группы не требуется. Организовать такую группировку можно двумя способами.

Первый способ – передавать одно и то же значение *appItem* при добавлении тел одной группы в метод **AddItem.** Этот способ удобен, когда тела группируются естественным образом по их принадлежности некоторому «монолитному» объекту на стороне пользовательского приложения.

Второй способ – настроить запрос cdet_query, позволяющий пропускать тест пересечения для пары тел, принадлежащих одной и той же группе. Пример этого можно увидеть в исходном коде класса cdet_collided_faces. Для этого нужно в методе обратного вызова вернуть CBACK_SKIP по событию CDET_STARTED для пары тел, принадлежащей одной и той же группе.

S.1. ДВУМЕРНЫЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ РЕШАТЕЛЬ

Любой чертеж с геометрической точки зрения можно представить набором объектов плоскости – это точки, прямые, отрезки, дуги, эллипсы, сплайновые кривые, но не всякий произвольный набор плоской геометрии есть чертеж. В чертеже геометрические объекты всегда подчинены взаимосвязям, задающим положения одних объектов относительно других. Такие взаимосвязи предполагаются всегда, вне зависимости от того, чертим ли мы эскиз на бумаге с помощью карандаша или создаем его на компьютере. Если речь идет о компьютерном черчении, то такие взаимосвязи задаются с помощью *геометрических ограничений,* которые включают в себя *логические ограничения* такие, как совпадение, параллельность/перпендикулярность, касание, горизонтальность/вертикальность, симметричность, и *размерные ограничения*, задающие разного рода *угловые и линейные размеры*, а также размеры, задающие длину кривой или радиус. Эскиз или чертеж, имеющий хотя бы одно размерное ограничение, называется *параметрическим*.

Решатель двумерных геометрических ограничений позволяет вычислять положение геометрических объектов, удовлетворяющее всем заданным ограничениям и размерам эскиза. Процесс черчения, при котором положение объектов, подчиняется заданным ограничениям и размерам называется *параметрическим черчением*.

S.1.1. Назначение геометрического решателя GCE

В составе геометрического ядра C3D решатель двумерной геометрии имеет внутреннее техническое название – GCE (*сокр. Geometric Constraint Engine*). GCE является компонентом модуля C3D Solver, включающего в себя еще один компонент – решатель трехмерных сопряжений (GCM). Основное предназначение компонента GCE – это удовлетворение системы ограничений, заданных над геометрическими объектами плоского чертежа (эскиза). Предметом вычислений решателя GCE являются геометрические объекты на плоскости: точка, прямая, окружность, эллипс, сплайн или параметрическая кривая, на которые пользователь накладывает связи в виде ограничений из заданного набора типов, включающий логические ограничения: параллельность, перпендикулярность, касание, точка на кривой, симметрия и разного рода размерные ограничения, задающие расстояния, длины и углы. Решатель также может работать с кривыми, имеющими концы (bounded curves), как например, отрезки (line segments) и дуги окружности (arcs).

Вся функциональность геометрического решателя GCE доступна через заголовочные файлы **gce_types.h** и **gce_api.h** и состоит из набора простых структур данных и функций. Система типов решателя отражает основные понятия для формулировки задачи геометрических ограничений чертежа и манипулирования состоянием геометрических объектов. Проблемная область геометрического решателя включает такие понятия, как геометрический объект, геометрическое ограничение, размер, система ограничений, числовая переменная и т.д. Взаимодействие приложения с решателем ограничений осуществляется на основе простых структур данных C++, все они объявлены в файле **gce_types.h**.

S.1.2. Встраивание в приложение

Геометрический решатель GCE построен, как общецелевой компонент параметрического черчения. Это значит, что его можно встроить в любое приложение, имеющее дело с плоской (planar) геометрией, чертежами или эскизами. Предполагается, что такое приложение уже имеет свои структуры данных, представляющие геометрию эскиза. Перед программистом, встраивающим компонент GCE в свое приложение, фактически ставится задача передать под управление решателя свои геометрические объекты, подчиненные системе ограничений. Программный интерфейс решателя имеет свою собственную отвлеченную (abstract) систему типов данных, составляющую необходимый минимум того, чтобы сформулировать задачу удовлетворения ограничений. Поэтому, чтобы подключить геометрический решатель к управлению эскизом, необходимо реализовать специальную обертку, которая, выполняя роль моста между C3D Solver и приложением, будет передавать данные о геометрии и ограничениях в решатель, и наоборот, применять результаты вычислений решателя к геометрии эскиза. На рис. S.1.2.1. изображена примерная схема

взаимодействия решателя ограничений с эскизом. Обертка **GCE wrapper** обслуживает параметрическую модель эскиза и выполняет следующие функции:

- Загружает в решатель геометрическую модель эскиза, выраженную в типах данных модуля C3D Solver;
- Обрабатывает запросы редактора такие, как добавление/удаление данных системы ограничений, вычисление эскиза, драггинг геометрических объектов;
- Управляет состоянием геометрии эскиза, подчиненной ограничениям;
- Обновляет данные решателя по актуальному состоянию геометрии эскиза;
- Скрывает (адаптирует) API решателя с его математическими типами данных и предоставляет более удобное API с типами данных приложения;

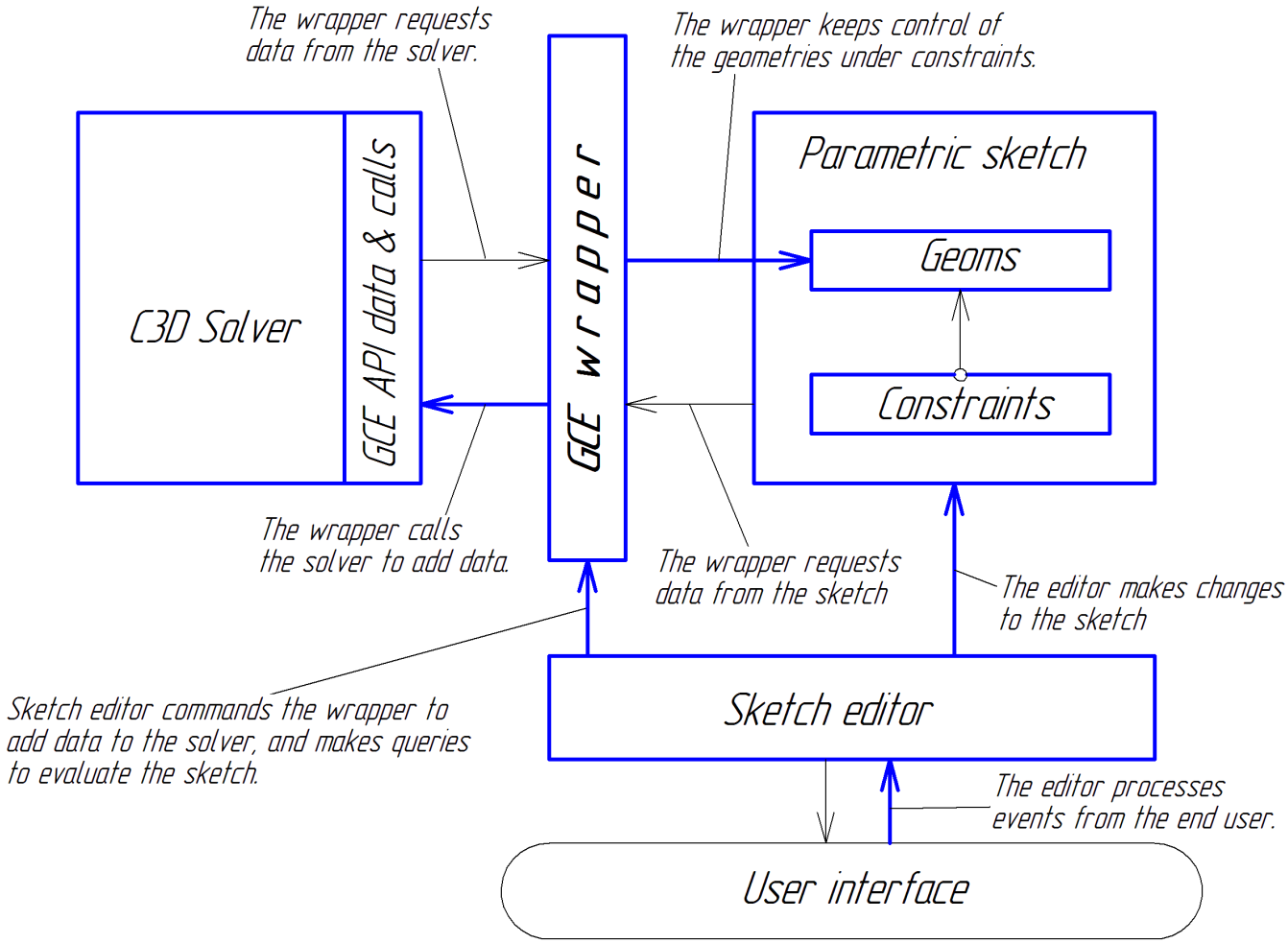


Рис. S.1.2.1.

Схема на рис. S.1.2.1. не является непременным руководством по встраиванию решателя, а только демонстрирует пример одного из способов интеграции C3D Solver в приложение.

Также компонент GCE не позволяет сохранять данные пользователя в файл документа, поэтому разработчик приложения должен позаботиться о чтении/записи системы ограничений своего эскиза в документе приложения. Кроме того, следует принимать во внимание, что набор типов геометрического решателя не может перечислить всё многообразие геометрических типов приложения. Например, в решателе нет типа «прямоугольник», однако он может быть представлен, как четверка точек и прямых, связанных определенными ограничениями. Возможное программное решение предусматривает, что каждый чертежный объект будет иметь свой метод, формулирующий его описание в решателе.

S.1.3. Типы поддерживаемой геометрии

Геометрический решатель GCE поддерживает базовый набор типов геометрии, достаточный, чтобы на его основе строить разнообразные чертежные объекты эскиза. Базовый набор включает следующие типы геометрии:

- Точка (point) – задается двумя декартовыми координатами X, Y;
- Прямая (line) – задается точкой и вектором нормали;
- Окружность (circle) – задается точкой центра и радиусом;
- Эллипс (ellipse) – задается точкой центра, направляющим вектором и двумя значениями полуосей;
- Сплайн (spline) – задается структурой данных, определяющих NURBS;
- Параметрическая кривая (parametric curve) – задается объектом кривой общего типа MbCurve;

Также решатель позволяет создавать отдельные куски или дуги на основе бесконечных кривых. Для этого предусмотрены тип bounded curve и специально выделенный её частный случай – отрезок прямой (line segment):

- Ограниченная кривая (bounded curve) – задается одной базовой кривой и двумя концевыми точками;
- Отрезок прямой (line segment) – задается парой точек;

S.1.4. Типы геометрических ограничений и размеров

Любое геометрическое ограничение связывает между собой геометрические объекты, называемые *аргументами* ограничения. Аргументом ограничения может быть любой объект, относящийся к одному из типов геометрии, перечисленных в параграфе S.1.3. Типы поддерживаемой геометрии. Например, окружность может быть аргументом ограничения **касание**. По числу геометрических аргументов ограничения различают, как унарные, бинарные и тернарные. Они связывают соответственно один, два или три объекта. Примером тернарного ограничения является **симметрия**, в которой участвуют три объекта: две точки и ось симметрии. В общем случае ограничение может иметь N аргументов. *Логические ограничения* предусматривают только зависимости между геометрическими объектами. *Размерные ограничения* устанавливают связь между геометрическими объектами и числовым параметром, означающим какой-то линейный или угловой размер, поэтому у размерных ограничений последний аргумент всегда числовой, называемый также *скаляром*. Типы ограничений, которые поддерживает геометрический решатель GCE приведены в таблице S.1.4.1..

Таблица S.1.4.1. Поддерживаемые типы ограничений

Логические ограничения	**Размерные ограничения**	**Специальные ограничения**
фиксация	длина отрезка	управляющий параметр
горизонтальность	радиус	фиксация производной сплайна
вертикальность	расстояние	точка на кривой с позицией по параметру кривой
длина отрезка	направленное расстояние	линейное уравнение вида a1*v1 + a2*v2 + ... + an*vn + c = 0
совпадение	угол	
точка на кривой		
выравнивание точек		
коллинеарность		
равенство длин		
равенство радиусов		
параллельность		
перпендикулярность		
касание		

средняя точка		
зеркальная симметрия		
биссектриса		

Более подробно каждое из этих ограничений будет рассмотрено ниже. Логические ограничения рассматриваются в главе S.3. ДВУМЕРНЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ. Размерные ограничения и вопросы параметризации эскиза рассматриваются в главе S.2. ДВУМЕРНЫЕ РАЗМЕРЫ,

S.1.5. Базовые типы данных API решателя GCE

Взаимодействие приложения с решателем ограничений осуществляется на основе простых структур данных C++, все они объявлены в файле gce_types.h. Среди них центральное место занимают дескрипторные типы данных, которые служат для идентификации любых объектов, находящихся под контролем решателя, см. табл. S.1.5.1.

Таблица S.1.5.1. Дескрипторные типы данных

Тип данных решателя	Реализация	Интерпретация
GCE_system	void *	дескриптор системы ограничений
geom_item	size_t	дескриптор геометрического объекта
constraint_item	size_t	дескриптор ограничения
var_item	size_t	дескриптор числовой переменной

Типы данных, которые перечисляют конечные наборы значений, приведены в табл. S.1.5.2.

Таблица S.1.5.2. Перечислительные типы данных

Тип данных решателя	Интерпретация
geom_type	тип геометрического объекта
constraint_type	тип ограничения
point_type	тип запрашиваемой контрольной точки
coord_name	имя координаты геометрического объекта
GCE_result	диагностический код выполнения функции
GCE_bisec_variant	выбор между решениями биссектрисы

Структуры данных, перечисленные ниже в табл. S.1.5.3., служат для передачи набора параметров объекта. Например, с помощью структуры GCE_ellipse в решатель передаются данные эллипса: координаты центра, размеры полуосей и направляющий вектор.

Таблица S.1.5.3. Структуры данных

Тип данных решателя	Интерпретация
GCE_vec2d	координаты двумерного вектора
GCE_point	координаты точки на плоскости
GCE_point_dof	запись степени свободы точки

GCE_line	координаты прямой
GCE_circle	координаты окружности
GCE_ellipse	координаты эллипса
GCE_spline	координаты и характеристики сплайна
GCE_dim_pars	параметры размерного ограничения
GCE_adim_pars	параметры углового размерного ограничения
GCE_ldim_pars	параметры линейного размерного ограничения
GCE_dragging_point	контрольная точка драггинга

S.1.6. Система геометрических ограничений

Система геометрических ограничений это набор геометрических объектов и ограничений, связывающих эти объекты. Типы поддерживаемых геометрических объектов и ограничений приведены соответственно в параграфах S.1.3. Типы поддерживаемой геометрии, S.1.4. Типы геометрических ограничений и размеров. Предполагается, что параметрический эскиз, который создает приложение, с его объектами и ограничениями, имеет свою систему ограничений. С программной точки зрения это означает, что каждый параметрический эскиз ассоциируется с системой ограничений через дескриптор типа GCE_system, а каждый его геометрический объект и ограничение представлены своими уникальными дескрипторами типов geom_item и constraint_item.

Перед тем как начать работать с геометрическими ограничениями эскиза, необходимо объявить для него систему ограничений с помощью вызова функции

GCE_system **GCE_CreateSystem**().

Функция вернет систему ограничений в виде дескриптора GCE_system, который представляет собой указатель на экземпляр внутренней структуры данных геометрического решателя. Все дальнейшие манипуляции с системой ограничений будут осуществляться через данный дескриптор. Например, если мы хотим объявить точку в эскизе, необходимо для его системы ограничений вызвать функцию

geom_item **GCE_AddPoint**(GCE_system **gSys**, GCE_point **pVal**).

Результатом функции является дескриптор геометрической точки, принадлежащей системе ограничений **gSys**. Параметр **pVal** задает начальные координаты <X,Y> точки.

При завершении работы с эскизом, обязательно следует вызвать функцию удаления системы ограничений

void **GCE_RemoveSystem**(GCE_system **gSys**),

которая полностью освободит память, занимаемую системой ограничений со всеми данными объектов и ограничений. После вызова **GCE_RemoveSystem** дескриптор системы ограничений становится недействительным, т.е. дальнейшее использование такого дескриптора может привести к аварийному прекращению работы приложения.

Функция

void **GCE_ClearSystem**(GCE_system **gSys**)

делает систему ограничений пустой, освобождая память только от объектов и ограничений, но оставляет систему ограничений действительной для дальнейшей работы.

S.1.7. Представление геометрических объектов

Решатель геометрических ограничений работает с определенной формой представления геометрических объектов, проиллюстрированной на рис. S.1.7.1. Все объекты выражаются через координаты точек, вектора и числа (скаляры).

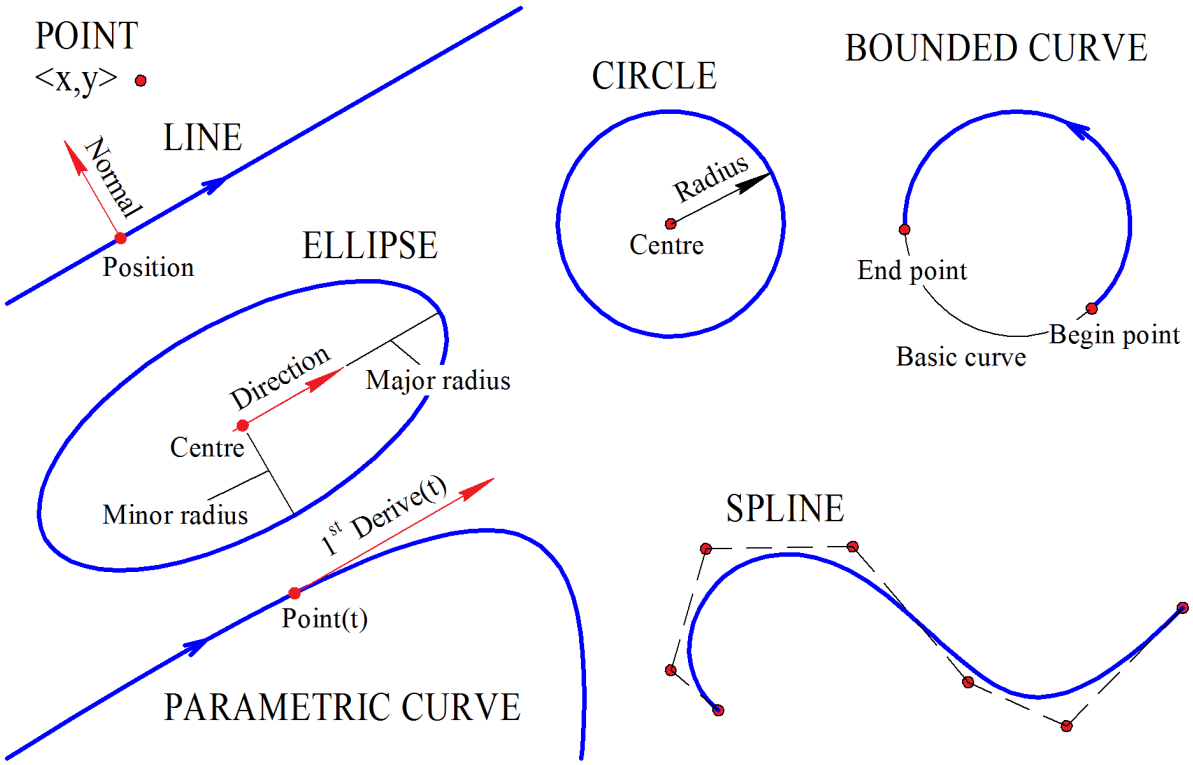


Рис S.1.7.1.

Приложение может иметь свое представление геометрических объектов, отличное от решателя, однако передача данных о состоянии объектов в решатель и получение обратно результатов вычислений основываются на том, что каждый тип геометрии имеет свое представление:

- **Точка** представлена парой декартовых координат <X,Y>.
- **Прямая** задается точкой позиции и вектором нормали. Предполагается, что у прямой есть направляющий вектор, который равен вектору нормали повернутому по часовой стрелке на 90 градусов. Другими словами, направляющему вектору с координатами <X,Y> будет соответствовать нормаль с координатами <Y,-X>.
- **Окружность** задается точкой центра и радиусом. В настоящий момент радиус может быть только ненулевым положительным числом.
- **Эллипс** задается точкой центра, радиусами по «главной» (major) и по «минорной» (minor) полуосям и направляющим вектором главной полуоси. Также эллипс параметризуется величиной с периодом от ***0*** до ***2π***, пробегающей по эллипсу против часовой стрелки, начиная от точки на «главной» полуоси.
- **Параметрическая кривая** передается в решатель в виде класса MbCurve. Такая кривая рассматривается как неподвижная, а вычисления связанные с этой кривой, строятся на виртуальных функциях: MbCurve::PointOn, MbCurve::FirstDer и MbCurve::SecondDer, выдающие соответственно точку на кривой по параметру, первую и вторую производную в этой точке. Подробнее о параметрических кривых см. параграф S.5.2. Параметрические кривые общего вида

Замечание: Пока для создания параметрической кривой в системе ограничений потребуется создать экземпляр класса MbCurve, однако в будущем будет реализован альтернативный вариант, основанный на простых функциях, реализуемых самим пользователем. Также пользователь ядра C3D имеет возможность реализовать своего наследника для MbCurve.

- **Сплайн** основан на NURBS-представлении, в основе которого лежит список контрольных точек. Более подробно работа со сплайном будет рассмотрена в главе S.5. ДВУМЕРНЫЕ СПЛАЙНЫ И ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ КРИВЫЕ
- **Ограниченная кривая** представляет собой участок кривой, ограниченный концевыми точками. Задается тройкой: базовая кривая, начальная точка участка, конечная точка участка.

S.1.8. Степень свободы

Каждому типу геометрии свойственна степень свободы, равная минимальному числу координат, необходимых для определения состояния геометрического объекта. Например, степень свободы двумерной точки равна 2. Окружность имеет степень свободы 3, поскольку она полностью определяется тройкой значений <X,Y,R> – координатами центра и радиусом. Согласно параграфу S.1.7. Представление геометрических объектов, прямая представляется точкой позиции и вектором нормали, однако это удобное, но избыточное представление; минимально-достаточным представлением прямой могла бы быть пара значений смещения и угла наклона, поэтому прямая имеет степень свободы 2. Также эллипс имеет степень свободы равную 5. Степень свободы сплайна равна сумме степеней свобод его контрольных точек. Параметрическая кривая полностью определена на стороне приложения, т.е. её степень свободы равна 0. В таблице S.1.8.1. приведены степени свободы всех типов, поддерживаемых решателем.

Таблица S.1.8.1. Степень свободы геометрических объектов

Тип геометрии	Степень свободы
Точка	2
Прямая	2
Окружность	3
Эллипс	5
Сплайн	2 · Количество контрольных точек
Параметрическая кривая	0
Ограниченная кривая	2 + Степень свободы базовой кривой

Каждый геометрический объект, участвующий в системе, добавляет определенное количество своих степеней свобод к общей степени свободы эскиза. С другой стороны, каждое добавляемое ограничение отнимает определенную степень свободы. Для того, чтобы определить состояние всех геометрических объектов эскиза, требуется определенное количество ограничений, отнимающее все степени свободы объектов.

Большинство ограничений отнимает одну степень свободы, это такие ограничения, как параллельность, перпендикулярность, горизонтальность/вертикальность, равенство радиусов, равенство длин, точка на прямой, касание и большая часть размерных ограничений. Другие ограничения снимают две степени свободы: средняя точка, коллинеарность, симметрия, биссектриса.

Можно сказать, что задача параметрического черчения состоит в том, чтобы полностью определить геометрические объекты эскиза. Количество геометрических ограничений, которые необходимы для полного определения эскиза, соответствуют сумме степеней свобод всех объектов, входящих в эскиз.

S.1.9. Добавление и удаление геометрических объектов

Основным предметом вычислений геометрического решателя являются геометрические объекты, поэтому формирование системы ограничений начинается с того, что приложение объявляет в системе ограничений геометрические объекты, которым предстоит стать аргументами ограничений.

Каждый геометрический объект, объявленный в системе ограничений, получает свой уникальный идентификатор – дескриптор типа geom_item, а его геометрический тип (geom_type) остается неизменным в течении жизни объекта. Ниже приведены вызовы API C3D Solver, добавляющие геометрические объекты в систему.

Точка добавляется с помощью метода

geom_item **GCE_AddPoint**(GCE_system **gSys**, GCE_point **pVal**).

Результатом функции является дескриптор геометрической точки, принадлежащей системе ограничений **gSys.** Параметр **pVal** задает начальные значения координат точки <X,Y>.

Прямая добавляется с помощью метода

geom_item **GCE_AddLine**(GCE_system **gSys**, GCE_line **lVal**).

Результатом функции является дескриптор прямой на плоскости, принадлежащей системе ограничений **gSys**. Параметр **lVal** задает начальные значения позиции **lVal.p** и нормали **lVal.norm** прямой.

Окружность добавляется с помощью метода

geom_item **GCE_AddCircle**(GCE_system **gSys**, GCE_circle **cVal**).

Результатом функции является дескриптор окружности, принадлежащей системе ограничений **gSys**. Параметр **cVal** задает начальные значения центра **cVal.centre** и радиуса **cVal.radius**.

Эллипс добавляется с помощью метода

geom_item **GCE_AddEllipse**(GCE_system **gSys**, GCE_ellipse **eVal**).

Результатом функции является дескриптор эллипса, принадлежащего системе ограничений **gSys.** Параметр **eVal** определяет начальные значения эллипса:
<**eVal**.centre, **eVal**.direct, **eVal**.majorR, **eVal**.minorR>, означающие соответственно центр, направляющий вектор и радиусы по главной и минорной осям.

Сплайн добавляется с помощью метода

geom_item **GCE_AddSpline**(GCE_system **gSys**, GCE_spline **spl**).

Результатом функции является дескриптор сплайна, принадлежащего системе ограничений **gSys**. Структура данных **spl** определяет сплайн в начальном состоянии. Подробности, связанные со сплайновой кривой и способами его определения, рассмотрены в параграфе S.5.1. Сплайновые кривые.

Параметрическая кривая общего вида добавляется с помощью метода

geom_item **GCE_AddParametricCurve**(GCE_system **gSys**, const MbCurve & **crv**).

Результатом функции является дескриптор параметрической кривой, добавленной в систему ограничений **gSys**. Объект **crv** полностью определяет абстрактное математическое описание кривой в параметрической форме. Подробнее класс двумерной кривой общего вида обсуждается в параграфе O.3.1. Двумерная кривая MbCurve**.** Надо заметить, что тип данных MbCurve входит в иерархию классов геометрического ядра C3D, а значит его время жизни регулируется счетчиком ссылок. Другими словами система ограничений гарантирует действительность экземпляра MbCurve, пока параметрическая кривая не будет удалена из системы. Подробнее о работе с параметрической кривой рассказывается в параграфе S.5.2. Параметрические кривые общего вида.

Ограниченная кривая добавляется с помощью метода

geom_item **GCE_AddBoundedCurve**(GCE_system **gSys, geom_item curve, geom_item p**[2]).

Результатом функции является дескриптор ограниченной кривой, принадлежащей системе ограничений **gSys**. Созданная кривая основывается на кривой **curve** и будет представлять её участок, ограниченный концевыми точками **p**[0] и **p**[1]. Данный метод фактически связывает три объекта – базовую кривую и две точки в единый объект и автоматически обеспечивает два ограничения «точка на кривой» для концевых точек. Фрагмент кода ниже показывает пример создания **дуги окружности**.

```
GCE_system gSys = GCE_CreateSystem();
GCE_circle circPars; // Circle values
GCE_point endP1, endP2; // Coordinates of the end points.
// …
// It is  required to insert the code that assigns start values of the circle and its endpoints.
// …
geom_item p[2] = { GCE_AddPoint(gSys, endP1), GCE_AddPoint(gSys, endP2) };
geom_item circItem = GCE_AddCircle( gSys, circPars ); // Create a circle. It's a base curve
of the arc.
geom_item arc = GCE_AddBoundedCurve( gSys, circItem, p ); // Create the circular arc.
// …
GCE_RemoveSystem( gSys );
```

Аналогично с помощью вызова **GCE_AddBoundedCurve** можно создавать дуги эллипса, участки на параметрической кривой, отрезки прямой и т.д. Ограниченная кривая, созданная на основе прямой, называется **отрезком**, а все ограничения действующие для прямой также применимы для отрезка.

Любой геометрический объект, добавленный одним из вышеперечисленных методов, свободный от ограничений или размеров, может быть удален вызовом метода

bool **GCE_RemoveGeom**(GCE_system **gSys, geom_item g**).

Данный метод удаляет геометрический объект из системы и делает его дескриптор **g** не действительным. Функция вернет **true** в случае успешного выполнения. Функция вернет значение **false**, а удаление не будет исполнено, если геометрический объект на момент вызова является аргументом одного из ограничений. Чтобы узнать доступен ли геометрический объект для удаления методом **GCE_RemoveGeom**, можно воспользоватьсяь функцией **GCE_IsConstrainedGeom**. Допускается удаление геометрического объекта, на котором основаны другие объекты, раньше других. Например, точки концов или базовая кривая могут быть удалены раньше граничной кривой, которая на них основана, однако их неизбежное удаление откладывается до тех пор, пока не будет удален последний из объектов, в которых они участвуют.

S.1.10. Фиксация и заморозка геометрических объектов

Любой геометрический объект, созданный в системе ограничений, изначально свободен, т.е. имеет полную степень свободы, свойственную его типу. При вычислениях C3D Solver может менять состояние геометрических объектов, когда это требуется для удовлетворения ограничений. Иногда требуется обездвижить часть геометрии так, чтобы решатель оставлял положение геометрического объекта без изменений. Для этого в API GCE предусмотрены вызовы, которые могут **заморозить** или **зафиксировать** геометрический объект. Состояние замороженных или фиксированных геометрических объектов может поменять только приложение с помощью вызовов:

GCE_SetPointXY и **GCE_SetCoordValue**.

Заморозку геометрических объектов удобно применять, когда требуется обеспечить неподвижность какой-то части чертежа. Например, в системе САПР часть геометрии чертежа может быть получена проецированием из трехмерной модели, и поэтому навсегда связана с ней односторонней ассоциативной связью: «объемная модель → плоское отображение». Заморозить геометрический объект можно с помощью метода

bool **GCE_FreezeGeom**(GCE_system **gSys**, geom_item **g**).

Метод вернет значение **true**, если геометрический объект **g** стал фактически замороженным. Надо заметить, что заморозка не считается ограничением, поэтому метод **GCE_IsConstrainedGeom** не принимает во внимание заморожен объект или нет. Степень свободы замороженного объекта равна 0.

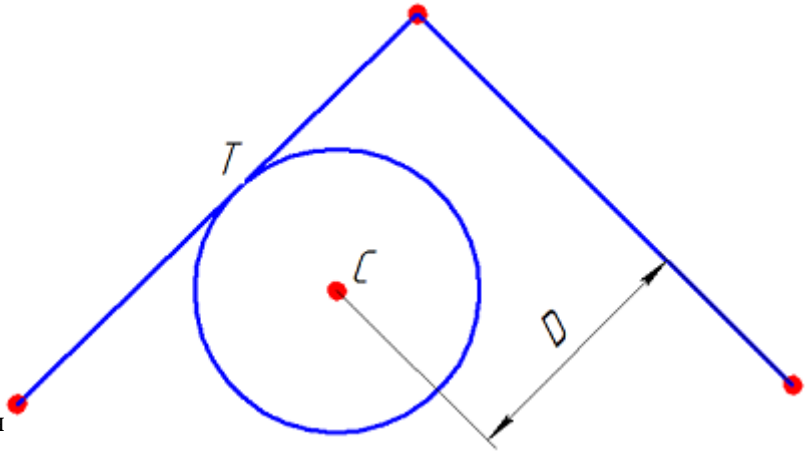
Альтернативный способ сделать геометрический объект неподвижным для решателя – это задать ограничение фиксация объекта с помощью метода

constraint_item **GCE_FixGeom**(GCE_system **gSys**, geom_item **g**).

Функция зафиксирует объект **g**, принадлежащий системе ограничений **gSys**, и вернет дескриптор вновь добавленного ограничения «фиксация объекта». В отличие от **GCE_FreezeGeom** данный метод создает ограничение, которое в любой момент можно удалить методом **GCE_RemoveConstraint** и тем самым освободить объект. Ограничение фиксация рассмотрена также в параграфе S.3.6. Унарные ограничения: горизонтальность/вертикальность и варианты фиксации.

S.1.11. Контрольные точки геометрических объектов

Среди геометрических типов, поддерживаемых решателем (см. параграф S.1.3. Типы поддерживаемой геометрии) особенное место занимает **точка**. Во-первых, точка самый элементарный геометрический объект. Во-вторых, через точки, называемые *контрольными*, выражаются все остальные типы геометрии. Например, окружность выражается структурой <C,R>, где C – точка центра, R – скаляр, числовое значение радиуса. В-третьих, контрольные точки могут самостоятельно участвовать в ограничениях, в качестве их аргументов. Например, можно задавать ограничения, как для самой окружности, так и отдельно для её точки, скажем, расстояние от центра окружности до прямой, см. рис. S.1.11.1.



C – контрольная точка центра
T – касание окружности и прямой
D – расстояние от центра до прямой

Рис. S.1.11.1.

Чтобы работать с контрольной точкой, как с самостоятельной точкой, необходимо запросить её дескриптор у геометрического объекта с помощью функции:

geom_item **GCE_PointOf**(GCE_system **gSys**, geom_item **g**, point_type **pnt**).

Результатом функции является дескриптор контрольной точки геометрического объекта **g**, принадлежащего системе ограничений **gSys**. Параметр **pnt** определяет какая контрольная точка объекта запрашивается и принимает одно из следующих значений:

- GCE_FIRST_END – начальная точка кривой (первый конец);
- GCE_SECOND_END – конечная точка кривой (второй конец);
- GCE_CENTRE – центр окружности, эллипса, а также их дуги (bounded curve);
- GCE_Q1 – квадрантная точка эллипса (3 часа);
- GCE_Q2 – квадрантная точка эллипса (12 часов);
- GCE_Q3 – квадрантная точка эллипса (6 часов);
- GCE_Q4 – квадрантная точка эллипса (9 часов).

Запросить контрольные точки сплайновой кривой позволяет метод

geom_item **GCE_SplinePoint**(GCE_system **gSys**, geom_item **spl**, *size_t* **pntIdx**).

Функция вернет дескриптор контрольной точки сплайна **spl**, взятой по номеру **pntIdx**, принимающий значения от 0 до N-1, где N – число контрольных точек сплайна. На рис. S.1.11.2. изображен сплайн, имеющий N = 7 контрольных точек (красные кружки), с нумерацией от 0.

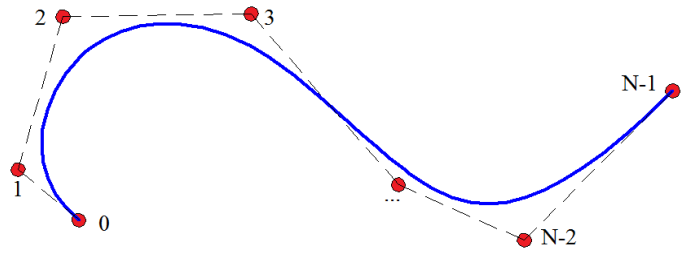


Рис. S.1.11.2.

S.1.12. Скалярная переменная

Основным предметом вычисления модуля GCE являются геометрические объекты двумерной плоскости, подчиненные ограничениям и размерам. Эти типы данных по своей природе имеют векторное представление. Параметрическое черчение предполагает связь геометрии с управляющими либо вариационными числовыми параметрами. Поэтому дело не обходится без еще одного типа – **числовой переменной** или **скаляра** со значением, заданным, как правило, в единицах длины или угла.

В параметрической системе ограничений могут участвовать переменные такого рода:

- Числовая переменная, ассоциированная с размером – **размерная переменная**. В решенном состоянии размерная переменная равна измеренному значению размера. Размерная переменная может служить как управляющим, независимым параметром эскиза, так и вариационным или измерительным. Подробнее об использовании переменных для создания управляющих и вариационных размеров обсуждается в параграфе S.2.2. Управляющие и вариационные размеры .
- Вспомогательный параметр геометрического ограничения, например, параметр, указывающий локализацию точек касания для кривых сложной формы. Подробности в параграфе S.3.10. Касание.
- Переменная, не ассоциированная с геометрическим ограничением и размером, может участвовать в скалярных линейных или нелинейных уравнениях, устанавливающих законы связи одних величин с другими.

В API модуля GCE переменную представляет тип данных var_item. А создать переменную можно вызовом метода

var_item **GCE_AddVariable**(GCE_system **gSys**, double **val**).

Функция вернет дескриптор скалярной переменной с начальным значением **val**. В дальнейшем переменную по данному дескриптору можно применять для определения размеров, ограничений и уравнений.

Любая переменная может быть **зависимой** или **независимой.** Зависимая переменная подчинена измерительным размерам или ограничениям, а её значение вычисляется решателем. Независимая переменная не может быть изменена решателем, а её значение задается приложением. Чтобы переменная стала независимой, достаточно вызвать метод API

constraint_item **GCE_FixVariable**(GCE_system **gSys**, var_item **var**),

который создаст ограничение «управляющий параметр» и вернет дескриптор ограничения, фиксирующий её значение. Независимая переменная доступна для варьирования с помощью вызова **GCE_ChangeDrivingDimension**. Ограничение «управляющий параметр» вместе с другими типами управляющих размеров позволяют создать параметрический эскиз, геометрия которого может меняться по определенному пользователем закону варьированием независимых параметров. Про создание управляющих параметров и размеров см. параграф S.2.2. Управляющие и вариационные размеры .

S.1.13. Линейное уравнение

Линейное уравнение выражается формулой $a1 \cdot v1+a2 \cdot v2+a3 \cdot v3+\ldots.+an \cdot vn+c=0$, где a1, a2, a3, ..., an, с постоянные коэффициенты, v1, v2, v3, ..., vn – скалярные переменные уравнения. Линейное уравнение создается вызовом метода

constraint_item **GCE_AddLinearEquation**(GCE_system **gSys**, const double * **a,**
const var_item * **v**, *size_t* **n**, double **c**),

который вернет дескриптор линейного уравнения, зарегистрированного в системе **gSys**.

Исходные данные вызова:

- **gSys** – система ограничений;
- **a** – массив постоянных коэффициентов при переменных;
- **v** – массив переменных линейного уравнения;

- **n** – количество переменных линейного уравнения;
- **c** – постоянный коэффициент «c» без переменной;

S.1.14. Журналирование вызовов API

C3D Solver позволяет для конкретной системы ограничений GCE_system записать всю историю вызовов API, включая исходные параметры и возвращаемые значения вызванных функций. Результатом записи будет файл журнала, который в дальнейшем может быть использован разработчиками геометрического ядра C3D для отладки и тестирования функций C3D Solver.

Устройство журнала

Файл журнала имеет текстовый формат, основанный на простом синтаксисе S-выражений, позволяющий записать любые вложенные и списочные структуры данных. Любая функция API, вызванная для конкретной системы ограничений, фиксируется в журнале в следующем виде:

(*GCE_Func* (*arg list*) (*returned value*)),

где *GCE_Func* – имя вызванной GCE-функции, (*arg list*) – список аргументов функции, (*returned value*) – возвращаемое значение.

Например, так выглядит запись вызова, создающего окружность с центром в начале координат и радиусом 2.5:

(GCE_AddCircle ((0.0 0.0) 2.5) #1)

Окружность получила символический идентификатор #1, который является возвращаемым значением функции GCE_AddCircle.

Журнал фактически является записью сеанса работы с конкретной системой ограничений на языке, который может быть интерпретирован специальными средствами, которыми располагает разработчик C3D Solver. Также журнал может быть отредактирован вручную или упрощен, если для достижения определенной ситуации не требуются все вызовы.

Включение режима журналирования

Чтобы включить режим записи журнала системы ограничений, необходимо вызвать функцию

bool **GCE_SetJournal**(GCE_system **gSys**, const char * **fName**),

которая для системы ограничений **gSys** назначит файл журнала **fName**. В случае успешной инициализации режима функция вернет **true**.

Входными параметрами метода являются:

- **gSys** – пустая система ограничений, созданная методом **GCE_CreateSystem**,
- **fName** – строка, задающая полный путь к файлу. Например: "..\\Journals\\sample.jrn"

После включения журналирования будет осуществляться запись информации о всех обращениях к API C3D Solver, адресованных системе ограничений **gSys**.

Внимание: файл журнала будет готов только после завершения сеанса работы с системой ограничений, а именно сразу после вызова **GCE_RemoveSystem**.

Пример кода

Пример кода демонстрирующего запись сеанса работы системы ограничений в журнал приведен ниже.

```
GCE_system gSys = GCE_CreateSystem();
// Switch on journalling for the constraint system.
GCE_SetJournal( gSys, "C:\\Logs\\gce_sample.jrn" );
// Make some calls of C3D Solver …
GCE_point p1Val, p2Val; // Coordinates of two points = (1,1) and (2,2)
p1Val.x = p1Val.y = 1.0;
p2Val.x = p2Val.y = 2.0;
geom_item pnt[2] = { GCE_AddPoint(gSys, p1Val),GCE_AddPoint(gSys, p2Val) };
GCE_AddCoincidence( gSys, pnt );
// ...
// ...
GCE_Evaluate( gSys );
```

```
// Finalize the constraint system
GCE_RemoveSystem( gSys );
// The journal file is ready!
```

Замечание

Журналирование нужно только для отладочных целей, поэтому рекомендуется включать её только в режиме отладки. Не следует оставлять журналирование включенным для продуктовой (release) или рабочей версии приложения, т.к. это может приводить к напрасному расходованию ресурсов времени и памяти.

Отладка и тестирование

Журналирование дает возможность разработчику геометрического ядра отлаживать функций C3D Solver путем воспроизведения журнала вызовов, записанного при работе в приложении. Данный способ использует тот факт, что внутреннее состояние системы ограничений полностью определяется последовательностью вызовов API, поэтому достаточно повторить ту же последовательность вызовов с теми же данными, чтобы полностью воспроизвести проблему, возникшую при эксплуатации решателя приложением.

Обширная коллекция журналов образует базу тестовых примеров, которая является неотъемлемым инструментом для развития и контроля качества модуля C3D Solver. Каждая ревизия C3D Solver проверяется на тестовой базе журналов, что гарантирует сохранение результатов всех ранее сделанных исправлений и усовершенствований.

Таким образом, чтобы получить консультацию или решить проблемную ситуацию, связанную со встраиванием C3D Solver в приложение, достаточно временно включить режим журналирования, выполнить интересующий сценарий действий и переслать полученный файл с необходимыми комментариями или вопросами в техническую поддержку C3D Labs. После исправления ошибки соответствующий журнал добавляется в базу тестовых примеров.

S.1.15. Функции обратного вызова

Обратные вызовы – это отельный вид функций API C3D Solver, особенность которых в том, что они вызываются изнутри C3D Solver и могут быть определены на стороне приложения. Необходимость в таких функциях возникает, когда требуется предоставить решателю доступ к данным, хранящимся на стороне приложения, определить свойства геометрических объектов, а также в порядке обратной связи обеспечить решатель запросами, влияющими на ход вычислений. Обратные вызовы расширяют возможности для интеграции решателя с приложением, предоставляя еще один канал взаимодействия. Вся функции и типы данных для организации обратных вызовов собраны в отдельном заголовочном файле gce_callback.h.

Для того, чтобы функции обратного вызова, определенные пользователем, заработали для данной системы ограничений, необходимо их зарегистрировать с помощью вызова

GCE_result **GCE_Register**(GCE_system **gSys**, const GCE_callback_table & **cbTable**)

Входные данные:

- **gSys** – Система ограничений, которую будут обслуживать обратные вызовы;
- **cbTable** – таблица обратных вызовов, определяющая следующий набор функций:
- **gRegister** — функция вида void (***GCE_geom_registered**) (GCE_app_geom **ag**), вызывается решателем, когда геометрический объект пользователя регистрируется в системе **gSys** с помощью вызова **GCM_Bind**.
- **gUnregister** — функция вида void (***GCE_geom_unregistered**) (GCE_app_geom **ag**), вызывается для геометрического объекта **ag** в тот момент времени, когда геометрический решатель освобождает объект **ag**, прекращая с ним всякую работу. Данное событие наступает при таких прямых вызовах, как **GCE_RemoveGeom**, **GCE_RemoveSystem** или **GCE_ClearSystem**.
- **abortFunc** – функция запроса на прерывание вычислений. Это булевозвратная функция вида bool (***GCE_abort**)(), которая время от времени вызывается в решателе в процессе работы **GCE_Evaluate** и прекращает вычисления, если функция вернет значение **true**. Функция

GCE_Evaluate, работа которого была прервана таким образом, вернет код ошибки **GCE_RESULT_Aborted**.

- **allowZeroRadius** — Функция обратного вызова вида bool (***GCE_allow_zero_radius**) (GCE_app_geom **ag**), которая сообщает системе ограничений о том, что окружность **ag** допускает решение, при котором ее радиус равен нулю.

Возвращаемое значение:

- **GCE_RESULT_Ok**, если таблица обратных вызовов была успешно зарегистрирована для системы ограничений;
- **GCE_RESULT_None**, если регистрация обратных вызовов не выполнена.

Замечание

Для корректной работы решателя вызов **GCE_Register** следует вызвать однократно для одной и той же системы ограничений, в тот момент, пока она еще пуста, например сразу после **GCE_CreateSystem**.

S.2. ДВУМЕРНЫЕ РАЗМЕРЫ

Размеры представляют собой ограничения, связывающие геометрические объекты с числовым параметром (значением размера). Каждый размер измеряет какую-то числовую характеристику геометрии, например, расстояние между точками, угол между прямыми, радиус окружности. Логические ограничения отличаются от размеров тем, что не имеют ни одного числового аргумента. Каждый размер всегда имеет, кроме геометрических аргументов, один числовой (скаляр).

О том, как с помощью параметров и размеров можно управлять геометрией эскиза, обсуждается в параграфе S.2.2. Управляющие и вариационные размеры.

S.2.1. Вспомогательные точки линейного размера

Линейные размеры (distance dimension) для некоторых типов объектов, а также диаметральные размеры не могут быть однозначно заданы без дополнительного указания точек приложения размера. Например, расстояние от окружности до отрезка прямой может измеряться двумя способами: от «дальней» точки приложения к окружности до отрезка либо от «ближней» точки до отрезка, см. рис. S.2.1.1. Понятия «дальний» и «ближний» взяты в кавычки, т.к. ситуация может поменяться при варьировании размера и тогда «дальняя точка» станет ближе к отрезку, чем «ближняя».

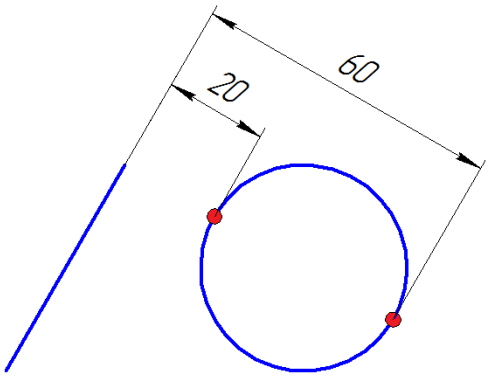


Рис S.2.1.1.

Для однозначного определения размера потребуется с помощью вызова **GCE_AddPoint** создать вспомогательную точку, из которой начинается выносная линия размера со стороны окружности. Дескриптор этой точки будет использован в качестве вспомогательного при создании линейного размера. В примере, приведенном на рис. S.2.1.1., требуется только одна точка – на стороне окружности. В других случаях, таких как расстояние окружность-окружность, потребуется две вспомогательные точки, поскольку для пары окружностей возможны четырех варианта определения размера. На рис S.2.1.2. размеры на 30, 50, 60 и 90 показывают альтернативные варианты измерения расстояний между двумя окружностями и соответственно комбинации выбора пары вспомогательных точек на окружностях.

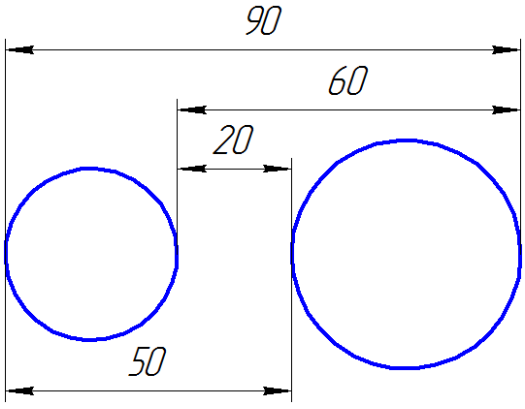


Рис S.2.1.2.

S.2.2. Управляющие и вариационные размеры

Размеры отличаются от логических ограничений (параллельность, перпендикулярность и т.д.) тем, что они связаны с числовой величиной (скаляром) – *значением размера*. Значение размера можно задать двумя способами:

- **Управляющий размер**. Значение размера задается независимым числовым параметром, который дается пользователем и может меняться только из вне через API решателя (вызов **GCE_ChangeDrivingDimension**). В этом случае размер не зависит от геометрии, а наоборот, геометрия подчиняется размеру также как геометрическому ограничению. Размеры с таким способом задания требуются для того, чтобы управлять геометрией с помощью размерных параметров, и называются соответственно **управляющими**.
- **Вариационный размер**. Значение размера задается числовой переменной, которая является таким же предметом вычислений решателя, как и геометрия. Фактически текущее значение будет ассоциировано с переменной, которая специально создается с помощью вызова **GCE_AddVariable**, и может быть повторно применена в других размерах или уравнениях. Значение переменой размера может меняться под влиянием геометрии. Такой способ задания применяется в тех случаях, когда требуется не установить размер, а измерить его. Размеры, связанные с варьируемой переменной, называются **вариационными**.

Иногда требуется создать *вариационный* размер, действующий, как *управляющий*, особенно когда необходимо управлять одновременно двумя и более размерами, завязанными на один числовой параметр. В этом случае можно создать один или несколько вариационных размеров с одной переменной, которую можно сделать *управляющим параметром* с помощью вызова:

constraint_item **GCE_FixVariable**(GCE_system **gSys**, var_item **var**),

где **var** – дескриптор переменной размера.

Функция вернет ограничение «*управляющий параметр*», фиксирующее переменную **var** с её текущим значением. После вызова **GCE_FixVariable** переменная фактически становится независимым параметром системы ограничений и может меняться только извне, с помощью вызова **GCE_ChangeDrivingDimension**, примененным к дескриптору полученного ограничения.

Варьирование управляющими размерами и параметрами осуществляется с помощью метода

GCE_result **GCE_ChangeDrivingDimension**(GCE_system **gSys**, constraint_item **dItem**, double **dVal**).

Входными параметрами метода являются:

- **gSys** – система ограничений параметрического эскиза;
- **dItem** – дескриптор управляющего размера или управляющего параметра;
- **dVal** – требуемое значение управляющего размера или управляющего параметра.

Функция вернет код GCE_RESULT_Ok, если операция выполнена успешно. Если функция вернет код ошибки (отличный от GCE_RESULT_Ok), это может быть связано с одной из следующих причин:

- Недействительные дескрипторы системы или ограничения **gSys** и **dItem**;
- Присланное ограничение не является управляющим размером или управляющим параметром, например, если ограничение – вариационный размер;

Следует учитывать, что данная функция не выполняет вычислений, а только подготавливает изменение управляющего размера или параметра. Чтобы изменение вступило в силу, необходимо вызвать вычислительную функцию **GCE_Evaluate**. Если требуется изменить одновременно два и более управляющих размеров, следует сначала сделать серию подготовительных вызовов **GCE_ChangeDrivingDimension** на каждый управляющий параметр или размер, а затем одним вызовом **GCE_Evaluate** вычислить новое положение геометрии, подчиненное новому состоянию управляющих размеров или параметров.

S.2.3. Нулевые и знакопеременные размеры

Все типы линейных размеров (distance dimension) имеют непрерывную область, включающую нуль, отрицательные и положительные значения. На рис. S.2.3.1. изображен эскиз с размером, позиционирующим геометрию, как в положительной, так и в отрицательной области значений. Слева

эскиз имеет отрицательное значения размера, справа изображен тот же эскиз, которому поменяли знак размера с отрицательного на положительный.

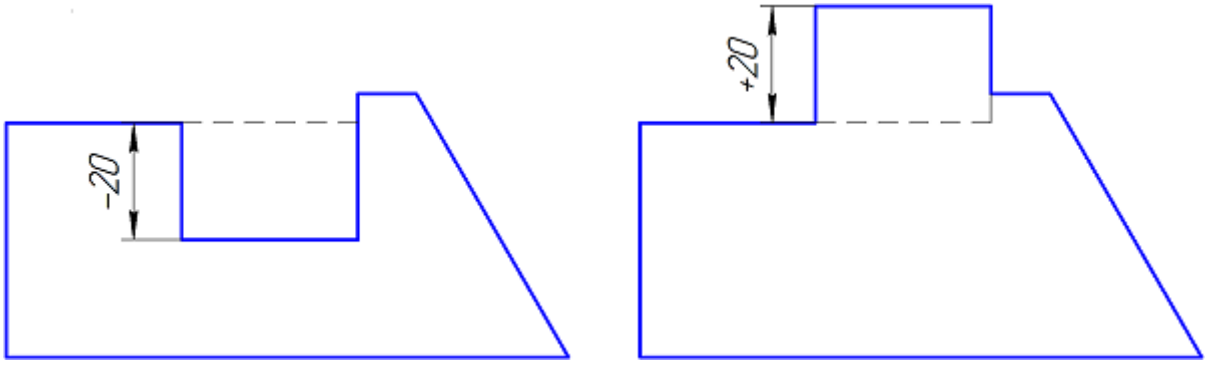


Рис.S.2.3.1.

Нулевые значения допустимо принимать всем видам линейных и угловых размеров, штриховой линией изображена геометрия в «нулевом» положении, когда значение размера равно нулю.

Знакопеременность свойственна прежде всего для размеров, заданных для ориентированного объекта, такого, как прямая, имеющая вектор нормали. Прямая делит пространство на две полуплоскости, поэтому, к примеру, линейный размер между прямой и точкой будет иметь разные знаки в зависимости от того, на какой стороне от прямой лежит точка. Точка, лежащая на прямой, будет соответствовать нулевому размеру.

Заметим, что расстояние от точки до точки по природе является неотрицательной величиной; несмотря на это, линейный размер, заданный для двух точек, может быть отрицательным или нулевым. Это вполне имеет практический смысл, когда мы имеем дело с параметрическим эскизом. Например, знакопеременный размер, проиллюстрированный на левом и правом эскизе из рис. S.2.3.1., можно задать, как ограничение «расстояние от точки до прямой», так и «расстояние от точки до точки». В обоих случаях его поведение будет одинаковым.

S.2.4. Линейный размер (расстояние)

Линейный размер задается для пары геометрических объектов. В таблице S.2.4.1 приведены пары типов геометрии, которые поддерживает C3D Solver применительно к линейному размеру.

Таблица S.2.4.1. Пары геометрических объектов, поддерживаемых для линейного размера

	Точка	Прямая	Окружность	Эллипс	Сплайн	Параметрическая кривая
Точка	√	√	√			
Прямая	√	√	√			
Окружность	√	√	√			
Эллипс						
Сплайн						
Параметрическая кривая						

Любой линейный размер, вне зависимости от типов кривых, для которой он применен, измеряет расстояние между точками, лежащими на кривых. Обычно это точки с минимальным расстоянием между объектами. Однако можно выбрать другие пары точек для измерения размера. На рис S.2.1.2. из параграфа S.2.1. Вспомогательные точки линейного размера показан пример четырех вариантов линейного размера для одной и той же пары окружностей.

Линейный размер для пары геометрических объектов задается методом

constraint_item **GCE_AddDistance**(GCE_system **gSys**, geom_item **g**[2],

const GCE_ldim_pars & **dPars**);

Возвращаемое значение функции – дескриптор линейного размера, заданного для объектов **g**[0] и **g**[1], принадлежащих системе ограничений **gSys**.

Структура параметров **dPars** определяет следующие настройки линейного размера:

- **dPars.dPars** – задает значение размера, который может быть, как независимым параметром, так и переменной;
- **dPars.hp**[2] – пара вспомогательных точек, задающих вариант измерения, когда это требуется (подробнее см. параграф S.2.1. Вспомогательные точки линейного размера).

Параметр **dPars.dPars** фактически определяет источник значения размера. Если **dPars.dPars.var** = GCE_NULL_V, то значение размера определяется независимым числовым параметром **dPars.dPars.dimValue**, что делает размер управляющим. Если в **dPars.dPars.var** задан дескриптор переменной, то размер является вариационным. Подробнее об управляющих и вариационных размерах обсуждалось в параграфе S.2.2. Управляющие и вариационные размеры.

Пара дескрипторов вспомогательных точек **dPars.hp**[2] не является обязательной, если вариант измерения размера однозначен, как например, расстояние от точки до прямой, либо оставляется на выбор решателя, который подберет вариант измерения наиболее близкий к текущим расположению объектов и значению размера. В этом случае по умолчанию **dPars.hp**[2] равен паре «нулевых» дескрипторов {GCE_NULL, GCE_NULL}. Если одна или обе вспомогательные точки **dPars.hp**[0] и **dPars.hp**[1] заданы, то координаты этих точек будут указывать линейному размеру вариант измерения. Подробнее о выборе варианта измерения обсуждается в параграфе S.2.1. Вспомогательные точки линейного размера.

S.2.5. Направленный линейный размер

Обычный линейный размер измеряет расстояние между точками, лежащими на геометрических объектах. Направленный линейный размер также задается для пары точек, однако расстояние измеряется между проекциями точек вдоль прямой с конкретным направлением. В основном данный тип размера используется для создания вертикальных и горизонтальных размеров, которые задают расстояние между точками в проекции на оси «X» или «Y». На рис. S.2.5.1. показаны примеры вертикального и горизонтального размеров для пары точек. В общем случае направление размера может быть произвольным.

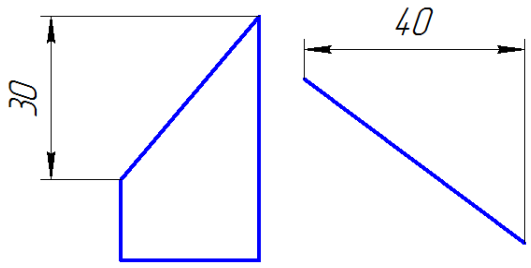


Рис. S.2.5.1.

Также направленный размер предусматривает определенное поведение при геометрической трансформации эскиза методом GCE_Transform. Направленный размер повернется, если матрица трансформации будет содержать ротационный компонент.

Направленный размер создается с помощью метода

constraint_item **GCE_AddDirectedDistance**(GCE_system **gSys**, geom_item **p**[2],
const GCE_ldim_pars & **dPars**).

Возвращаемое значение функции – дескриптор наклонного размера.

Входными параметрами метода являются:

- **gSys** – система ограничений параметрического эскиза;
- **p**[2] – дескрипторы двух точек;
- **dPars** – структура данных, в которой кроме обычных настроек, свойственных линейным размерам (см. аналогичные настройки для метода GCE_AddDistance), дополнительно задается угловое направление размера **dPars.dirAngle**. Например, если требуется задать

горизонтальный размер, то **dPars.dirAngle = *0***; если требуется задать *вертикальный* размер, то **dPars.dirAngle = *π/2***. В общем случае значение **dPars.dirAngle** берется от ***0*** до ***2π***.

Замечание. В текущей версии C3D Solver направленный размер можно задать только для точек.

S.2.6. Расстояние от точки до отрезка

Расстояние от точки до отрезка – это линейные размер, вовлекающий тройку точек, из которых две точки задают прямолинейный отрезок, от которого измеряется расстояние до третьей точки. Данный тип размера создается с помощью метода

constraint_item **GCE_AddDistancePLs**(GCE_system **gSys**, geom_item **p**[3],
const GCE_dim_pars & **dPars**).

Особенность данного ограничения в том, что он требует ненулевую длину отрезка. Это означает, что линейный размер перестанет работать, если две точки, задающие отрезок, совпадут. Размер может быть применен, когда требуется задавать линейный размер только по точкам, без наличия линейного объекта, однако если этого не требуется, то рекомендуется использовать функцию **GCE_AddDistance**, которой будет достаточно для создания практически всех вариантов линейных размеров.

S.2.7. Угловые размеры

Угловой размер задается для двух геометрических объектов, имеющих направляющие вектора. Значение углового размера задается в радианах с областью значений от ***0*** до ***2π*** и определяется углом, измеряемым против часовой стрелки, между направляющими векторами первого и второго объектов. Угловой размер с таким способом измерения показан на рис. S.2.7.1. на примере двух пересекающихся прямых с данными направлениями. Справа на рис. *S.2.7.2.* показана пара прямых, имеющих тот же угол между векторами, однако размер охватывает обратный сектор угла. Значение такого размера определяется по формуле ***D = 2π - α***, где ***α*** – измерительное значение угла между векторами, а ***D*** – значение размера**.** Данный размер также называется сопряженным (conjugate), по другому его можно получить, просто поменяв местами аргументы углового размера.

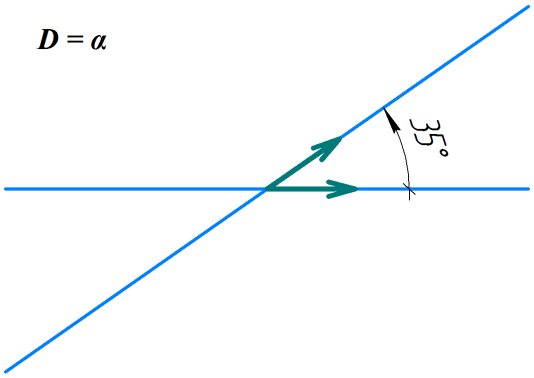


Рис. S.2.7.1.

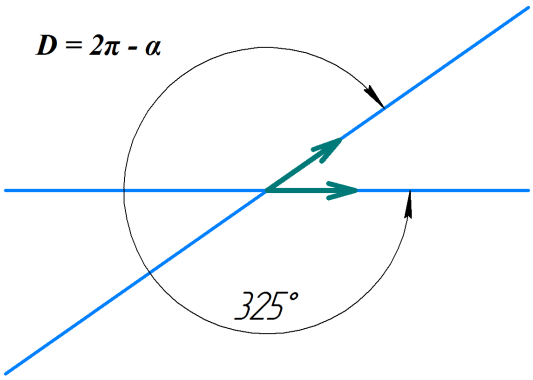


Рис. S.2.7.2.

Всего для одной и той же пары направлений, включая два рассмотренных выше, возможны четыре варианта задания углового размера. На рис. S.2.7.3. изображен размер, значение которого определяется по формуле смежного (adjacent) угла ***D = π - α***. На рис. S.2.7.4. справа показан альтернативный вариант смежного угла, который определяется суммой ***D = π + α.***

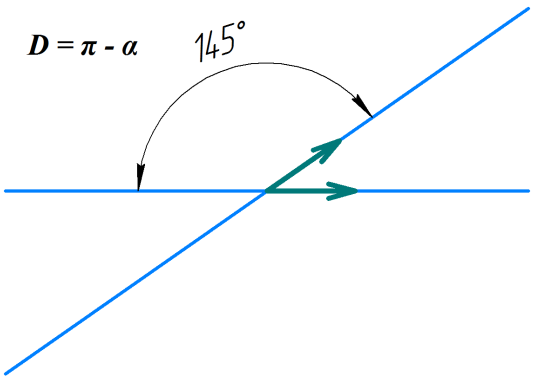


Рис. S.2.7.3.

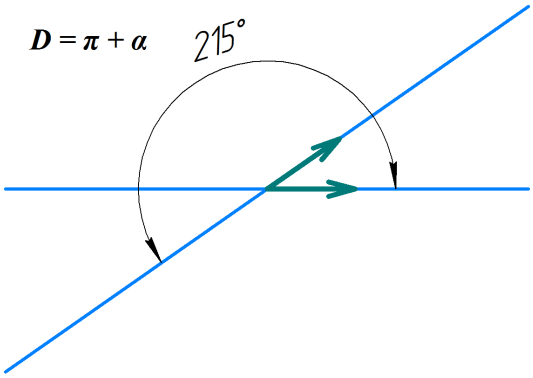


Рис. S.2.7.4.

Еще одна полезная закономерность, связанная с четырьмя способами задания углового размера, состоит в том, что размер со значением ***D = 2π - α*** получается из размера ***D=α***, если просто поменять местами первый и второй объекты размерного ограничения. Аналогично, переменой местами аргументов, получается 4-й вариант (***D = π + α***) из 3-го варианта (***D = π - α***).

Угловой размер для пары направленных объектов, таких, как отрезок, прямая или эллипс, задается методом

constraint_item **GCE_AddAngle**(GCE_system **gSys**,
geom_item **l1**, geom_item **l2**,
const GCE_adim_pars & **dPars**).

Функция создаст в системе ограничений **gSys** новый угловой размер, заданный для геометрических объектов **l1** и **l2.** Значение размера и способ его задания определяется структурой **dPars**.

Возвращаемое значение – дескриптор нового углового размера.

Структура **dPars** определяет значение углового размера, заданного через структуру **dPars.dPars** (**GCE_dim_par**), в которой значение размера хранится в переменной **dPars.dPars.var** либо, в случае **dPars.dPars.var = GCE_NULL_V**, значение размера задано независимым числовым параметром **dPars.dPars.dimValue**, что делает размер управляющим. Подробнее об управляющих и варьируемых разделах рассмотрено в параграфе S.2.2. Управляющие и вариационные размеры.

Если параметр **dPars.adjacent = false**, то значение размера будет определяться формулой $D = f \cdot \alpha$. Множитель ***f*** в данной формуле задается параметром **dPars.factor** и позволяет задавать угловой размер в других единицах. Например, если **dPars.factor = 180/π**, то приложение получает возможность задавать угловой размер в градусах. Что бы задать угловой размер со значением $D = f \cdot (2\pi - \alpha)$, необходимо поменять местами аргументы **l1** и **l2**.

Для определения угловых размеров со смежным вариантом угла, показанных на рис. S.2.7.3. и рис. S.2.7.4., необходимо задать флаг **dPars.adjacent = true**, в этом случае значение размера будет определять по формулам $D = f \cdot (\pi - \alpha)$ или $D = f \cdot (\pi + \alpha)$. Вторая формула получается, если поменять местами аргументы **l1** и **l2**. Множитель ***f*** также задается параметром **dPars.factor**.

S.2.8. Угловой размер по трем или четырем точкам

C3D Solver также предоставляет еще один способ определения углового размера, для которого направляющие вектора определяются парами точек. Этот же способ позволяет задавать угловой размер по трем точкам, которые определяют угол измерительного треугольника.

Угловой размер по тройке или четверке точек создается с помощью метода

constraint_item **GCE_AddAngle4P**(GCE_system **gSys**, geom_item **fPair**[2],
geom_item **sPair**[2], const GCE_adim_pars & **dPars**).

Пары точек, заданные дескрипторами **fPair** и **sPair**, определяют измерительные вектора углового размера. Вектор, построенный от точки **fPair**[0] до точки **fPair**[1], определяет первую сторону угла,

вектор от **sPair**[0] до **sPair**[1], определяет вторую сторону угла. На рис.2.8.1. показаны измерительные углы размера для трех точек (слева) и четырех точек (справа). Чтобы задать размер по трем точкам, необходимо точку вершины угла задать дважды, в первой и во второй паре, например, **fPair**[0]=**sPair**[0].

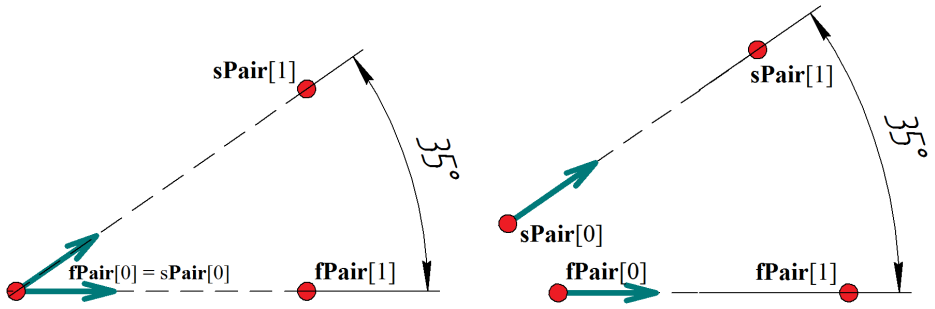


Рис.2.8.1.

Остальные параметры функции **GCE_AddAngle4P** задаются аналогично **GCE_AddAngle.**

S.2.9. Радиальные и диаметральные размеры

Данные типы размеров действуют для окружностей или дуг и задают соответственно радиус окружности или диаметр, равный удвоенному значению радиуса. Радиальные и диаметральные размеры, как и линейные так и угловые, могут быть ассоциированы с независимым числовым параметром или скалярной переменной, т.е. быть *управляющими* или *вариационными*, что настраивается структурой GCE_dim_pars.

Радиальный размер создается методом:

constraint_item **GCE_AddRadiusDimension**(GCE_system **gSys,**
geom_item **cir,**
GCE_dim_pars **dPar**).

Диаметральный размер создается методом:

constraint_item **GCE_AddDiameter**(GCE_system **gSys,**
geom_item **cir,**
GCE_dim_pars **dPar**).

Оба метода имеют одинаковые исходные данные:

- **gSys** – система геометрических ограничений, где регистрируется новый размер;
- **cir** – дескриптор окружности или дуги окружности;
- **dPars** – структура, которая определяет значение размера, заданного в единицах длины.

Значение размера хранится в переменной **dPars.var** либо, в случае **dPars.var = GCE_NULL_V**, значение размера задано независимым числовым параметром **dPars.dimValue**, что делает размер управляющим. Подробнее управляющие и варьируемые размеры рассмотрены в параграфе S.2.2. Управляющие и вариационные размеры.

S.3. ДВУМЕРНЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ

Логические ограничения, в отличие от размеров, не имеют числовых параметров и задаются только для геометрических объектов. C3D Solver позволяет задавать для геометрических объектов такие логические ограничения, как горизонтальность/вертикальность, совпадение, параллельность/перпендикулярность, касание, равенство радиусов и т. д.

S.3.1. Совпадение точки и другого объекта

В случае, когда два геометрических объекта имеют один и тот же тип, ограничение совпадение подразумевает равенство двух геометрических объектов. Однако, в настоящей версии C3D Solver данное ограничение действительно только, когда один из аргументов является точкой.

Если один из аргументов совпадения точка, а другой – кривая, то ограничение определит точку, лежащую на кривой. Ограничение совпадение задается вызовом метода

constraint_item **GCE_AddCoincidence**(GCE_system **gSys**, geom_item **g**[2]).

Функция добавит в систему **gSys** ограничение совпадения двух геометрических объектов **g**[0] и, **g**[1] и вернет его дескриптор.

S.3.2. Выравнивание точек

Данный тип ограничения чаще всего используется для выравнивания пары точек по горизонтали или по вертикали, в общем случае, данное ограничение будет размещать точки на воображаемой прямой с заданным угловым направлением.

Выравнивание точек задается вызовом метода

constraint_item **GCE_AddAlignPoints**(GCE_system **gSys**, geom_item **p**[2], double **ang**).

Функция вернет дескриптор нового ограничения, зарегистрированного в системе **gSys**.

Параметры пары **p**[0] и **p**[1] задают дескрипторы выравниваемых точек, а параметр **ang** задается в радианах и определяет направление, вдоль которого будут выравниваться точки. Например, угловое направление **ang**=***0*** будет соответствовать выравниванию точек по горизонтали, значение **ang**= ***π/2*** будет соответствовать выравниванию по вертикали.

S.3.3. Параллельность/перпендикулярность

Ограничения параллельность и перпендикулярность задаются для пары прямых или отрезков с помощью методов:

constraint_item **GCE_AddParallel**(GCE_system **gSys**, geom_item **g**[2]),
constraint_item **GCE_AddPerpendicular**(GCE_system **gSys**, geom_item **g**[2]),

которые принимают следующие исходные данные:

- **gSys** – система геометрических ограничений,
- **g**[2] – пара прямолинейных кривых.

Возвращаемый результат – дескриптор геометрического ограничения, зарегистрированного в системе **gSys**.

S.3.4. Коллинеарность

Коллинеарность подразумевает, что геометрические объекты, участвующие в данном ограничении, лежат на одной прямой. Коллинеарность можно задать как для двух геометрических объектов, так и для трех точек. Коллинеарность для пары геометрических объектов создается вызовом метода

constraint_item **GCE_AddColinear**(GCE_system **gSys**, geom_item **g**[2]),

который требует, чтобы один из аргументов ограничения был прямолинейным, а другой являлся либо прямой, либо точкой. Геометрические аргументы задаются парой **g**[2]. Функция вернет дескриптор нового ограничения, зарегистрированного в системе **gSys**.

Коллинеарность для трех точек создается вызовом метода

constraint_item **GCE_AddColinear3Points**(GCE_system **gSys**, geom_item **p**[3]).

Через параметр **p**[3] передаются дескрипторы трех точек, которые требуется разместить на одной прямой. Функция вернет дескриптор нового ограничения, зарегистрированного в системе **gSys**.

S.3.5. Равенство длин и радиусов

Обе функции, которые создают ограничения равенство длин и равенство радиусов, принимают одинаковые типы данных: система ограничений и пара геометрических объектов. Геометрическое условие, задающее равенство длин двух ограниченных кривых (bounded curve), создается методом

constraint_item **GCE_AddEqualLength**(GCE_system **gSys**, geom_item **g1**, geom_item **g2**).

В настоящей версии C3D Solver данный метод действует только для пары отрезков. Аргументы ограничения задаются дескрипторами отрезков **g1** и **g2**. Функция вернет дескриптор нового ограничения, зарегистрированного в системе **gSys**. Равенство радиусов для двух окружностей или дуг задается вызовом метода

constraint_item **GCE_AddEqualRadius**(GCE_system **gSys**, geom_item **c1**, geom_item **c2**),

принимающим соответственно систему ограничений **gSys**, дескриптор первой окружности или дуги **c1** и дескриптор второй окружности **c2**. Функция вернет дескриптор нового ограничения, зарегистрированного в системе **gSys**.

S.3.6. Унарные ограничения: горизонтальность/вертикальность и варианты фиксации

Такие ограничения, как горизонтальность, вертикальность, фиксация объекта, фиксация длины и фиксация направления действуют для одного геометрического объекта, а значит являются ***унарными***. Для создания одного из этих ограничения необходимо вызвать функцию

constraint_item **GCE_AddUnaryConstraint**(GCE_system **gSys**, constraint_type **cType**,
geom_item **geom**).

Функция добавит в систему **gSys** унарное ограничение для геометрического объекта **geom**. Параметр **cType** задает перечислительный тип унарного ограничения и может принимать одно из значений, приведенных в таблице S.3.6.1.

Таблица S.3.6.1. Типы унарных ограничений

Тип ограничения	Описание
GCE_FIX_GEOM	**Фиксация геометрического объекта** делает объект неподвижным. Решатель не может поменять состояние данного объекта при вычислениях. Фиксированный геометрический объект может быть изменен только приложением с помощью вызовов GCE_SetPointXY и GCE_SetCoordValue.
GCE_HORIZONTAL	**Горизонтальность** и **вертикальность** применяются для типов прямая и отрезок прямой. Эти ограничения выравнивают линейный объект с системой координат эскиза: соответственно горизонтальность по оси OX, вертикальность по оси OY. Заметим, что данные ограничения допускают переворот направляющего вектора прямой на 180 градусов.
GCE_VERTICAL	
GCE_ANGLE_OX	Данное ограничение фиксирует угловое положение прямой или отрезка. Ограничение типа GCE_ANGLE_OX подробнее рассмотрено в параграфе S.3.9. Ограничение угловое положение**.**

GCE_LENGTH	Данное ограничение фиксирует длину отрезка прямой. Подробнее см. параграф S.3.7. Фиксация длины.
GCE_RADIUS_DIM	Данное ограничение подробно рассмотрено в параграфе S.3.8. Фиксация радиуса. Применительно к вызову GCE_UnaryConstraint данный тип ограничения действует только для окружности. Для применения к эллипсу следует вызывать GCE_FixRadius.

S.3.7. Фиксация длины

Предполагается, что данное ограничение фиксирует длину кривой, имеющей начало и конец (spline, bounded curve), однако, в настоящей версии C3D Solver применяется только для отрезка прямой. Фиксация длины является размерным ограничением, поэтому допускает изменение значения длины методом GCE_ChangeDrivingDimension.

Фиксация длины осуществляется вызовом метода

constraint_item **GCE_FixLength**(GCE_system **gSys**, geom_item **ls**).

S.3.8. Фиксация радиуса

Ограничение фиксация радиуса применяется для окружности или эллипса. C3D Solver не может менять радиус окружности или эллипса, если для объекта задано ограничение фиксация радиуса. Приложение может работать с данным ограничением, как с управляющим размером, допускающим варьирование радиуса методом **GCE_ChangeDrivingDimension**. Применительно к окружности данное ограничение является аналогом управляющего радиального размера, рассмотренного в параграфе S.2.9. Радиальные и диаметральные размеры. Фиксация радиуса осуществляется вызовом метода

constraint_item **GCE_FixRadius**(GCE_system **gSys**, geom_item **g**, coord_name **cName** = GCE_RADIUS).

Исходные данные вызова:

- **gSys** – система геометрических ограничений;
- **g** – дескриптор окружности или эллипса;
- **cName** – тип радиуса, принимающий следующие значения: GCE_RADIUS – значение по умолчанию для окружности; GCE_MAJOR_RADIUS или GCE_MINOR_RADIUS, означающие фиксацию радиуса на главной или минорной оси эллипса.

Возвращаемый результат – дескриптор ограничения, фиксирующего радиус окружности или эллипса.

S.3.9. Ограничение угловое положение

Ограничение угловое положение применяется для типов прямая и отрезок прямой. Фактически данный тип ограничения является размерным и создает управляющий размер, фиксирующий угловое положение линейного объекта в его начальном состоянии относительно оси OX общей системы координат эскиза. Угловое положение измеряется в диапазоне от 0 до 2π. Чтобы создать фиксацию направления, необходимо вызвать **GCE_AddUnaryConstraint**, задав тип ограничения GCE_ANGLE_OX. В отличие от GCE_HORIZONTAL и GCE_VERTICAL, данный тип ограничения не допускает переворот направляющего вектора прямой на 180 градусов. Поскольку данное ограничение размерное, угловое положение прямой можно менять с помощью вызова GCE_ChangeDrivingDimension.

S.3.10. Касание

Касание – это геометрическое ограничение, позиционирующее пару кривых таким образом, что они буду касаться в одной точке. В таблице S.3.10.1. приведены поддерживаемые пары кривых касания.

Таблица S.3.10.1. Пары кривых, поддерживаемых ограничением касания

	Прямая	Окружность	Эллипс	Сплайн	Параметрическая кривая
Прямая		√	√	√	√
Окружность	√	√	√	√	√
Эллипс	√	√		√	
Сплайн	√	√	√	√	
Параметрическая кривая	√	√			

Выбор варианта касания. На рис. S.3.10.1. изображены два примера касания для пар окружность-окружность и окружность-прямая. Штриховой линией изображены окружности с альтернативным вариантом касания. Рисунок наглядно показывает, что любое касание может иметь два решения. Например, окружности могут касаться, оставаясь снаружи друг друга, либо одна внутри другой; в другом примере, на рис. S.3.10.1. справа показано, что при касании прямой и окружности возможны два варианта их взаимного размещения, «слева» и «справа» от прямой.

Рис.S.3.10.1.

Геометрический решатель GCE осуществляет выбор одного из двух вариантов касания, руководствуясь принципом «близости к желаемому решению». Фактически сами объекты касания указывают на выбор одного из двух вариантов взаимного размещения. В момент создания ограничения решатель «запоминает» текущее взаимное размещение объектов и сохраняет его при дальнейших изменениях геометрии эскиза (см. параграф S.3.15. Взаимное размещение объектов).

Вспомогательные параметры касания. Рассмотренный выше подход к выбору варианта касания на практике достаточен, если мы имеем дело только с аналитическими кривыми (прямая, окружность, эллипс). Для кривых с произвольной формой, таких как сплайн или параметрическая кривая, кроме выбора «стороны» взаимного размещения, необходимо указать локализацию точки касания вдоль кривых.

На рис. S.3.10.2. показан пример, где уже сделан выбор взаимного размещения прямой и сплайна (сонаправленность кривых в точке касания), однако этот выбор оставляет другие варианты локализации точек соприкосновения. Переменные t1 и t2, взятые на параметрической области сплайна, указывают две альтернативные точки касания сплайна и отрезка, один конец которого закреплен.

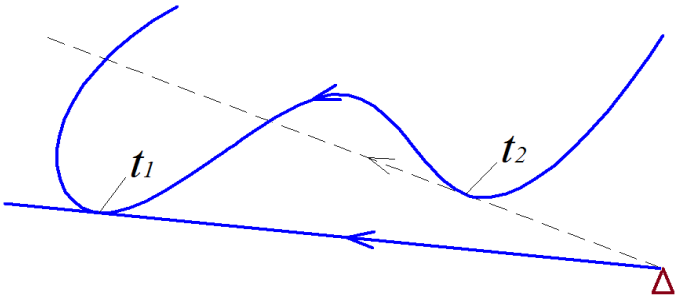


Рис.S.3.10.2.

Для локализации точек касания на сплайне или параметрической кривой заводят вспомогательные переменные, указывающие в параметрической области кривой предполагаемую точку касания. В конечном приложении пользователя это обычно реализуется так, что пользователь выбирает «указателем» объект касания, а координаты указателя рассматриваются, как приблизительная точка предполагаемого касания. Зная координаты указателя, можно оценить приблизительное значение параметра касания (параметр ближайшей точки на кривой).

Создание ограничения касания. Ограничение касания задается вызовом метода

constraint_item **GCE_AddTangent**(GCE_system **gSys**, geom_item **g**[2]**,** var_item **tPar**[2]).

Входными параметрами метода являются:

- **gSys** – система ограничений параметрического эскиза;
- **g**[2] – дескрипторы двух кривых;
- **tPar**[2] – дескрипторы переменных, вспомогательные параметры касания для первой и второй кривой.

Функция возвращает дескриптор нового ограничения касания, созданного для данной пары кривых. Значения вспомогательных параметров **tPar**[0], **tPar**[1] принимаются во внимание только, если соответственно первая или вторая кривая является сплайном или параметрической кривой. Для аналитических кривых (прямая, окружность, эллипс) следует передать пустой дескриптор GCE_NULL_V. Например, в **tPar** можно передать массив {GCE_NULL_V,GCE_NULL_V}, если обе кривые аналитические. Если касание задается для сплайна или параметрической кривой, то для ограничения заводится вспомогательная переменная с помощью вызова **GCE_AddVariable**. Начальное значение переменной будет указывать на предполагаемую точку касания в параметрической области кривой. Надо заметить, что любая переменная, как и геометрические объекты, является предметом вычислений, поэтому её значение будет обновляться при всех вычислительных запросах решателя (GCE_Evaluate, см. параграф S.4.1. Вычисление системы ограничений), т.е. фактически решатель будет отслеживать актуальное значение параметра касания. Если для сплайна или параметрической кривой **tPar**[idx] = GCE_NULL_V, то локализация точки касания будет выполнена автоматически, по принципу близости к начальному положению объектов.

S.3.11. Множественные и концевые касания

Геометрический решатель GCE поддерживает множественные касания, т.е. имеется возможность задать два и более ограничений касания для одной и той же пары кривых, в которых участвуют сплайны или параметрические кривые. На рис. S.3.11.1 изображены горизонтальная прямая и сплайн, для которых заданы два ограничения касания, имеющих различные точки соприкосновения.

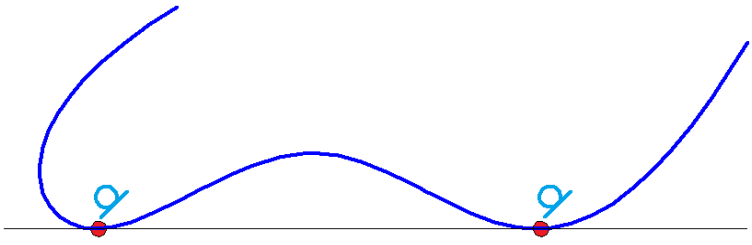


Рис.S.3.11.1.

Заметим, что в случае, когда пара касания состоит только из аналитических кривых (прямая, окружность, эллипс), возможно задать только единственное ограничение касания для одной и той же пары.

Концевое касание с непрерывностью G1 – характерный случай касания с участием сплайна, когда точка соприкосновения совпадает с одним из концов сплайна. В параметрическом черчении концевые касания позволяют создать гладкую стыковку двух кривых, с непрерывностью типа **G1**. На

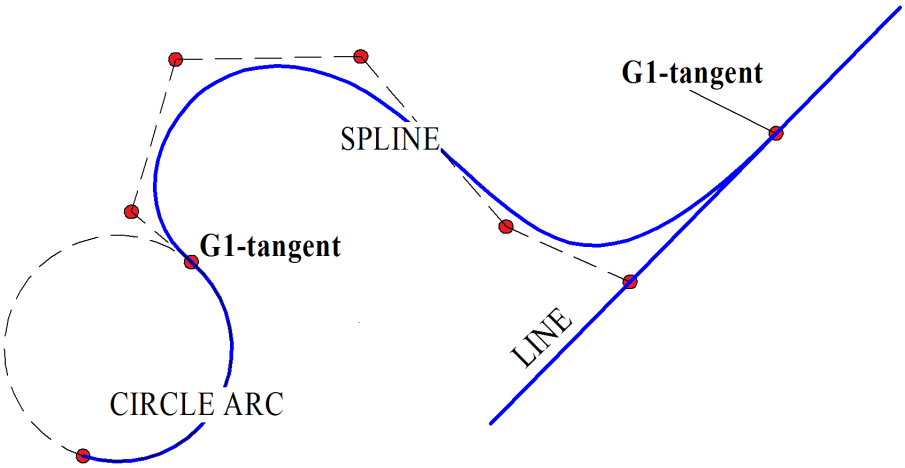


рис S.3.11.2. приведены случаи гладкой стыковки сплайна с другими кривыми.

Рис S.3.11.2.

Метод **GCE_AddTangent** воспринимает касание на конце незамкнутого сплайна, как особый случай, и автоматически добавляет к касанию условие принадлежности конца сплайна к другой кривой касания. Таким образом, если в общем случае, точка касания имеет свободу перемещения вдоль сплайна, то в случае концевого касания, точка касания прикрепляется к одному из концов сплайна.

Концевое касание можно создать одним из следующих способов:

- Передать в метод **GCE_AddTangent** вспомогательный параметр сплайна **tPar**[splineIdx], равный параметру начала или конца сплайна.
- Вызвать метод **GCE_AddTangent** без вспомогательного параметра касания, т.е **tPar**[splineIdx]=GCE_NULL_V, но концевая точка касания сплайна должна лежать на другой кривой касания. Это можно обеспечить в момент создания сплайна или предварительно выполнить совпадение конца сплайна с другой кривой с помощью вызова **GCE_AddIncidence** и последующего вызова **GCE_Evaluate**.

S.3.12. Зеркальная симметрия

Зеркальная симметрия задается для тройки геометрических объектов. Первый и второй объекты являются зеркальным отражением друг друга, относительно третьего объекта – прямой, определяющей ось симметрии.

Ограничение симметрии создается вызовом метода

constraint_item **GCE_AddSymmetry**(GCE_system **gSys**, geom_item **g**[2], geom_item **lObj**).

S.3.13. Биссектриса

Ограничение биссектриса применяется для тройки линейных объектов, из которых первые два делят плоскость на четыре сектора, а третий объект – ось, делит выбранный сектор пополам. Биссектриса задается с помощью метода

constraint_item **GCE_AddAngleBisector**(GCE_system **gSys,**
geom_item **l1**, geom_item **l2,**
geom_item **bl,**
GCE_bisec_variant **variant**).

Исходные данные метода:
gSys – система геометрических ограничений;
l1, l2 – пара прямолинейных объектов, делящих плоскость на секторы;
bl – биссектриса, прямая или отрезок прямой, делящей сектор между прямыми **l1** и **l2** пополам;
variant – выбор из трех вариантов, определяющий сектор биссектрисы:

- GCE_BISEC_CLOSEST выбирает один из секторов биссектрисы по относительному размещению объектов в начальном состоянии (см. параграф S.4.3. Начальное приближение);
- GCE_BISEC_PLUS – биссектриса делит сектор, на который указывает векторная сумма направлений **l1** и **l2**;
- GCE_BISEC_MINUS – биссектриса делит сектор, на который указывает векторная разница направлений **l1** и **l2.**

Функция возвращает дескриптор ограничения, которое объявляет, что объект **bl** является биссектрисой для сектора, образованного прямыми **l1** и **l2**.

Также следует заметить, что данное ограничение не утрачивает смысл, если прямые **l1** и **l2** не пересекаются. В этом случае биссектриса делит пополам часть плоскости, заключенной между прямыми **l1** и **l2**, располагаясь от них на равных расстояниях.

S.3.14. Средняя точка

Ограничение *средняя точка* задается для тройки точек, которые связаны тем, что третья точка располагается на середине отрезка, образованного первой и второй точками. Данное ограничение создается вызовом метода

constraint_item **GCE_AddMiddlePoint**(GCE_system **gcSys**, geom_item **pnt**[3]).

S.3.15. Взаимное размещение объектов

В параграфе S.3.10. Касание приведен пример касания окружности и прямой, которые могут иметь два варианта взаимного размещения, см. рис. S.3.10.1. C3D Solver запоминает взаимную ориентацию в момент создания ограничения и стремиться сохранить её при последующих изменениях. Аналогичный выбор может стоять для линейных и угловых размеров. Например, линейный размер для точки и прямой, предусматривает, что при одном и том же знаке размера точка будет всегда оставаться с одно и той же стороны от прямой (относительно нормали).

Сохранение взаимного размещения объектов поддерживается для таких ограничений, как *касание*, *линейный* и *угловой* размеры. Остальные ограничения, такие как *параллельность*, *перпендикулярность*, *коллинеарность* и прочие допускают смену взаимного размещения. Например, перпендикулярность двух прямых может сменить взаимное размещение с левой пары векторов на правую, так что угол между их направлениями может быть как 90, так и 270 градусов.

S.4. ВЫЧИСЛЕНИЕ И ДИАГНОСТИКА ДВУМЕРНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

S.4.1. Вычисление системы ограничений

Основная задача C3D Solver, удовлетворение системы ограничений эскиза, выполняется с помощью функции API

GCE_result **GCE_Evaluate**(GCE_system **gSys**),

которая возвращает код результат вычислений системы ограничений **gSys**.

Функция не будет затрачивать время на вычисления, если на момент её вызова все ограничения удовлетворены.

Возвращаемые значения:

- **GCE_RESULT_Ok** означает успешное решение системы ограничений, решатель присвоил всем геометрическим объектам новое состояние, удовлетворяющее все заданные ограничения системы.
- **GCE_RESULT_Overconstrained** означает, что при попытке вычисления обнаружены ограничения противоречащие друг другу, т.е. в системе ограничений присутствует подмножество, в котором ограничения не могут быть удовлетворены одновременно. Состояние геометрии не меняется.
- **GCE_RESULT_Not_Satisfied** означает, что функция не нашла решения, удовлетворяющего всем заданным ограничениям. Состояние геометрии не меняется. Данный диагностический код возвращается при следующих ситуациях:
  - Размер вышел за пределы области значений, допускающих существование решения;
  - Положения фиксированных или замороженных точек вышли за область, допускающую существования решения.
  - В редких случаях – плохое начальное приближение. Удовлетворение ограничений требует значительные изменение параметрических координат;
  - Сильные взаимные влияния. Например заданы такие условия, что изменение угла на один градус приводит к смещению объекта на значительные расстояние.
  - В редких случаях – численная неустойчивость, обусловленная большим порядком разницы между объектами одного и того же чертежа, например размеры наименьшего и наибольшего объектов эскиза различаются более чем на 7 порядков (Например, один эллипс имеет размер 1 мм, а другой – 10 км.).
  - В общем случае – иные ситуации, когда решение не существует или не может быть вычислено.
- **GCE_RESULT_InvalidGeometry.** Найдено решение, которое приводит к вырождению геометрических объектов, такие как «отрезок или дуга нулевой длины», окружность или эллипс «нулевого радиуса». Состояние геометрии не меняется.

S.4.2. Изменение или получение состояния геометрии

Во время работы с геометрическими ограничениями приложение может осуществлять запрос состояния геометрии, вычисленное решателем, а решатель, в свою очередь, может передавать состояние координат объектов приложению.

Запрос состояния геометрии выполняют функции:

GCE_point **GCE_GetPointXY**(GCE_system **gSys**,
geom_item **g**,
point_type **pName** = GCE_PROPER_POINT);
double **GCE_GetCoordValue**(GCE_system **gSys**, geom_item **g**, coord_name **cName**);
double **GCE_GetVarValue**(GCE_system **gSys**, var_item **var**);

Для передачи состояния координат объектов из приложения в решатель используются функции:

```
bool        GCE_SetPointXY( GCE_system gSys,
                            geom_item g,
                            point_type pName,
                            GCE_point xyVal );
bool        GCE_SetCoordValue(  GCE_system gSys,
                                geom_item g,
                                coord_name cName, double crdVal );
bool        GCE_SetVarValue( GCE_system gSys, var_item var, double val );
```

S.4.3. Начальное приближение

Создание параметрического чертежа – это пошаговое внесение изменений, добавление или удаление объектов и ограничений, варьирование размеров. Каждый новый запрос на вычисление системы ограничений опирается на начальное состояние геометрических объектов, оставшееся в результате предыдущего запроса **GCE_Evaluate**.

Важно понимать, что начальное состояние геометрии является неотъемлемым условием задачи удовлетворения ограничений. Два эскиза, имеющие одинаковый набор геометрических объектов и ограничений, но отличающиеся начальным состоянием, могут иметь различные решения. C3D Solver принимает во внимание начальное состояние и стремится удовлетворить все заданные ограничения с минимальными отклонениями от начального приближения при минимальном количестве изменяемых объектов.

Начальное приближение имеет определяющее значение не только при запросе на вычисление, но и в момент создания ограничений. Взаимное размещение геометрических объектов показывает вариант формулировки ограничения. Например, если в момент создания касания двух окружностей (**GCE_AddTangent**), одна окружность располагается внутри другой, то решатель сформулирует касание, при котором одна окружность всегда будет оставаться внутри другой. Подробнее о взаимном размещении геометрических объектов см. параграф S.3.15. Взаимное размещение объектов.

S.4.4. Переопределенные совместные и несовместные системы ограничений

Многие практические эскизы оказываются переопределены лишними ограничениями. В самом простом случае ограничения могут дублировать друг друга, например, два касания для одной и той же пары окружностей. В более общем случае лишнее ограничение полностью удовлетворяется другими ограничениями, обеспечивающими его геометрическое условие. Например, если между двумя прямыми задана «перпендикулярность» и одновременно заданы «горизонтальность» для одной прямой и «вертикальность» для другой, то любое из эти трех ограничений можно считать лишним. C3D Solver исключает избыточные ограничения из вычислений. Данный тип переопределения имеет отношение к **совместным** системам, допускающим лишние ограничения, если они не противоречат друг другу.

Также переопределение может стать причиной **несовместности** системы ограничений, когда лишнее ограничение противоречит другим ограничениям, т.е. не может быть удовлетворено одновременно с другими. Для исправления данной ситуации необходимо удалить одно из ограничений, участвующих в группе избыточности. Когда лишнее ограничение является причиной несовместности системы, метод **GCE_Evaluate** возвращает код ошибки **GCE_RESULT_Overconstrained**.

Блокированные размеры. Рекомендуется избегать избыточности ограничений, даже если они не приводят к противоречиям. В частности, избыточные ограничения могут блокировать управляющие размеры, созданные для параметризации эскиза. Например, на рис S.4.4.1. слева изображен параметрический прямоугольник, который определен тремя управляющими размерами (это расстояния 40, 40 и 60) и попарными вертикальностями и горизонтальностями (символы V и H). В данном примере присутствует избыточная цепочка ограничений, включающая в себя два ограничения V, два ограничения H и два размера на 40. Вся цепочка удовлетворена, однако ни один из двух управляющих размеров на 40 не может быть изменен отдельно без соответствующего изменения другого. Для освобождения размера потребуется сделать выбор: удалить один из размеров на 40 или удалить одно из ограничений горизонтальность/вертикальность. Эскиз справа показывает выбор,

удаляющий вертикальность верхнего отрезка. Тогда все размеры можно менять. Заметим, что размер на 60 в цепочке избыточных ограничений не участвует, что говорит о том, что любое переопределение вовлекает какую-то группу ограничений, не обязательно весь эскиз, а какую-то его часть. Любой размер, попавший в группу переопределения становится блокированным. Диагностика блокированных размеров рассмотрена в параграфе S.4.10. Тест избыточности.

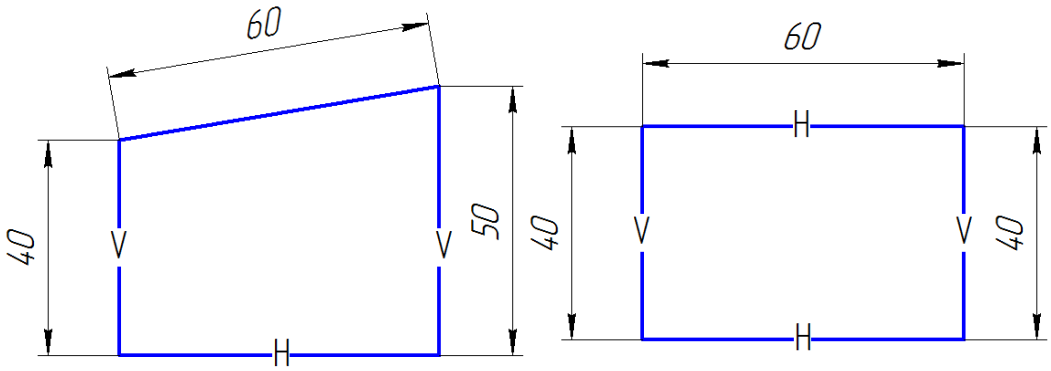


Рис S.4.4.1.

S.4.5. Недоопределенные системы ограничений

В предыдущем параграфе обсуждалась ситуация переопределения, когда в системе ограничений присутствует больше ограничений, чем необходимо. В данном параграфе обсуждается другая ситуация, естественная для процесса черчения, когда в эскизе остаются геометрические объекты, не полностью определенные ограничениями. В начале черчения эскиз может вообще не иметь ограничений, а все геометрические объекты будут иметь полную степень свободы. Соответственно, чем больше логических ограничений и размеров добавляется в эскиз, тем меньше степени свободы остается объектам. У полностью определенного эскиза не остается и одной степени свободы. Заметим, что в одном и том же эскизе одновременно могут быть обе ситуации – часть эскиза переопределена, остальная часть может быть недоопределена, и в тоже время, какая-то часть геометрии может быть определена полностью.

Большая часть методов решения, реализованных в C3D Solver, ориентирована именно на недоопределенные системы ограничений. Кроме того, используются некоторые преимущества недоопределенных случаев для разбиения системы ограничений в целом на последовательность подсистем размером меньше, вычисляемых одна после другой. В тех или иных ситуациях недоопределенности решатель выбирает одно из оптимальных решений, основываясь на следующих принципах:

Для удовлетворения ограничений меняется как можно меньше геометрических объектов;

Те геометрические объекты, которые затрагиваются решением, получают минимальное смещение от своего начального приближения (см.параграф S.4.3. Начальное приближение).

S.4.6. Анализ степеней свободы

В процессе параметрического черчения важно контролировать, какие из геометрических объектов эскиза уже полностью определены, а какие нуждаются в дополнительных ограничениях. В параграфе S.4.5. Недоопределенные системы ограничений обсуждались принципы выбора решения для тех геометрических объектов, которым не хватает ограничений, что бы однозначно определить свое состояние. Показать пользователю (визуализировать) недоопределенные геометрические объекты помогает функции анализа степеней свободы, одна из которых вычисляет степень свободы точки:

GCE_point_dof **GCE_PointDOF**(GCE_system **gSys**, geom_item **pnt**).

Данный метод позволяет определить текущую степень свободы точки, которая может быть контрольной точкой любого геометрического объекта, как например центр окружности или эллипса, контрольная точка сплайна, один из концов отрезка и т.д.

S.4.7. Информационные запросы

В данном параграфе приведен ряд функций, с помощью которых приложение может узнать различные сведения об объектах, зарегистрированных в системе ограничений, или результаты диагностики и вычислений. Эти функции предназначены для осуществления справочных запросов, поэтому их вызов не приведет к изменению состояния системы ограничений или отдельных её данных.

Тип геометрии. Тип геометрического объекта, зарегистрированного в системе ограничений, можно узнать с помощью функции

geom_type **GCE_GeomType**(GCE_system **gSys**, geom_item **g**),

значением которой является перечислительный тип геометрического объекта **g**, зарегистрированного в системе **gSys**.

Возвращаемые значения:

- GCE_POINT – двумерная точка;
- GCE_LINE – двумерная прямая;
- GCE_CIRCLE – двумерная окружность;
- GCE_ELLIPSE – двумерный эллипс;
- GCE_SPLINE – двумерный сплайн;
- GCE_PARAMETRIC_CURVE – двумерная параметрическая кривая общего вида;
- GCE_BOUNDED_CURVE – кривая, ограниченная концевыми точками.

Ниже приведен перечень функций для информационных запросов.

Тип базовой кривой возвращает функция
geom_type **GCE_BaseCurveType**(GCE_system gSys, geom_item crv).
Связность с ограничениями оценивает функция
bool **GCE_IsConstrainedGeom**(GCE_system gSys, geom_item g).
Удовлетворенность ограничения оценивает функция
bool **GCE_IsSatisfied**(GCE_system gSys, constraint_item cItem)
Вырожденные геометрические объекты возвращает функция
std::*vector*<geom_item> **GCE_DiagnoseGeometr**y(GCE_system gcSys).
Текущее заданное значение размера (не измеренное) возвращает функция
double **GCE_DimensionParameter**(GCE_system gSys, constraint_item dItem).
Оценку соответствия координат точки заданным ограничениям выдает функция
bool **GCE_CheckPointSatisfaction**(GCE_system gSys, geom_item pnt, point_type cp, double px, double py).
Состояние решения данного ограничения возвращает функция
GcConState **GCE_GetConstraintState**(GCE_system, constraint_item gc_item).
Состояние системы ограничений по результатам последнего решения возвращает функция
GcConstraintStatus **GCE_GetConstraintStatus**(GCE_system gSys).

S.4.8. Драггинг геометрических объектов

В данном параграфе приведены функции, обслуживающие режим для интерактивного манипулирования недоопределенным эскизом, называемым драггинг.

Инициализировать режим драггинга контрольной точки объекта:

GCE_result **GCE_PrepareDraggingPoint**(GCE_system gSys, GCE_dragging_point drgPnt, GCE_point curXY).

Инициализировать режим драггинга контрольной точки множества объектов:

GCE_result **GCE_PrepareDraggingPoint**(GCE_system gSys
, const std::*vector*<GCE_dragging_point> & cPntArr
, GCE_point curXY).

Инициализировать режим перетаскивания множества объектов:

GCE_result **GCE_PrepareMovingGeoms**(GCE_system gSys

, std::*vector*<geom_item> & geoms
, GCE_point curXY).

Переместить указатель драггинга:

GCE_result **GCE_MovePoint**(GCE_system gcSys, GCE_point curXY).

S.4.9. Геометрическая трансформация

C3D Solver позволяет осуществить геометрическое преобразование параметрического эскиза по матрице, которая может содержать сдвиг, поворот и масштабирование. Для выполнения указанной трансформации необходимо для системы ограничений эскиза вызвать метод

GCE_result **GCE_Transform**(GCE_system **gSys**, const MbMatrix & **mat**).

Следует принимать во внимание, что данный метод осуществляет преобразование, как геометрии, так и ограничений. Например, линейные размеры могут менять свои значения, если матрица трансформации содержит масштабирование.

Надо заметить, что в результате трансформации возможно, что часть ограничений станет неудовлетворенной, о чем можно запросить с помощью вызова **GCE_IsSatisfied**. Ограничения, которые сохранили удовлетворенность, называются *инвариантными* относительно данной трансформации.

S.4.10. Тест избыточности

C3D Solver предусматривает различные способы, позволяющие оценить избыточность ограничений. Методы

GCE_result **GCE_DeviateDimension**(GCE_system **gSys**, constraint_item **dItem**, double **delta**);
GCE_result **GCE_DeviationTest**(GCE_system **gSys**, constraint_item **dItem**, double **delta**).
оценивают избыточность ограничений на основе отклонения размерных ограничений.

S.5. ДВУМЕРНЫЕ СПЛАЙНЫ И ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ КРИВЫЕ

В этой главе рассматривается работа с такими кривыми, как сплайн, параметрическая кривая общего типа, а также эллипс. Эти кривые объединяет то, что C3D Solver принимает во внимание не только геометрию, но и параметризацию данных кривых.

S.5.1. Сплайновые кривые

C3D Solver использует NURBS-кривые в качестве математической основы сплайновых кривых. NURBS-представление стало фактически промышленным стандартом для представления кривых свободной формы и поддерживается практически всеми САПР. Общепризнанным каноническим трудом на данную тему является книга "The NURBS Book" авторов Les Piegl и Wayne Tiller (издательство Springer).

C3D Solver предоставляет два способа определения сплайна:

- Сплайн по набору характеристических точек, заданных значениями их координат;
- Сплайн, проходящий через набор интерполяционных точек, заданных дескрипторами, ранее зарегистрированных геометрических объектов.

Сплайн на основе NURBS-кривой создается с помощью метода

```
geom_item GCE_AddSpline( GCE_system gSys, GCE_spline spl ).
```

Функция принимает структуру данных GCE_spline, которая содержит в себе информацию, определяющую сплайн: начальные значения контрольных точек, массив интерполяционных точек (при необходимости), веса , признак замкнутости и т.д.

Специальное ограничение, фиксирующее вектор производной сплайна, создается методом

```
constraint_item GCE_FixSplineDerivative(  GCE_system gSys, geom_item spline,
                                          double par, uint derOrder, GCE_vec2d * fixVal = NULL );
```

S.5.2. Параметрические кривые общего вида

Применения параметрической кривой. Одно из полезных применений параметрической кривой связано с участием в эскизе неподвижных кривых с не поддерживаемым типом геометрии. Например, планарный эскиз может быть создан в контексте трехмерной модели САПР, откуда в эскиз могут приходить произвольной формы проекции 3D-кривых. Проекционные кривые, участвующие в системе ограничений в виде параметрических кривых, дают возможность привязывать геометрию эскиза к проекционным объектам. Другое применение это оформлении чертежей, фрагменты которых получены проецированием геометрии из 3D-моделей и сохраняющими с ней ассоциативную связь.

S.5.3. Ограничения, основанные на параметризации кривых

Для создания специальных ограничений кривых в параметрическом представлении, а также сплайна и эллипса, используются методы:

```
constraint_item GCE_AddPointOnPercent( GCE_system gSys,
                                       geom_item curve,
                                       geom_item pnt[3],
                                       double k ),

constraint_item GCE_AddPointByMetricPercent( GCE_system gSys,
                                             geom_item curve,
                                             geom_item pnt[3],
                                             double k ),
constraint_item GCE_AddFixCurvePoint( GCE_system gSys,
                                      geom_item curve,
                                      geom_item pnt ),
constraint_item GCE_AddPointOnParEllipse( GCE_system gSys,
```

geom_item **pnt,**
geom_item **ellipse**, double **t**).

S.6.ТРЕХМЕРНЫЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ РЕШАТЕЛЬ

Данный раздел рассматривает еще один программный компонент в составе модуля C3D Solver – трехмерный геометрический решатель. Трехмерный геометрический решатель применяется для геометрического моделирования, когда объекты 3D-пространства требуется организовать в схему взаимосвязей, а именно подчинить их геометрическим ограничениям и размерам. Данная потребность проистекает из таких задач:

- Объединение твердотельных деталей в сборки;
- Кинематический анализ, включая обратную кинематическую задачу;
- Анимация твердотельных сборок;
- Моделирование трехмерных каркасных конструкции (wireframes).

В сочетании с компонентом поиска столкновений (см. главу R.4. Определение столкновений тел) геометрический решатель помогает пользователю САПР оценивать границы движения деталей механизмов.

S.6.1. Термины и определения

Локальная система координат (ЛСК) — система координат, определяющая положение объектов 3D-пространства относительно *мировой системы координат*. ЛСК задается точкой **начала координат** и тройкой векторов — осями Z, X, Y, которые применительно к задачам C3D Solver всегда ортонормированны. С понятием ЛСК связана такое понятие, как Трансформация.

Геометрический объект — основной предмет вычислений модуля C3D Solver, представляющий объект 3D-пространства, такой как точка, кривая, поверхность или ЛСК. Модуль C3D Solver поддерживает определенный набор типов 3D-геометрии, приведенных в параграфе S.6.4. Типы поддерживаемой геометрии. Заметим, что для C3D Solver абстракция твердого тела представлена не топологической структурой, как в модуле C3D Modeler, а группой геометрических объектов, объединенных в **Кластер** с общей ЛСК. Подробнее об этом см. в параграфе S.6.12. Кластеризация геометрической сцены, моделирование сборок.

Стандартное положение — это ЛСК, у которой начало и оси совпадают с *мировой системой координат*.

Трансформация — применительно к задачам модуля C3D Solver, это преобразование геометрического объекта только с помощью комбинации перемещений и вращений. Математически трансформация представляется в виде квадратной матрицы размером 4×4, называемой Матрица трансформации. С помощью матрицы трансформации удобно представлять ЛСК, имея ввиду, что любую ЛСК можно получить трансформацией из *стандартного положения* (см.Стандартное положение). Заметим, что C3D Solver имеет дело только с трансформациями, сохраняющими расстояние между любыми точками геометрического объекта. Таким образом, в C3D Solver запрещены трансформации, искажающие ортогональность или единичность векторов ЛСК, например масштабирование.

Жесткое множество или Кластер — подмножество геометрических объектов, объединенных общей ЛСК, которая рассматривается C3D Solver, как вычисляемый геометрический объект. В геометрической модели с помощью кластеров представляют твердые тела и геометрически-жесткие подсборки. В решателе любой геометрический объект с типом «ЛСК» может быть кластером.

Геометрическое ограничение — отношение, задающее связь между двумя, тремя и более геометрическими объектами, называемыми *аргументами ограничения*. Примеры геометрических ограничений: «прямая L параллельна плоскости P», «цилиндр C касается плоскости P», «расстояние от плоскости P1 до плоскости P2 равно 10.0» и т.д.

Аргумент ограничения — геометрический объект или числовой параметр, связанный геометрическим ограничением или размером.

Система геометрических ограничений — это набор взаимосвязанных геометрических объектов и ограничений. Система геометрических ограничений формулирует задачу удовлетворения геометрических ограничений (ЗУГО, англ. GCSP – geometric constraint satisfaction problem), ставящей цель найти положение геометрических объектов трехмерного пространства, удовлетворяющее всем заданным ограничениям.

Начальное приближение — значения координат всех геометрических объектов и переменных системы ограничений, которые принимаются решателем, как близкое к желаемому решению состояние. Начальное приближение обычно удовлетворяет большей части ограничений и предлагается как стартовое условие ЗУГО. Также от начального приближения зависит выбор решения, которое сделает C3D Solver для задач с несчетным множеством решений (см. Недоопределенная система ограничений). Для одной и той же системы ограничений C3D Solver может давать разные решения при разных начальных приближениях.

Задача удовлетворения геометрических ограничений (ЗУГО) — задача, ставящая цель трансформировать набор геометрических объектов, имеющих предварительную оценку (Начальное приближение), в положение, удовлетворяющее всем заданным ограничениям. Надо заметить, что кроме списка объектов и ограничений, формулировка ЗУГО включает и Начальное приближение, которое также влияет на результат решения.

Трехмерный геометрический решатель – программный компонент, отвечающий за решение задачи удовлетворения ограничений для трехмерных объектов. В составе модуля C3D Solver данный компонент имеет техническое название GCM (*сокр.* ***G****eometric* ***C****onstraint* ***M****anager*). Другой компонент, с обозначением GCE, отвечает за вычисление планарных объектов (см. S1.Двумерный геометрический решатель).

Полностью определенная система ограничений — это система геометрических ограничений, имеющая единственное или конечное число возможных решений.

Несовместная система ограничений — система ограничений, не имеющая решений. Соответственно система ограничений, имеющая хотя бы одно решение, называется **Совместной**.

Недоопределенная система ограничений — это система геометрических ограничений, допускающая бесконечное множество решений.

Переопределенная система ограничений — это система ограничений, в которой имеются ограничения, удаление которых не меняет множества решений или несовместную систему делает совместной. Переопределенность системы ограничений обычно говорит о наличии лишних ограничений, удаление которых либо ничего не меняет либо устраняет противоречия.

Размерное ограничение или Размер — геометрическое ограничение, одним из аргументов которого является числовым параметром, измеряющим расстояние или угол между двумя геометрическими объектами. Численная величина этого параметра называется **Значением размера**.

Линейный размер — размерное ограничение, измеряющее расстояние от точки до точки, принадлежащие двум геометрическим объектам. Например, расстояние от точки до плоскости измеряется, как расстояние от точки до ее ближайшей проекции на плоскости. Значение линейного размера всегда задается в единицах расстояния (метр, миллиметр, дюйм и т.д.) и может принимать как положительные, так и отрицательные значения, включая нуль.

Угловой размер — размерное ограничение, измеряющее угол между двумя направлениями, взятыми от пары геометрических объектов. Другими словами значение углового размера равно углу, на который следует повернуть вектор первого объекта до совмещения с вектором второго объекта. Например угол между прямой и плоскостью определяется углом поворота прямой до совпадения с плоскостью по наикратчайшему пути. Значения угловых размеров задаются в радианах.

Логическое ограничение — это геометрическое ограничение, измеряющее булевскую величину, принимающую два значения: **true**, если ограничение выполнено (удовлетворено) и **false**, если ограничение не выполнено. Примерами логических ограничения являются параллельность двух прямых, касание цилиндра и плоскости, соосность двух конусов и т.д. Заметим, что к логическим ограничениям не относятся размеры.

Параметрическая модель — это *геометрическая модель*, которая позволяет получать отличающиеся друг от друга экземпляры этой модели путем изменения независимых (управляющих) числовых параметров. Система геометрических ограничений являться параметрической моделью, если в ней задан хотя бы один *управляющий размер* (см. S.6.17. Управляющие размеры).

S.6.2. Назначение геометрического решателя GCM

В составе геометрического ядра C3D трехмерный геометрический решатель имеет внутреннее техническое обозначение – GCM (*сокр. **G**eometric **C**onstraint **M**anager*). Префикс **GCM_** в именах функций и структур данных говорит о принадлежности к API трехмерного решателя. Компонент GCM вычисляет положение и координаты геометрических объектов, удовлетворяющих заданному набору ограничений и размеров, тем самым обеспечивает целостность геометрической модели приложения. Геометрический решатель GCM имеет дело с такими геометрическими объектами пространства, как точка, прямая, плоскость, окружность, сфера, цилиндр, конус, тор или их объединение в жесткие множества (Кластер). Положение геометрических объектов может быть подчинено, зависимостям в виде ограничений из определенного набора типов, включающего логические ограничения: параллельность, перпендикулярность, касание, совпадение, соосность, симметрия и разного рода размеры в единицах расстояния и угла.

Базовая функциональность геометрического решателя GCM доступна через заголовочный файл **gcm_api.h**. Взаимодействие приложения с решателем ограничений осуществляется на основе простых структур данных C++, все они объявлены в файле **gcm_types.h**.

S.6.3. Встраивание в приложение компонента GCM

Геометрический решатель GCM построен, как общецелевой компонент трехмерного параметрического моделирования. Это значит, что его можно встроить в любое приложение, где требуется снабдить трехмерную геометрическую модель функциональностью размеров и ограничений. Главная особенность в том, что интеграция с C3D Solver не требует ничего менять в структурах данных приложения.

Программный интерфейс C3D Solver имеет свою собственную отвлеченную (abstract) систему типов данных, никак не связанную с типами данных модуля C3D Modeler. Поэтому для работы с решателем приложение может использовать или не использовать структуры данных модуля C3D Modeler. Чтобы подключить геометрический решатель к управлению геометрической моделью, необходимо обеспечить следующую цепочку взаимодействий приложения с решателем:

1. **Создать систему геометрических ограничений** (см. **GCM_CreateSystem**). Это первое что необходимо сделать, что бы начать работу с C3D Solver.
2. **Добавить объекты в систему ограничений.** Нужно добавить геометрические объекты в систему с помощью вызовов **GCM_AddGeom**, **GCM_SubGeom** (подробнее в S.6.9. Добавление и удаление геометрических объектов). Дескрипторы (см. Таблица S.6.6.1. Дескрипторные типы данных), которые выдадут эти функции, используются для хранения ссылок объектов приложения на геометрические объекты C3D Solver. Для оптимизации памяти не рекомендуется добавлять объекты, пока они не связаны ограничениями.
3. **Добавить геометрические ограничения в систему.** Добавить ограничения с помощью вызовов, рассмотренных в S.6.10. Добавление и удаление геометрических ограничений. Ограничения приложения ссылаются на ограничения C3D Solver с помощью специальных дескрипторов (см. Таблица S.6.6.1. Дескрипторные типы данных).
4. **Решить систему ограничений.** С помощью вызова **GCM_Evaluate** C3D Solver вычисляет новое состояние геометрических объектов, удовлетворяющее объявленным ранее ограничениям.
5. **Применить результаты вычислений.** Необходимо применить вычисленные координаты объектов из системы ограничений C3D Solver к геометрическим объектам приложения.

Результат вычислений хранится внутри C3D Solver, поэтому приложение должно обновить состояние своих объектов, запросив у решателя новые значения координат.

6. **Удаление объектов и ограничений.** При завершении сеанса работы с системой ограничений приложение вызывает метод **GCM_RemoveSystem**. Также в процессе жизни системы ограничений могут удаляться отдельно ограничения и объекты, как только в них отпадает необходимость (см. S.6.9. Добавление и удаление геометрических объектов).

Для адаптации геометрического решателя к нативным типам данных приложения следует организовать интерфейс между приложением и компонентом GCM. На рис. *S.6.3.1.* изображена примерная схема взаимодействия решателя ограничений с приложением, где предлагается на стороне приложения реализовать специальный Constraint Manager, отвечающий следующим задачам:

- Скрывает за собой API C3D Solver и предоставляет для приложения интерфейс, более удобный, выраженный в нативных данных приложения;
- Загружает в решатель данные об объектах и ограничениях 3D-модели (формулировка геометрической задачи);
- Обрабатывает командные запросы такие, как добавление/удаление данных системы ограничений, запросы на вычисления;
- Обеспечивает обратную связь с решателем, применяет результаты вычислений C3D Solver к геометрической модели приложения;
- Обновляет данные решателя для синхронизации с моделью приложения.

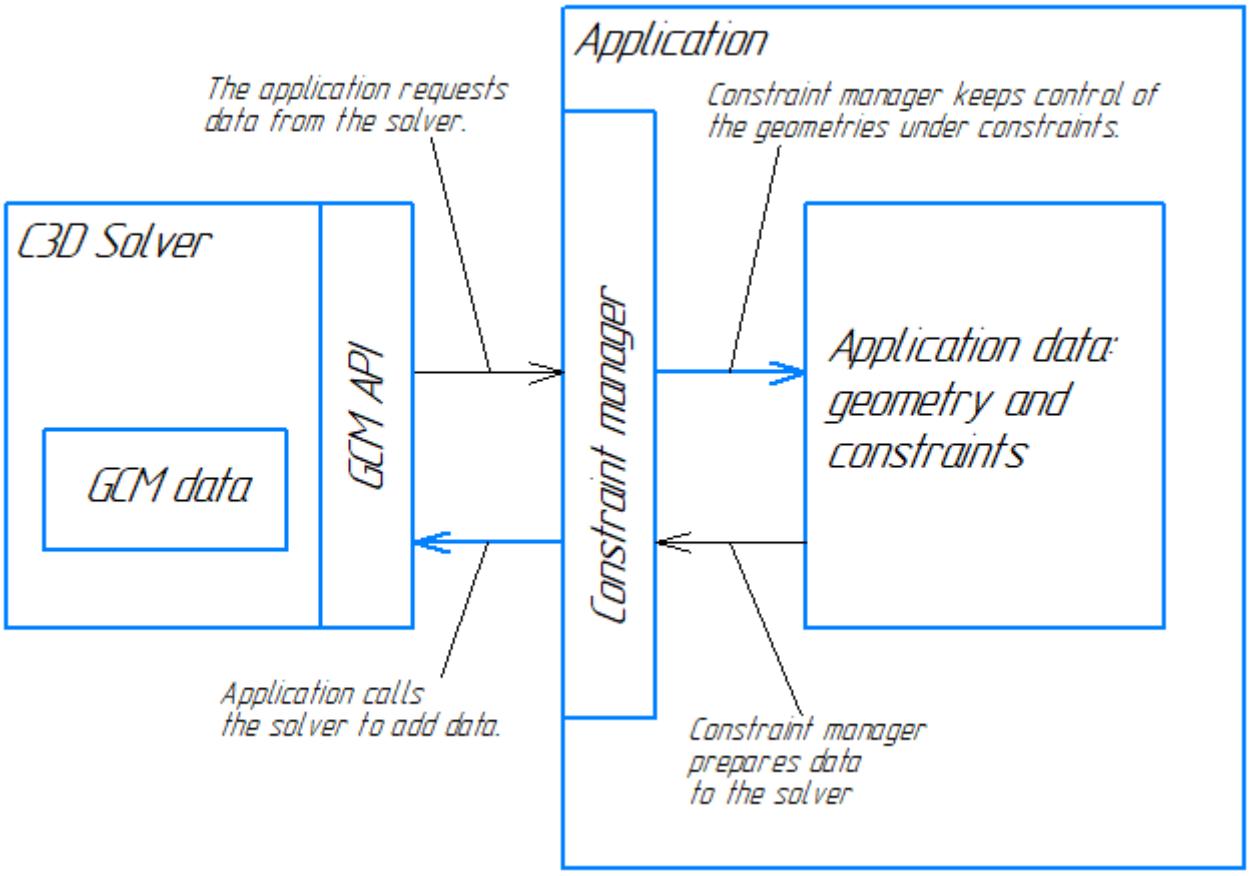


Рис.S.6.3.1.

Схема на рис. *S.6.3.1.* не является обязательной, а только демонстрирует один из возможных путей интеграции C3D Solver с приложением.

Также компонент GCM не позволяет сохранять данные пользователя в файл документа, поэтому разработчик приложения должен позаботиться о чтении/записи системы ограничений 3D-модели в документе приложения.

S.6.4. Типы поддерживаемой геометрии

Геометрическая сцена под управлением GCM, формируется в виде набора геометрических объектов, принадлежащих одному из следующих типов:

- Точка
- Прямая
- Плоскость
- Цилиндр или Конус
- Сфера
- Тороид
- Окружность
- Локальная система координат (ЛСК)

Геометрические объекты перечисленных выше типов могут группироваться образуя геометрически-жесткие объединения — кластеры, которые обычно в приложении играют роль твердого тела или подсборки. В системе ограничений кластеры регистрируются под типом «ЛСК» (значение enum `GCM_LCS`).

О типе любого геометрического объекта, зарегистрированного в системе ограничений, можно узнать с помощью функции

GCM_g_type **GCM_GeomType**(GCM_system **gSys**, GCM_geom **g**),

которая имеет следующие входные параметры:

- **gSys** — дескриптор системы геометрических ограничений;
- **g** — дескриптор геометрического объекта, принадлежащего системе **gSys**.

Функция вернет одно из следующих значений, перечисляемых enum GCM_g_type:

`GCM_NULL_GTYPE`	для пустого объекта (**g** = GCE_NULL);
`GCM_POINT`	для точки;
`GCM_LINE`	для прямой;
`GCM_PLANE`	для плоскости;
`GCM_CYLINDER`	для цилиндра;
`GCM_CONE`	для конуса;
`GCM_SPHERE`	для сферы;
`GCM_TORUS`	для тороида;
`GCM_CIRCLE`	для окружности;
`GCM_LCS`	для локальной системы координат;
`GCM_MARKER`	для маркера в виде тройки <O,Z,X>;
`GCM_SPLINE`	для сплайна (пока не поддерживается).

S.6.5. Типы поддерживаемых ограничений

Любое геометрическое ограничение связывает между собой геометрические объекты, называемые *аргументами* ограничения. Аргументом ограничения может быть любой объект, относящийся к одному из типов геометрии, перечисленных в параграфе S.6.4. Типы поддерживаемой геометрии. Например, цилиндр может быть аргументом ограничения **касание**. По числу геометрических аргументов ограничения различают, как *унарные*, *бинарные* и *тернарные*. Они связывают соответственно один, два или три объекта. Примером тернарного ограничения является **симметрия**, в которой участвуют два объекта, отражающие друг друга, и плоскость зеркальной симметрии. В общем случае ограничение может иметь N аргументов. *Логические ограничения*

предусматривают только зависимости между геометрическими объектами. *Размерные ограничения* устанавливают связь между геометрическими объектами и числовым параметром (Значением размера), измеряющим расстояние или угол, поэтому у размерных ограничений последний аргумент всегда числовой (скалярный). Типы ограничений, которые поддерживает геометрический решатель GCM приведены в таблице S.6.5.1. Типы геометрических ограничений.

Таблица S.6.5.1. Типы геометрических ограничений (enum GCM_c_type).

Ограничение	Арность (число аргументов)	Обозначение в API
Логические ограничения		
Совпадение	2	`GCM_COINCIDENT`
Концентричность	2	`GCM_CONCENTRIC`
Параллельность	2	`GCM_PARALLEL`
Перпендикулярность	2	`GCM_PERPENDICULAR`
Касание	2	`GCM_TANGENT`
Зеркальная симметрия	3	`GCM_SYMMETRIC`
Зависимость определенная пользователем	N	`GCM_DEPENDENT`
Размерные ограничения		
Расстояние	2+1	`GCM_DISTANCE`
Угол	3+1	`GCM_ANGLE`
Радиус	1+1	`GCM_RADIUS`
Ограничения паттернов		
Подчинение паттерну	3+1	`GCM_PATTERNED`
Линейный паттерн (трансляционный)	3	`GCM_LINEAR_PATTERN`
Угловой паттерн (ротационный)	3	`GCM_ANGULAR_PATTERN`
Механические передачи		
Механическая передача	2+2	`GCM_TRANSMITTION`
Кулачковый механизм	2+2	`GCM_CAM_MECHANISM`

S.6.6. Базовые типы данных API решателя GCM

Взаимодействие приложения с решателем ограничений осуществляется на основе простых структур данных C++, все они объявлены в файле **gcm_types.h**. Среди них центральное место занимают дескрипторные типы данных, которые служат для идентификации любых объектов, находящихся под контролем решателя (Таблица S.6.6.1. Дескрипторные типы данных).

Таблица S.6.6.1. Дескрипторные типы данных

Тип данных решателя	Реализация	Интерпретация
`GCM_system`	`void *`	дескриптор системы ограничений
`GCM_object`	`struct { size_t id; }`	дескриптор вычислительного объекта
`GCM_geom`	`GCM_object`	дескриптор геометрического объекта
`GCM_constraint`	`GCM_object`	дескриптор ограничения
`GCM_pattern`	`GCM_object`	дескриптор паттерна

Типы данных, которые перечисляют конечные наборы значений, приведены в табл. S.6.6.2.

Таблица S.6.6.2. Перечислительные типы данных

Тип данных решателя	Интерпретация
GCM_g_type	тип геометрического объекта
GCM_c_type	тип ограничения
GCM_alignment	вариант выравнивания
GCM_tan_choice	вариант касания
GCM_result	диагностический код
GCE_scale	опция масштабируемости паттерна

Структуры данных, перечисленные ниже (табл. S.6.6.3.), служат для передачи набора параметров при вызове функций API. Например, с помощью структуры GCM_g_record в решатель передаются тип геометрического объекта и его позиционирующая ЛСК.

Таблица S.6.6.3. Структуры данных

Тип данных решателя	Интерпретация
GCM_vec3d	координаты трехмерного вектора
GCM_point	координаты трехмерной точки
GCM_g_record	запись геометрического объекта
GCM_extra_param	параметр вызова GCM_dependent_func
GCM_c_arg	аргумент ограничения геометрический или числовой
GCM_c_record	запись ограничения, тип и его аргументы

S.6.7. Система геометрических ограничений

Система геометрических ограничений это набор геометрических объектов, взаимосвязанных друг с другом через ограничения и размеры. Типы поддерживаемых геометрических объектов и ограничений приведены соответственно в параграфах S.6.4. Типы поддерживаемой геометрии, S.6.5. Типы поддерживаемых ограничений. Предполагается, что геометрическая модель, которая создается в приложении, имеет свою систему ограничений. С программной точки зрения это означает, что каждая модель ассоциируется с системой ограничений через дескриптор типа GCM_system, а каждый его геометрические объект и ограничение представлены своими уникальными дескрипторами типов GCM_geom и GCM_constraint.

Перед тем как начать работать с геометрическими ограничениями необходимо объявить для модели систему ограничений с помощью вызова:

GCM_system **GCM_CreateSystem**().

Функция вернет пустую систему ограничений в виде дескриптора GCM_system, который представляет собой указатель на экземпляр внутренней структуры данных геометрического решателя. Все дальнейшие манипуляции с системой ограничений будут осуществляться через данный дескриптор. Например, если мы хотим объявить точку, необходимо для созданной системы ограничений вызвать функцию:

GCM_geom **GCM_AddPoint**(GCM_system **gSys**, MbCartPoint3D **pVal**)

Результатом функции является дескриптор геометрической точки, принадлежащей системе ограничений **gSys.** Параметр **pVal** задает начальные координаты <x,y,z> точки.

При завершении работы с геометрической моделью, обязательно следует вызвать функцию удаления ее системы ограничений:

void **GCM_RemoveSystem**(GCM_system **gSys**),

которая полностью освободит память, занимаемую системой ограничений со всеми данными объектов и ограничений. После вызова **GCM_RemoveSystem** дескриптор системы ограничений становится недействительным, т.е. дальнейшее использование такого дескриптора может привести к аварийному прекращению работы приложения.

Функция

void **GCM_ClearSystem**(GCM_system **gSys**)

делает систему ограничений пустой, освобождая память только от объектов и ограничений, но оставляет систему ограничений действительной для дальнейшей работы.

Также с помощью вызова

bool **GCM_ReadSystem**(GCM_system **gSys**, reader & **in**)

можно сохранить систему ограничений в поток, а вызовом

bool **GCM_WriteSystem**(GCM_system **gSys**, writer & **out**)

полностью восстановить состоянии системы. Функции сохранения и воспроизведения из потока гарантируют сохранность значений дескрипторов всех ограничений и объектов.

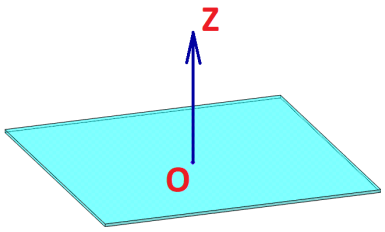
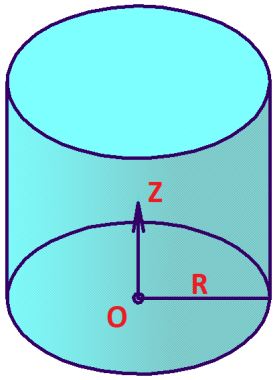
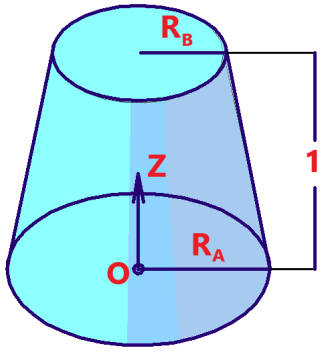
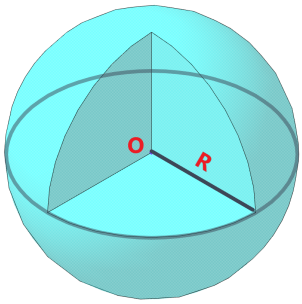
Внимание. Функции чтения/записи системы ограничений сохраняют только те данные об объектах и ограничениях, которые загружены в C3D Solver. Все исходные данные об объектах и ограничениях модели хранятся на стороне приложения, сохранность которых — забота разработчика приложения. Функции **GCM_ReadSystem**, **GCM_WriteSystem** могут оказаться полезными в следующих случаях:

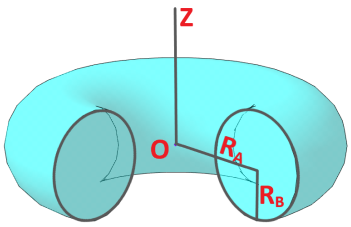
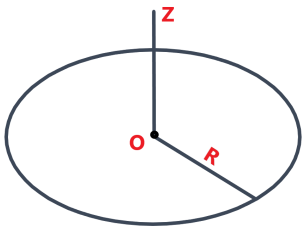
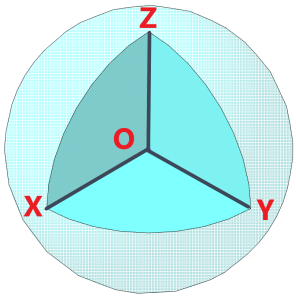
- Передача данных от разработчика приложения разработчику C3D Solver для отладки, в целях технической поддержки. См. также параграф S.6.18. Журналирование вызовов API решателя GCM, где рассмотрено журналирование вызовов GCM в целях отладки и техподдержки;
- Конвертирование нативных форматов в C3D-файл, с некоторой потерей данных;
- Временное сохранение состояния системы ограничений в различных целях (возможна частичная потеря данных для таких ограничений, как механические передачи и зависимости GCM_DEPENDENT).

S.6.8. Представление геометрических объектов

Трехмерный геометрический решатель GCM работает с определенным представлением данных геометрических объектов, проиллюстрированной в таблице S.6.8.1. Все объекты выражены в координатах точек, векторов и чисел (скаляров), записанных в определенной для каждого типе форме.

Таблица S.6.8.1. Представление геометрических объектов

Тип геометрии	Изображение	Кортеж и его значения
Точка		<x y z> — декартовы координаты точки
Прямая		<O Z> O — точка прямой; Z – направляющий вектор прямой.
Плоскость		<O Z> O — точка плоскости; Z – нормальный вектор плоскости.
Цилиндр		<O Z R> O — точка на оси конуса; Z – направляющий вектор оси; R — радиус цилиндра.
Конус		<O Z R_A R_B> O — центр нижнего сечения конуса; Z – направляющий вектор оси; R_A, R_B — радиусы нижнего и верхнего сечений конуса, высота которого принимается равной 1.
Сфера		<O Z R> O — центр сферы; R — радиус сферы.

Тороид		<O Z R_A R_B>
Окружность		<O Z R> O — центр окружности; Z – направление оси окружности; R — радиус окружности.
Локальная система координат		<O Z X Y> O — точка начала ЛСК; Z X Y – тройка ортов ЛСК.

Записи всех перечисленных геометрических объектов можно унифицировать в виде кортежа значений:

<O Z X Y R_A R_B>,

где четверка значений O Z X Y – задает размещение объекта в пространстве, а именно его ЛСК, заданное точкой начала СК и тремя осям Z, X, Y, а два скалярных значения R_A, R_B задают параметры радиусных объектов, таких как окружность, цилиндр, конус, тороид, сфера.

Считается, что геометрический объект любого типа имеет ассоциированную с ним локальную систему координат. Даже точка или сфера может избыточно представлена в виде ЛСК, для которых безразлично направление осей «Z», «X», «Y», но имеют значение координаты точки начала «O». Аналогично плоскость имеет свою ЛСК, начало которой задает положение плоскости, а ось «Z» задает нормаль плоскости. При этом значения осей «X», «Y» для плоскости игнорируются.

В программном интерфейсе трехмерного решателя унифицированная форма записи в виде <O Z X Y R_A R_B> используется в структуре GCM_g_record, поля данных которой приведены в таблице S.6.8.2.:

Таблица S.6.8.2. Описание полей данных структуры GCM_g_record.

Тип данных	Поле данных	Интерпретация (геометрический смысл разъясняется в таблице S.6.8.1.)
`GCM_g_type`	`type`	Тип геометрии.
`GCM_point`	`origin`	Точка позиционирования геометрического объекта (начало ЛСК, центр окружности или сферы и т.д.)
`GCM_vec3d`	`axisZ`	Ось «Z» локальной системы координат (например, в случае прямой ось `axisZ` – это её направляющий вектор).
	`axisX`	Ось «X» локальной системы координат

	axisY	Ось «Y» локальной системы координат
double	radiusA	Задает радиус в случае окружности, сферы или цилиндра, для конуса задает радиус основания, для тора задает "Большой" радиус.
	radiusB	Задает "Малый" радиус в случае тора или конуса

GCM_g_record обобщает запись любой геометрии, поэтому в зависимости от типа геометрии некоторые поля данных GCM_g_record могут не использоваться. Например, поля `axisX, axisY` нужны только для случая `type = GCM_LCS, a` для таких объектов, как плоскость, цилиндр, тор не имеют значения. Поле `axisZ` не используется для точки, и сферы, однако в остальных случаях она задает ориентацию объекта в пространстве.

В API решателя GCM предусмотрены вспомогательные функции **GCM_Point**, **GCM_Line**, **GCM_Plane**, **GCM_Cone**, **GCM_Cylinder**, **GCM_Circle**, **GCM_Torus**, **GCM_Sphere**, **GCM_SolidLCS**, позволяющие правильно заполнить структуру GCM_g_record. Подробнее о данных функциях см. параграф S.6.9. Добавление и удаление геометрических объектов.

S.6.9. Добавление и удаление геометрических объектов

Основным предметом вычислений геометрического решателя являются геометрические объекты, поэтому формирование системы ограничений начинается с того, что приложение объявляет в системе ограничений геометрические объекты, которым предстоит стать аргументами ограничений.

Каждый геометрический объект, объявленный в системе ограничений, получает свой уникальный идентификатор – дескриптор типа GCM_geom, а его геометрический тип (GCM_g_type) остается неизменным в течении жизни объекта. Ниже приведены вызовы API C3D Solver, добавляющие геометрические объекты в систему.

Точка добавляется с помощью вызова

GCM_geom **GCM_AddPoint**(GCM_system **gSys**, const MbCartPoint3D & **pVal**)

Результатом функции является дескриптор геометрической точки с типом `GCM_POINT`, принадлежащей системе ограничений **`gSys.`** Параметр **`pVal`** задает начальные значения координат точки <x,y,z>.

Для создания геометрических объектов других типов, включая и точку, необходимо заполнить структуру данных GCM_g_record, представляющую собой унифицированную запись для геометрии любого типа, поддерживаемого решателем. Значение данной структуры принимает на вход функция

GCM_geom **GCM_AddGeom**(GCM_system **gSys**, const GCM_g_record & **gRec**)

Результатом вызова является дескриптор геометрического объекта, зарегистрированного в системе **`gSys.`** Параметры геометрического объекта задаются полями структуры GCM_g_record:

- **gRec.type** задает геометрический тип объекта (GCM_g_type);
- **gRec.origin** задает положение объекта, начало его ЛСК;
- **gRec.axisZ** задает вектор оси «Z» ЛСК;
- **gRec.axisX** задает вектор оси «X» ЛСК;
- **gRec.axisY** задает вектор оси «Y» ЛСК;
- **gRec.radiusA** и **gRec.radiusB** задают скалярные параметры радиусных объектов.

Подробнее о представлении данных в структуре GCM_g_record изложено в параграфе S.6.8. Представление геометрических объектов.

Для удобства и правильного заполнения структуры GCM_g_record в API компонента GCM предусмотрены вспомогательные функции, приведенные ниже:

Функция

GCM_g_record **GCM_Point**(const MbCartPoint3D &)

фактически конвертирует значение координат трехмерной точки из типа данных MbCartPoint3D в GCM_g_record, воспринимаемой функцией GCM_AddGeom.

GCM_g_record **GCM_Line**(const MbCartPoint3D & **org**, const MbVector3D & **axisZ**)

возвращает запись прямой по точке и направляющему вектору.

GCM_g_record **GCM_Plane**(const MbCartPoint3D & **org**, const MbVector3D & **axisZ**);

возвращает запись о плоскости, заданной точкой и вектором нормали.

Функция для получения записи конуса:

GCM_g_record **GCM_Cone** (const MbCartPoint3D & **centre**, const MbVector3D & **axis**, double **radiusA**, double **radiusB**)

Входные параметры:

- **centre** — центр окружности-основания конуса,
- **axis** — направляющий вектор оси конуса,
- **radiusA** — радиус основания конуса,
- **radiusB** — радиус сечения конуса ("малый" радиус).

Предполагается, что параметры конуса описывают воображаемый усеченный конус, высота которого всегда равна единице длины, т.е. имеет единичное расстояние между поперечным сечением радиуса **radiusA** и сечением радиуса radiusB (см. иллюстрацию в таблице S.6.8.1.).

Функция для получения записи цилиндра:

GCM_g_record **GCM_Cylinder** (const MbCartPoint3D & **centre**, const MbVector3D & **axis**, double **radius**)

Входные параметры:

- **centre** — точка на оси цилиндра;
- **axis** — направляющий вектор оси конуса;
- **radius** — радиус цилиндра.

Функция для получения записи окружности:

GCM_g_record **GCM_Circle** (const MbCartPoint3D & **centre**, const MbVector3D & **axis**, double **radius**)

Входные параметры:

- **centre** — координаты центра окружности;
- **axis** — направляющий вектор оси окружности;
- **radius** — радиус окружности.

Функция для получения записи тора:

GCM_g_record **GCM_Torus** (const MbCartPoint3D & **centre**, const MbVector3D & **axis**, double **majorR**, double **minorR**)

Входные параметры:

- **centre** — координаты центра тора;
- **axis** — направление оси вращения тора;
- **majorR** — расстояние от цента тора до центра образующей окружности тора;
- **minorR** — радиус образующей окружности тора.

Функция для получения записи сферы:

GCM_g_record **GCM_Sphere** (const MbCartPoint3D & **centre**, double **radius**).

Входные параметры:

- **centre** — центр сферы;
- **radius** — радиус сферы.

Функция для получения записи прямоугольной правой (right-handed) ЛСК:

GCM_g_record **GCM_SolidLCS**(const MbCartPoint3D & **org**, const MbVector3D & **axisZ**, const MbVector3D & **axisX**).

Входные параметры:

- **org** — начало системы координат;

- **axisZ** — орт «Z»;
- **axisX** — орт «X».

Результатом функции является запись ЛСК в виде четверки <O Z X Y>, где ось Z ориентирована по векторному произведению X◦Y, что соответствует правосторонней ориентации тройки X-Y-Z (right-handed rule). Запись ЛСК имеет геометрический тип **GCM_LCS**.

Другой метод создания записи ЛСК имеет тоже имя, но принимает в качестве аргумента значение MbPlacement3D:

GCM_g_record **GCM_SolidLCS** (const MbPlacement3D &).

Данный метод допускает создание как правосторонней, так и левосторонней СК.

Результат, который возвращает функция **GCM_SolidLCS**, используется для задания в системе ограничений твердого тела (кластера) с помощью вызовов **GCM_AddGeom** или GCM_SubGeom.

Для получения пустой записи GCM_g_record, которая может быть использована для конструирования значения по умолчанию, можно применить вызов:

GCM_g_record **GCM_NullGeom**(void).

Ниже приведен фрагмент кода, который демонстрирует создание системы, включающую сферу **sph** с центром в начале СК и цилиндр **cyl**, имеющим координаты центра <10, 0, 0>, ориентированного вдоль оси «Z».

```
GCM_system gSys = GCM_CreateSystem();

const MbCartPoint3D cylPos( 10.0, 0.0, 0.0 );
/*
  Register two geoms, sphere and cylinder.
*/
GCM_geom sph = GCM_AddGeom( gSys, GCM_Sphere(MbCartPoint3D::origin, 10.0/*radius*/) );
GCM_geom cyl = GCM_AddGeom( gSys, GCM_Cylinder(cylPos, MbVector3D::zAxis, 10.0/*radius*/) );
   ...
   ...
/*
  Finalize the constraint system to free its located memory.
*/
GCM_RemoveSystem( gSys );
```

Кроме вызова **GCM_AddGeom** в решателе предусмотрен другой метод для регистрации геометрических объектов, предусматривающий абстракцию твердого тела, а именно геометрически-жесткие множества, имеющие собственную ЛСК. Такие подмножество называется *кластером*. Для создания *кластера* необходимо объявить его ЛСК с помощью запроса:

```
GCM_geom lcs = GCM_AddGeom( gSys, GCM_SolidLCS(org,axisZ,axisX) );
```

Значения **org, axisZ, axisX** задают позицию и ориентацию кластера (его ЛСК). Полученный дескриптор **lcs** будет задавать ЛСК геометрически-жесткого множества, элементы которого объявляются с помощью вызова:

GCM_geom **GCM_SubGeom**(GCM_system **gSys**, GCM_geom **lcs**, const GCM_g_record & **gRec**).

Входные параметры:

- **gSys** – система геометрических ограничений;
- **lcs** — дескриптор ЛСК кластера;
- **gRec** — запись параметров геометрического объекта, заданного в ЛСК кластера.

Функция возвращает дескриптор геометрического объекта, принадлежащего кластеру. Характерная особенность объекта, принадлежащего кластеру в том, что его положение в пространстве подчинено ЛСК кластера, таким образом подчиненный объект меняет свое положение вместе с ЛСК кластера. Это основное его отличие от геометрических объектов, созданных методом **GCM_AddGeom**. Более подробно о работе с кластерами рассмотрено в параграфе S.6.12. Кластеризация геометрической сцены, моделирование сборок.

Геометрические объекты, возвращаемые функциями **GCM_SubGeom**, как и **GCM_AddGeom**, могут участвовать в ограничениях и размерах, т. е. могут быть аргументами ограничения (Аргумент ограничения).

Удаление геометрических объектов осуществляется вызовом

void **GCM_RemoveGeom**(GCM_system **gSys**, GCM_geom **g**).

Данный метод удаляет геометрический объект из системы и делает его дескриптор **g** не действительным. Если геометрический объект на момент вызова является аргументом одного из ограничений, то он фактически остается в системе, но его неизбежное удаление откладывается до тех пор, пока не будет удалено последнее из ограничений, в которых он участвует. Таким образом, пользователь API GCM может освобождать геометрический объект, как только он стал не нужен для приложения, не заботясь о том есть ли ограничения, которые его удерживают.

S.6.10. Добавление и удаление геометрических ограничений

Для добавления большинства геометрических или размерных ограничений можно воспользоваться вызовом:

GCM_constraint **GCM_AddConstraint**(GCM_system **gSys**, const GCM_g_record & **cRec**),

который требует заполнения структуры данных **cRec**, несущей данные о типе ограничения **cRec.type**, и массив аргументов ограничения **cRec.args**. Функция вернет дескриптор нового ограничения, зарегистрированного в системе **gSys**.

Сразу приведем пример добавления ограничения — совпадение точки и плоскости:

```
GCM_system gSys = GCM_CreateSystem();

GCM_c_record cRec;  // The record of point and plane coincidence.
cRec.type = GCM_COINCIDENT;

/*
  Some point and plane as arguments of the coincidence.
*/
cRec.args[0] = GCM_AddPoint( gSys, MbCartPoint3D::origin );
cRec.args[1] = GCM_AddGeom( gSys, GCM_Plane(MbCartPoint3D(0,0,1), MbVector3D::zAxis) );
cRec.args[2] = GCM_NO_ALIGNMENT; // The alignment option does't matter in point-plane case.

/*
  Add coincidence to the system.
*/
GCM_constraint cItem = GCM_AddConstraint( gSys, cRec );

/*
  Finalize the constraint system.
*/
GCM_RemoveConstraint( gSys, cItem );
GCM_RemoveSystem( gSys );
```

Для каждого типа ограничения принята определенная последовательность заполнения аргументов **args** в структуре GCM_c_record. В примере выше показано, что для ограничения `GCM_COINCIDENT` первые два элемента `cRec.args[0]` и `cRec.args[1]` — это дескрипторы аргументов ограничения «Совпадение», а третий элемент `cRec.args[2]` задает опцию выравнивания.

Устройство структуры GCM_c_record. В таблице ниже приведена схема заполнения структуры GCM_c_record, передаваемой в метод **GCM_AddConstraint**, для различных типов ограничений.

Таблица S.6.10.1. Типы данных аргументов для различных ограничений (заполнение GCM_c_record)

Тип ограничения	Типы аргументов				
type	args[0]	args[1]	args[2]	args[3]	args[4]
GCM_COINCIDENT	GCM_geom	GCM_geom	GCM_alignment		
GCM_CONCENTRIC					
GCM_PARALLEL					
GCM_PERPENDICULAR					
GCM_TANGENT	GCM_geom	GCM_geom	GCM_alignment	GCM_tan_choice	
GCM_SYMMETRIC	GCM_geom	GCM_geom	GCM_geom	GCM_alignment	
GCM_DISTANCE	GCM_geom	GCM_geom	double	GCM_alignment	
GCM_ANGLE (планарный угол)	GCM_geom	GCM_geom	GCM_geom (ось вращения)	double	GCM_alignment
GCM_ANGLE (3D угол)	GCM_geom	GCM_geom	GCM_NULL (без оси)	double	GCM_alignment
GCM_RADIUS	GCM_geom	double			

Значение опции выравнивания GCM_alignment рассматривается в параграфе S.6.11. Опция выравнивания GCM_alignment. Значения GCM_tan_choice будут рассмотрены в разделах, где обсуждается ограничение касание (GCM_TANGENT). В таблице S.6.10.1. приведены только правила интерпретации типов данных, который принимает элемент типа GCM_c_arg из массива GCM_c_record::args для того или иного типа ограничения.

Таким образом структура данных GCM_c_record представляет собой унифицированный способ задания разного типа ограничений, имея только один метод **GCM_AddConstraint**. Однако для удобства разработчика в API GCM имеются альтернативные методы добавления ограничений, не требующие заполнения структуры GCM_c_record.

Для добавления любых **бинарных** ограничений, связывающих пару геометрических объектов, можно воспользоваться функцией:

GCM_constraint **GCM_AddBinConstraint**(GCM_system **gSys**, GCM_c_type **cType**,
GCM_geom **g1**, GCM_geom **g2**, GCM_alignment **aVal**, GCM_tan_choice **tVar**);

Входные параметры функции:

- **gSys** – дескриптор системы ограничений;
- **cType** – значение типа из следующего списка: GCM_COINCIDENT, GCM_PARALLEL, GCM_PERPENDICULAR, GCM_TANGENT, GCM_CONCENTRIC;
- **g1**, **g2** – пара дескрипторов геометрических объектов, аргументы бинарного ограничения;
- **aVal** – опция выравнивания, позволяющая выбрать взаимную ориентацию для ориентируемых объектов (подробнее см. параграф S.6.11. Опция выравнивания GCM_alignment);
- **tVar** – опция выбора касания, позволяющего выбирать способы исполнения ограничения с типом GCM_TANGENT.

Результатом вызова является дескриптор бинарного ограничения, связывающего объекты **g1**, **g2**, с выбранными условиями выравнивания/касания **aVal**, **tVar**.

Размерное ограничение типа GCM_DISTANCE, определяющее расстояние между объектами, создаётся вызовом:

GCM_constraint **GCM_AddDistance**(GCM_system **gSys**, GCM_geom **g1**, GCM_geom **g2**,
double **dVal**, GCM_alignment **aVal**),

который принимает входные данные **g1**, **g2**, **aVal**, такие же, как у функции **GCM_AddBinConstraint**, числовое значение **dVal** – задает значение размера.

Аналогично работают вызовы, задающие угловой размер, зеркальную симметрию и радиусный размер: **GCM_AddAngle**, **GCM_AddSymmeric**, **GCM_FixRadius**. Они также не требуют заполнения транзитной структуры GCM_c_record.

S.6.11. Опция выравнивания GCM_alignment

Тип ограничения (GCM_c_type) является основной характеристикой ограничения, достаточной что бы сказать удовлетворяет ли положение объектов данному типу ограничения или нет, однако участие в ограничении ориентируемых объектов, таких, как плоскость или прямая, допускают разные исполнения одного и того же типа GCM_c_type. Например, если взять две грани тела, лежащие в одной плоскости, мы можем сказать, что они удовлетворяют ограничению совпадения (`GCM_COINCIDENT`), однако это утверждение допускает два варианта совпадения, когда нормальные вектора граней смотрят в одну сторону или направлены в разные стороны. На рисунках S.6.11.1, S.6.11.2 показаны альтернативные варианты выравнивания двух тел с помощью ограничения `GCM_COINCIDENT`, связывающего пару цветных граней.

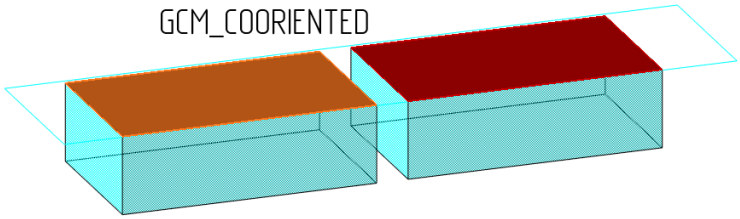


Рис. S.6.11.1.

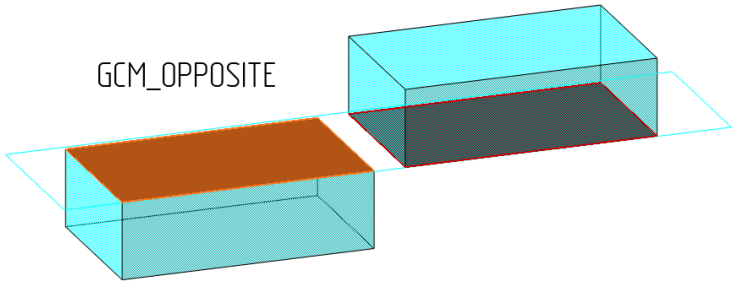


Рис. S.6.11.2.

По умолчанию решатель выполняет совпадение, оставляя ориентацию геометрических объектов как можно ближе к исходному состоянию (см.Начальное приближение). Поэтому выбор из двух вариантов выполняется автоматически по принципу минимального поворота. Но если требуется, можно заказать определенную взаимную ориентацию векторов. Для этого в методах **GCM_AddBinConstraint, GCM_AddDistance, GCM_AddConstraint** предусмотрена опция выравнивания GCM_alignment, значения которой приведены в таблице.

GCM_alignment дополняет тип ограничения GCM_c_type условием, исключающим всякую неоднозначность при выборе решения для ограничения. Значения `GCM_COORIENTED` и `GCM_OPPOSITE` действуют на такие ограничения, которые подразумевают параллельность векторов Z своих аргументов. Например перпендикулярность плоскости и прямой подразумевают параллельность нормального вектора плоскости и прямой. Или пример совпадения двух плоскостей, который делает нормали граней сонаправленными (Рис. *S.6.11.1.*) либо противонаправленными (Рис. *S.6.11.2.*). Другие значения опции выравнивания действуют в более сложных случаях, совместно с такими ограничениями, как касание, линейные или угловые паттерны, где выбирать приходится из более чем 2 решений. Например касание двух тороидов по окружности предусматривает восемь решений, которые кроме сонаправленности векторов, различаются по стороне касания относительно осей Z, размещению одного тора снаружи или внутри другого.

Таблица S.6.11.3. Значения опции выравнивания GCM_alignment.

Имя	Значение
GCM_NO_ALIGNMENT	Неопределенная ориентации. Значение GCM_NO_ALIGNMENT применяется в тех случаях, когда ограничение не чувствительно к ориентации геометрических объектов (например, совпадение двух точек) или ориентацию объектов требуется оставить свободной. Например, в угловых или линейных паттернах, если указать GCM_NO_ALIGNMENT, то ориентация «образца» никак не будет влиять на «экземпляр копирования».
GCM_CLOSEST	Решение выбирается автоматически, как можно ближе к стартовому положению геометрических объектов.
GCM_COORIENTED	Задает сонаправленность векторов Z аргументов ограничения.
GCM_OPPOSITE	Задает противонаправленность векторов Z аргументов ограничения.
GCM_ALIGNED_0 GCM_ALIGNED_1 GCM_ALIGNED_2 GCM_ALIGNED_3	Варианты решения ограничений с сонаправленными векторами Z аргументов ограничения (подварианты GCM_COORIENTED).
GCM_REVERSE_0 GCM_REVERSE_1 GCM_REVERSE_2 GCM_REVERSE_3	Варианты решения ограничений с противонаправленными векторами Z аргументов ограничения (подварианты GCM_OPPOSITE).
GCM_ALIGNED	Создает одинаковую ориентацию ЛСК объектов (сонаправленность по ’Z’ и по ’X’) для таких ограничений, как GCM_SYMMETRIC и GCM_PATTERNED. Т.е. ограничения симметрия, угловые и линейные паттерны с данной опцией будут ориентировать «экземпляр копирования» также, как и «образец» при том, что их позиционирование будет подчиняться соответствующим законам копирования.
GCM_ROTATED	Действует для ограничения GCM_PATTERNED в случае углового паттерна GCM_ANGULAR_PATTERN. Означает, что ЛСК «образца копирования» и «экземпляра» полностью совмещаются поворотом вокруг оси паттерна.
GCM_ALIGN_WITH_AXIAL_GEOM	Применяется в качестве дополнительной опции угловых и линейных петтернов в функциях **GCM_AddLinearPattern**, **GCM_AddAngularPattern**.

Подводя итог, можно сказать, что GCM_alignment является дополнительным условием в тех ситуациях, когда GCM_c_type допускает не единственный вариант исполнения ограничения.

S.6.12. Кластеризация геометрической сцены, моделирование сборок

В основе геометрической модели системы ограничений лежит принцип иерархичности. Этот принцип находит свое выражение, в том что геометрические объекты могут группироваться в виде геометрически-жестких множеств, называемых кластерами (Кластер). Кластер отвечает такой абстракции геометрической модели САПР, как твердое тело или подсборка. Кластеры могут образовывать древо-подобные иерархии, зависимости в которых можно проследить с помощью функции

GCM_geom **GCM_Parent**(GCM_system **gSys**, GCM_geom **subGeom**),

которая вернет для объекта **subGeom**, зарегистрированного в системе ограничений **gSys**, кластер, которому принадлежит **subGeom**. Если функция вернет нулевой дескриптор **GCM_NULL**, это

означает что запрашиваемый объект не содержится ни в одном кластере и был зарегистрирован в системе ограничений вызовом **GCM_AddGeom**. Геометрические объекты, подчиненные какому-либо кластеру, получаются с помощью другого вызова, **GCM_SubGeom** (подробности см. S.6.9. Добавление и удаление геометрических объектов).

Принадлежность ограничений кластерам. Геометрические ограничения и размеры также, как и геометрические объекты имеют свое место в иерархии кластеров. Уровень, на котором будет вычисляться то или иное ограничение, не требуется указывать явно, он определяется в зависимости от того, каким кластерам принадлежат его аргументы. При добавлении ограничения решатель выбирает минимальную по размеру подсистему, включающую все его аргументы. Другими словами, уровень геометрического ограничения определяется минимальным поддеревом иерархии, включающим все его аргументы. На *Рис. S.6.12.1.* изображен пример сборки, где имеются два размера, которые будут вычисляться на разных уровнях иерархии. Сборка состоит из двух параллелепипедов, представленных кластерами Cluster1 и Cluster2, каждый из которых объединяет плоскости, ребра и вершины каждого из параллелепипедов.

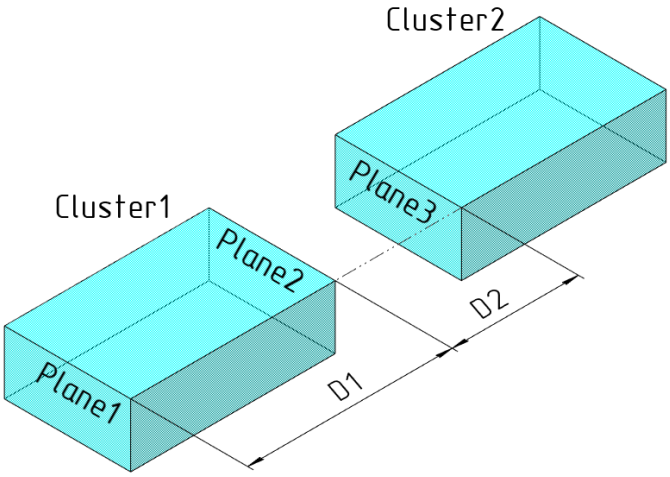


Рис. S.6.12.1.

Таким образом, вся иерархия состоит из трех подсистем ограничений, вычисляемых отдельно друг от друга снизу вверх (*см. рис. S.6.12.2*). В сборке есть два размера: D1 – расстояние, заданное между плоскостями Plane1 и Plane2, принадлежащими одному и тому же кластеру Cluster1, D2 – расстояние, заданное между плоскостями Plane2 и Plane3, принадлежащими разным кластерам (Cluster1, Cluster2). В этому случае размер D1 в иерархии кластеров будет вычисляться в кластере Cluster1, а размер D2 будет вычисляться после D2 вместе со всеми ограничениями корневого уровня сборки. Так результаты вычисления D1 будут определять габариты только одного параллелепипеда, в то время, как размер D2 будет влиять на позиционирование двух параллелепипедов относительно друг друга.

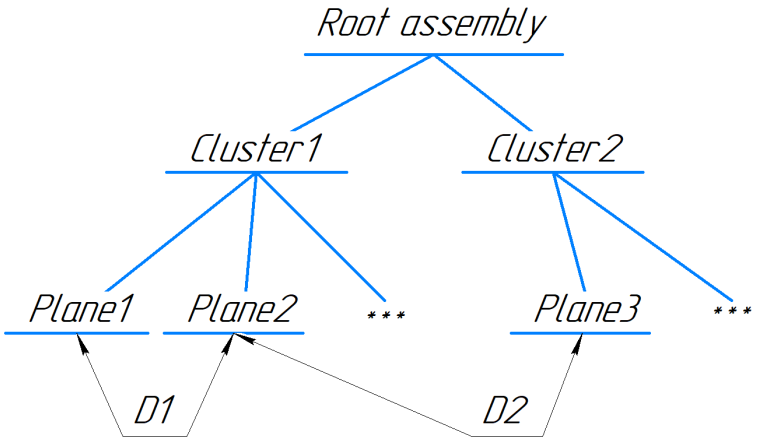


Рис. S.6.12.2.

Итак уровень ограничения определяется минимальным поддеревом кластеров, охватывающим все его аргументы. В частности, если аргументы ограничения лежат в одном и том же кластере, то

ограничение будет принадлежать тому же кластеру. Если аргументы ограничения принадлежат разным кластерам, то выбирается уровень, образующий минимальное поддерево, включающее все аргументы ограничения.

Ниже приведен исходный код, который воспроизводит ситуацию, изображенную на *Рис. S.6.12.1.* Данный код приведен в качестве примера, показывающего, как в решателе формируется иерархия кластеров, представленная на *Рис. S.6.12.2.*

```
GCM_system gSys = GCM_CreateSystem();
/*
  Add LCS of the first cluster, it represents the first parallelepiped.
  Also its two planes will be added.
*/
GCM_geom cluster1 = GCM_AddGeom( gSys, GCM_SolidLCS(MbCartPoint3D::origin) );
GCM_FixGeom( gSys, cluster1 );  // First cluster will have a fixed LCS.
const MbCartPoint3D org1( 50.0, 0, 0 ); // Position of 'Plane1' in LCS of the first cluster.
GCM_geom plane1 = GCM_SubGeom( gSys, cluster1, GCM_Plane(org1, MbVector3D::xAxis) );
const MbCartPoint3D org2( -112.0, 0, 0 ); // Position of 'Plane2' in LCS of the first cluster.
GCM_geom plane2 = GCM_SubGeom( gSys, cluster1, GCM_Plane(org2, -MbVector3D::xAxis) );

/*
  Set a distance dimension D1 between 'Plane1' and 'Plane2'.
  (opposite sides of the parallelepiped, see figure S.6.12.1)
*/
GCM_constraint D1 = GCM_AddDistance( gSys, plane1, plane2, -162.0 );

/*
  Add LCS of 'Cluster2' (the second box).
*/
const MbCartPoint3D pos2( -262.0, 0, 0 ); // Position of the second cluster.
GCM_geom cluster2 = GCM_AddGeom( gSys, GCM_SolidLCS(pos2) );
const MbCartPoint3D org3( 50.0, 0, 0 ); // Position of 'Plane3' in LCS of 'Cluster2'.
GCM_geom plane3 = GCM_SubGeom( gSys, cluster2, GCM_Plane(org3, MbVector3D::xAxis) );

/*
  Set distance dimension D2 between 'Plane2' and 'Plane3'.
  (D2 defines a distance between the boxes, see figure S.6.12.1)
*/

GCM_constraint D2 = GCM_AddDistance( gSys, plane2, plane3, 100.0 );
/*
  Dimension D2 can change the position of 'Cluster2' relative to 'Cluster1'.
*/
GCM_ChangeDrivingDimension( gSys, D2, 120.0 );
GCM_Evaluate( gSys );

GCM_RemoveSystem( gSys );
```

Порядок вычисления кластеров. Обратим внимание, что схема кластеров, которая образовалась в результате комбинации вызовов **GCM_AddGeom** и **GCM_SubGeom** строго определяет порядок вычисления ограничений. Ограничения одного и того же кластера вычисляются одновременно, но не раньше, чем будут вычислены ограничения вложенных кластеров. Таким образом все кластеры вычисляются последовательно снизу вверх, от подчиненных к вышестоящим, включая корневой уровень.

S.6.13. Компоновочная геометрия (GCM_GROUND)

В решателе GCM априори предусмотрен геометрический объект «Ground», доступный по константному идентификатору GCM_GROUND, который представляет собой неподвижный объект со следующими свойствами:

- Неизменная ЛСК в стандартном положении (см.Стандартное положение), т.е. совпадающую с мировой СК;

- Является геометрически-жестким кластером, в котором можно объявлять суб-объекты, а также ограничения и размеры.

Объект Ground удобен для размещения в нем всей неподвижной геометрии сцены. Например, при моделировании сборочных конструкций, Ground включает в себя всю геометрию, принятой в качестве неподвижной части, относительно которой позиционируются остальные детали сборки, подвижность или неподвижность которых определяется размерами и ограничениями, связанными с Ground. Обычно трехмерная модель САПР предусматривает базовые оси O-X, O-Y, O-Z и плоскости Мировой системы координат OXY, OYZ, OZX, которые участвуют в ограничениях и размерах на ряду с остальными объектами. Такие объекты удобно объявить, как принадлежность Ground.

Например, можно запросить у решателя плоскость O-X-Y мировой системы координат:

```
GCM_geom worldXY = GCM_SubGeom( gSys, GCM_GROUND, GCM_Plane(MbCartPoint3D::origin, MbVector3D::zAxis) )
```

где **gSys** – система ограничений сборки, **worldXY** – дескриптор плоскости O-X-Y мировой СК. Плоскость **worldXY** теперь может служить аргументом для любых ограничений, где применима плоскость.

Таким образом специальный объект Ground служит «якорем», к которому привязывается основная геометрия сцены.

S.6.14. Фиксация и заморозка геометрических объектов 3D

Любой геометрический объект, созданный в системе ограничений, изначально свободен, т.е. имеет полную степень свободы, свойственную его типу. При вычислениях C3D Solver может менять состояние геометрических объектов, когда это требуется для удовлетворения ограничений. Иногда требуется обездвижить часть геометрии так, чтобы решатель оставлял положение геометрического объекта без изменений. Для этого в API GCM предусмотрены два метода: **GCM_FreezeGeom** и **GCM_FixGeom_**, **заморозка** и **фиксация**. Оба вызова обездвиживают геометрический объект разными способами. Состояние замороженных или фиксированных геометрических объектов может поменять только приложение с помощью вызова **GCM_SetPlacement**.

Заморозку удобно применять, когда требуется обеспечить неподвижность какого-то геометрического объекта на все время его жизни или временно. Например, при добавлении новой детали в сборку, удобно сразу привязать ее к другим элементам сборки. Позиционирование детали можно осуществить с помощью ограничений, но желательно, что бы остальные объекты сборки остались на месте. Тогда мы можем в процессе добавления объекта временно заморозить все элементы сборки, к которым привязывается новая деталь. После того, как позиционирование выполнено, заморозка отменяется. Так заморозить геометрический объект можно с помощью метода

void **GCM_FreezeGeom**(GCM_system **gSys**, GCM_geom **g**).

Надо заметить, что заморозка не считается ограничением, но делает геометрический объект неизменным для решателя в той системе координат, где объект был задан методами **GCM_AddGeom** или **GCM_SubGeom**. Результат вызова **GCM_FreezeGeom** можно отменить вызовом

void **GCM_FreeGeom**(GCM_system **gSys**, GCM_geom **g**),

который освобождает объект **g** и возвращает свойственные ему степени свободы.

Альтернативный способ сделать геометрический объект неподвижным для решателя – это задать ограничение, фиксирующее объект в глобальной системе координат, с помощью функции

GCM_constraint **GCM_FixGeom_**(GCM_system **gSys**, GCM_geom **g**).

Функция вернет дескриптор нового ограничения, которое полностью фиксирует состояние объекта **g** в глобальной системе координат. Результат данного вызова отменяется с помощью вызова **GCM_RemoveConstraint**, т. е. удаляется, как обычное ограничение.

Таким образом, есть два принципиальных отличия **заморозки** от фиксацией методом **GCM_FixGeom_**:

- Заморозка **GCM_FreezeGeom** лишает объект степеней свобод без создания нового ограничения;
- Если замороженный геометрический объект добавлен с помощью **GCM_SubGeom**, решатель оставляет его положение неизменными, но только в ЛСК кластера, в котором он объявлен; Глобальная степень свободы замороженного суб-объекта определяется степенью свободы кластера, которому он принадлежит.

S.6.15. Вычисление системы ограничений

Основную задачу трехмерного геометрического решателя (см. Задача удовлетворения геометрических ограничений) выполняет функция

GCM_result **GCM_Evaluate**(GCM_system **gSys**),

которая вычислит новое состояние геометрии и раздаст диагностических коды тем ограничениям, которые не удалось удовлетворить. Функция не тратит время на вычисления, если на момент её вызова все ограничения удовлетворены.

GCM_Evaluate вернет код `GCM_RESULT_Ok`, если найдено успешное решение для всех заданных ограничений. Любое другое возвращаемое значение говорит о том, что удовлетворить систему ограничений целиком не удалось. Таким образом, возвращаемое значение **GCM_Evaluate**, показывает либо успешный результат, либо диагностический код одного из не решенных ограничений, либо иное код, показывающий причину неудачного решения. Расшифровка диагностических кодов приведена в параграфе S.6.16. Диагностические коды решения.

После вызова **GCM_Evaluate** каждому геометрическому ограничению присваивается диагностический статус, который можно узнать с помощью вызова

GCM_result **GCM_EvaluationResult**(GCM_system **gSys**, GCM_constraint **cItem**),

который для каждого ограничения выдаст одно из возможных значений:

- `GCM_RESULT_None` означает, что статус ограничения не определен, т.е. ограничение ни разу не вычислялось;
- `GCM_RESULT_Satisfied` означает, что ограничение решено;
- `GCM_RESULT_Overconstrained`, означает что ограничение участвует в группе противоречащих друг другу ограничений, которые не могут быть удовлетворены одновременно. Обычно удаление одного из таких ограничений исправляет ситуацию;
- `GCM_RESULT_Not_Satisfied`, означает, что ограничение не удовлетворено (предусмотрено для случаев, когда не удается диагностировать причину неудачного решения);
- `GCM_RESULT_Unsolvable`, означает, что ограничение не может быть решено. Возможные причины: противоречие ограничений друг другу, отсутствие необходимых ограничений, позиционирующих объекты (например, в кулачковом механизме), плохое начальное приближение;
- `GCM_RESULT_IncompatibleArguments`, означает, что ограничение не применимо для объектов с данными типами геометрии. Например, совпадение плоскости и цилиндра не возможно выполнить;

Подробнее о всех значениях GCM_result см. в параграфе S.6.16. Диагностические коды решения.

В результате вызова **GCM_Evaluate** меняется состояние геометрических объектов. Чтобы приложение могло применить результаты расчетов, необходимо запросить с помощью функции **GCM_Placement** значения ЛСК, позиционирующие объекты.

Функция

MbPlacement3D **GCM_Placement**(GCM_system **gSys**, GCM_geom **g**)

возвращает положение (ЛСК) геометрического объекта **g** в соответствии с текущим состоянием геометрической модели. В параграфе S.6.8. Представление геометрических объектов уже говорилось, что свою ЛСК имеет каждый геометрический объект, даже если это примитив в роде точки. ЛСК удобна тем, что с ее помощью можно выразить положение объектов всех типов, включая не только твердые тела, но и простые объекты, такие как точка, прямая и плоскость. Также с помощью вызова **GCM_Origin** можно запросить точку начало только координат ЛСК. Это удобно, когда мы имеем дело с неориентированными объектами, такими как точка и сфера.

Другая функция, применительно к радиусным объектам, таким как окружность, сфера или цилиндр вернет значение радиуса:

double **GCM_Radius**(GCM_system **gSys**, GCM_geom **g**).

Также с помощью функций: double **GCM_RadiusA**(GCM_system **gSys**, GCM_geom **g**),
double **GCM_RadiusB**(GCM_system **gSys**, GCM_geom **g**)
можно узнать большой и малый радиусы тороида и конуса.

Приложение имеет возможность не только запрашивать текущее состояние геометрии, но и менять его, если по каким-либо причинам произошли изменения на стороне CAD-модели, требующие синхронизировать геометрический решатель. Для этого предусмотрен вызов

void **GCM_SetPlacement**(GCM_system **gSys**, GCM_geom **g**, const MbPlacement3D & **place**),
который меняет текущее значение ЛСК объекта.
Исходные данные вызова:

- **gSys** — система геометрических ограничений;
- **g** – дескриптор геометрического объекта;
- **place** — новое положение (ЛСК), заданной в мировой системе координат.

Заметим, эта функция только придает объекту новое состояние без переоценки системы ограничений. Вызов **GCM_Evaluate** может поменять заданное состояние, если имеются не удовлетворенные ограничения.

В любой момент времени у каждого ограничения можно спросить удовлетворено оно или нет с помощью функции

bool **GCM_IsSatisfied**(GCM_system **gSys**, GCM_constraint **cItem**),
которая вернет true, если ограничение **cItem**, удовлетворено в текущем состоянии геометрии. Результат вызова **GCM_IsSatisfied** зависит только от текущего состояния геометрических аргументов ограничения и не связано с его диагностическим статусом, возвращаемым по запросу **GCM_EvaluationResult**.

S.6.16. Диагностические коды решения

В таблице ниже перечислены коды, сообщающие результат вычисления или выполнения функции API компонента GCM. Данные значения являются результатом таких вызовов, как **GCM_Evaluate**, **GCM_EvaluationResult**, **GCM_SolveReposition**.

Таблица S.6.16.1. Значения перечислительного типа GCM_result

Результирующие коды выполнения функций API решателя	
GCM_RESULT_None	**Нет результата.** Для вызова **GCM_EvaluationResult** это означает, что ограничение ни разу не вычислялось.
GCM_RESULT_Ok	**Успешно выполнено.** Результат успешного выполнения операции или успешного вычисления ограничений.
GCM_RESULT_ItsNotDrivingDimension	**Размер не управляющий.** Неудачная попытка вызова **GCM_ChangeDrivingDimension**, для ограничения, не являющегося управляющим размером.
GCM_RESULT_Unregistered	**Дескриптор объекта или ограничения не действителен.**

	Ситуация: Обращение к вызову API с дескриптором, не принадлежащем системе ограничений.
GCM_RESULT_Aborted	**Вычисления прерваны по запросу пользователя.**
GCM_RESULT_InternalError GCM_RESULT_Error	**Программная ошибка** (не математическая). Предусмотрена для ситуаций, связанных с некорректным завершением. операции или некорректными данными.

Результаты вычисления системы ограничений	
GCM_RESULT_Satisfied	**Ограничение или система ограничений удовлетворены.**
GCM_RESULT_Overconstrained	**Ограничение переопределяет модель.** Ошибка выявляется в ситуациях, когда имеются противоречащие ограничения (Несовместная система ограничений) в переопределенной системе ограничений (Переопределенная система ограничений).
GCM_RESULT_Unsolvable	**Не решаемые ограничения.** Ошибка выявляется в различных случаях, когда решение не возможно. Обычно это связано с тем, что есть набор ограничений, которые не могут быть удовлетворены одновременно (Несовместная система ограничений), или когда размер вышел из области допустимых значений.
GCM_RESULT_Not_Satisfied	**Ограничение не удовлетворено.** Код ошибки возвращается в ситуациях, когда не удалось решить ограничения. Возможные причины неудачи: • Размер вышел за пределы значений, допускающих существование решения; • Положения фиксированных или замороженных объектов вышли за область, допускающую существования решения. • В редких случаях – плохое начальное приближение. Удовлетворение ограничений требует значительные изменение параметрических координат; • Сильные взаимные влияния. Например, заданы такие условия, что изменение угла на один градус приводит к смещению объекта на значительные расстояние. • В редких случаях – численная неустойчивость, обусловленная большим разбросом порядка вычисляемых координат. Например в геометрической модели одновременно встречаются микроскопические объекты (1e-3) и крупные объекты (1e+6). • В общем случае – иные ситуации, когда решение не существует или не может быть найдено.
GCM_RESULT_MatedFixation	**Задано геометрическое ограничение между фиксированными или замороженными объектами**.
GCM_RESULT_InvalidArguments	**Аргументы ограничения не определены.** Ситуация некорректно определенного ограничения, когда его аргументы пустые (дескриптор аргумента = GCM_NULL).

GCM_RESULT_IncompatibleArguments	**Несовместимые аргументы для данного типа ограничения.** Ситуация некорректно определенного ограничения, когда его аргументы не совместимы друг другу или данное сочетание аргументов не поддерживается. Например, попытка задать совпадение для плоскости и цилиндра.
GCM_RESULT_InappropriateArgument	**Тип аргумента не подходит для данного ограничения.** Ситуация некорректно определенного ограничения, когда один из его аргументов не подходит к данному типу ограничения. Например, попытка задать параллельность для точек или сфер очевидно лишена смысла.
GCM_RESULT_Duplicated	**Ограничение дублирует имеющееся.** Код сообщает, что в системе ограничений находятся два одинаковых ограничения. В принципе данная ситуация не мешает вычислению ограничений.
GCM_RESULT_DraggingFailed GCM_RESULT_InappropriateAlignment GCM_RESULT_InconsistentAngleType GCM_RESULT_InconsistentAlignment mtResCode_UnsupportedTangencyChoice mtResCode_IsNoPossibleForCircTanChoice GCM_RESULT_InconsistentPlanarAngle	

Диагностические ситуации для ограничения GCM_DEPENDED	
GCM_RESULT_DependentConstraintUnsolved GCM_RESULT_CyclicDependence GCM_RESULT_MultiDependedGeom GCM_RESULT_OverconstrainingDependedGeoms mtResCode_InvalidDependenceForFixGeom	

Диагностические коды для механических передач	
mtResCode_CoaxialMtGearTransmissionIsNotAvalable mtResCode_NoSeparatedSolutionForCamGear mtResCode_CyclicDependenceForTwoOrMoreCamGears mtResCode_InconsistentFollowerAxis	

S.6.17. Управляющие размеры

Управляющие размеры — это размерные ограничения, которые задают расстояние или угол между двумя геометрическими объектами и тем самым наделяют геометрическую сцену числовыми параметрами, управляющими положением ее объектов. Варьируя параметры размеров, можно управлять состоянием модели или получать экземпляры параметрической модели в разном геометрическом исполнении.

Управляющие размеры можно создать с помощью вызовов GCM_AddDistance, GCM_AddAngle и GCM_FixRadius. Основное предназначение управляющих размеров — это управлять положением геометрических объектов с помощью числового параметра длины, радиуса или угла. Заметим, что ограничения паттернов, созданных методом GCM_AddGeomToPattern, также относятся к управляющим размерам, поскольку элементы паттерна, характеризуются числовыми параметрами, задающими их линейные или угловые позиции.

Функция
GCM_result GCM_ChangeDrivingDimension(GCM_system **gSys**, GCM_constraint **dItem**, double **dVal**)

позволяет менять значение любого размера **dItem** и тем самым управлять состояние параметрической модели.

Входные параметры вызова:

- **gSys** — система ограничений параметрической модели;
- **dItem** – дескриптор размерного ограничения;
- **dVal** – новое значение размера, заданное в единицах длины для линейных размеров или в радианах для угловых размеров.

Возвращаемые значения:

- `GCM_RESULT_Ok`, если операция выполнена успешно;
- `GCM_RESULT_ItsNotDrivingDimension` означает, что присланное ограничение не является управляющим размером или управляющим параметром, например, если ограничение – вариационный размер;
- `GCM_RESULT_None` или `GCM_RESULT_Unregistered` возвращаются, если присланные дескрипторы **gSys** или **dItem** не действительны.

Следует учитывать, что данная функция не выполняет вычислений, а только подготавливает изменение управляющего размера. Чтобы изменение вступило в силу, необходимо вызвать **GCM_Evaluate**. Если требуется изменить одновременно два и более управляющих размеров, следует сначала сделать серию вызовов **GCM_ChangeDrivingDimension** на каждый из них, затем один раз вызвать **GCM_Evaluate**.

S.6.18. Журналирование вызовов API решателя GCM

C3D Solver дает возможность записать историю вызовов API GCM для дальнейшего воспроизведения с целью отладки и тестирования. Например, чтобы получить консультацию или решить проблемную ситуацию, возникшую в приложении при работе с C3D Solver, достаточно временно включить режим записи журнала, выполнить интересующий сценарий действий. Записанный журнал пересылается в техническую поддержку C3D Labs с описанием ситуации. После исправления ошибки журнал добавляется в базу тестовых примеров.

Журналирование вызовов API трехмерного геометрического решателя осуществляется аналогично журналированию 2D-решателя (**S.1.14. Журналирование вызовов API**). При включении режима журналирования с помощью вызова

bool **GCM_SetJournal**(GCM_system **gSys**, const char * **fName**)

решатель осуществляет запись истории вызовов API применительно к системе ограничения **gSys**. В дальнейшем записанный журнал может быть использован разработчикам C3D Solver для анализа или пополнения базы тестов.

Внимание. Файл журнала будет готов только после завершения сеанса работы с системой ограничений, а именно сразу после вызова **GCE_RemoveSystem**. Для корректной записи журнала вызов **GCM_SetJournal** должен следовать сразу после **GCM_CreateSystem**. Например:

```
 GCM_system gSys = GCM_CreateSystem();

#ifdef C3D_DEBUG
  GCM_SetJournal( gSys, "d:\\Logs\\gcm_sample2.jrn" );
#endif // C3D_DEBUG

  /*
    Vertexes of the triangle A-B-C.
  */
  GCM_geom A = GCM_AddPoint( gSys, MbCartPoint3D(138.0, -38.0, -31.0) );
  GCM_geom B = GCM_AddPoint( gSys, MbCartPoint3D(67.0,  -44.0,  51.0) );
  GCM_geom C = GCM_AddPoint( gSys, MbCartPoint3D(20,30,10) );

  /*
    Set distance constraints of the sides of the triangle.
  */
```

```
GCM_constraint d1 = GCM_AddDistance (gSys, A, B, 100.0, GCM_CLOSEST );
GCM_constraint d2 = GCM_AddDistance (gSys, B, C, 100.0, GCM_CLOSEST );
GCM_constraint d3 = GCM_AddDistance (gSys, C, A, 100.0, GCM_CLOSEST );
GCM_Evaluate( gSys );

/*
  Finalize the constraint system. The journal file is written.
*/
GCM_RemoveSystem( gSys );
```

Внимание. Журналирование нужно только для отладочных целей, поэтому рекомендуется включать её только в режиме отладки. Не рекомендуется оставлять журналирование включенным для продуктовой (release) или рабочей версии приложения, т.к. это может приводить к напрасному расходованию ресурсов времени и памяти.

T.1. ОБМЕН ДАННЫМИ С ДРУГИМИ СИСТЕМАМИ

Конвертеры геометрического ядра C3D обеспечивают обмен данными с другими системами. В свою очередь, обмен данными включает в себя две задачи.

Первая задача — импорт. Это чтение из файла, буфера в памяти или потока сторонней геометрической модели в одном из обменных форматов и построение на основе прочитанных данных геометрической модели C3D.

Вторая задача — экспорт. Это представление геометрической модели C3D в одном из обменных форматов и запись этого представления в указанный файл, буфер в памяти или поток.

Максимальный набор данных, которые могут передаваться посредством конвертера, таков:

1. Информация о форме, которая может быть описана с помощью тел, поверхностей, проволочных каркасов и групп точек.
2. Информация о структуре моделей: выделены составляющие её компоненты, которые могут быть многократно использованы в модели.
3. Информация об изделиях: идентификатор, комментарии, сведения об авторах и пр.
4. Атрибуты: визуальные свойства, элементарные атрибуты.
5. Элементы аннотации: размеры, технические требования, обозначения.

Геометрическое ядро C3D поддерживает шесть текстовых форматов и два бинарных. Четыре текстовых формата ACIS, IGES, STEP, X_T и бинарный формат X_B передают информацию о геометрической форме моделируемого объекта с помощью граничного представления (Boundary representation). Два текстовых формата STL, VRML и бинарный формат STL для передачи геометрической формы моделируемого объекта используют полигональное представление (Polygonal representation). Бинарный формат JT может содержать модель как в граничном, так и в полигональном представлении.

T.1.1. Принципы работы конвертера

Работа конвертера предполагает использование интерфейсов, которые можно разделить на две группы. В первую входят интерфейсы, которые имеют реализацию на стороне C3D, во вторую — те интерфейсы, которые должны быть реализованы пользователем. Кроме того, геометрическое ядро C3D предоставляет стандартную реализацию всех интерфейсов, необходимых для обмена данными.

Интерфейсы соответствуют следующим понятиям:

- Конвертер (интерфейс IConvertor3D) — специальный объект, который используется для передачи данных. Реализован на стороне C3D.
- Свойства конвертера (интерфейс IConvertorProperty3D) — служат для передачи настроек обмена в конвертер. Интерфейс имеет стандартную реализацию.
- Документ (интерфейс ItModelDocument) — объект, которому соответствует передаваемая модель в целом. Интерфейс имеет стандартную реализацию.
- Деталь (интерфейс ItModelPart) и сборка (интерфейс ItModelAssembly) — части модели, которые могут быть представлены как детали или как сборочные единицы. Интерфейсы имеют стандартную реализацию.
- Вставка (интерфейс ItModelInstance) — объект, отвечающий за позиционирование и/или повторное использование компонента в модели. Интерфейс имеет стандартную реализацию.

Обобщающим понятием детали и сборки является компонент. Предполагается, что компонент может быть минимальной единицей, которой может соответствовать отдельный файл, с которым работает конечное приложение. Использование компонентов и вставок позволяет сформировать дерево модели, в котором компоненты могут быть многократно использованы.

T.1.2. Порядок работы с конвертером

Конвертеры предоставляют средства для экспорта и импорта как моделей MbModel, так и пользовательских реализаций документов ItModelDocument.

Группа функций, предназначенных для обмена данными моделей MbModel через файлы размещена в файле conv_i_converter.h и объявлена в пространстве имён c3d.

```
MbeConvResType ImportFromFile ( MbModel &          model,
                                const c3d::path_string&  fileName,
                                IConvertorProperty3D * property = 0,
                                IProgressIndicator *     indicator = 0 ),
MbeConvResType ExportIntoFile ( MbModel &          model,
                                const c3d::path_string&  fileName,
                                IConvertorProperty3D * property = 0,
                                IProgressIndicator *     indicator = 0 ).
```

Аргументами функций являются:

- **model** — экспортируемая или замещаемая в случае успеха модель,
- **fileName** — полный путь к файлу,
- *property* — настройки конвертера,
- *indicator* — индикатор прогресса.

Обменный формат определяется на основе расширения файла. При этом возможное противоречие между аргументом fileName и возвращаемым значением метода FullFilePath() аргумента *property* разрешается следующим образом. В качестве имени файла возвращаемое значение FullFilePath() используется только в том случае, если аргумент **fileName** – пустая строка, и *property* не нулевой указатель.

Аналогично, пара функций реализующих передачу моделей в обменные форматы через оперативную память.

```
MbeConvResType ImportFromBuffer ( MbModel &          model,
                                  const char*        data,
                                  size_t             length,
                                  MbeModelExchangeFormat  modelFormat,
                                  IConvertorProperty3D * property = 0,
                                  IProgressIndicator *   indicator = 0 ),
MbeConvResType ExportIntoBuffer ( MbModel &          model,
                                  MbeModelExchangeFormat  modelFormat,
                                  char*&             data,
                                  size_t&            length,
                                  IConvertorProperty3D * property = 0,
                                  IProgressIndicator *   indicator = 0 ).
```

Аргументами функций являются:

- **model** — экспортируемая или замещаемая в случае успеха модель,
- **modelFormat** – формат обменного файла,
- **data** — адрес буфера в памяти,
- **length** — размер буфера,
- *property* — настройки конвертера,
- *indicator* — индикатор прогресса.

Результат FullFilePath()аргумента *property* используется для определения формата обменного файла только в том случае, если значение modelFormat равно mxf_autodetect.

Ответственность за удаление буфера, который создаёт и наполняет функция **ExportIntoBuffer**, лежит на пользователе. Для освобождения памяти рекомендуется использовать оператор delete[].

К этой же группе функций, которые автоматически распознают формат обменного файла, относится одна функция, работающая с модельным документом.

MbeConvResType **ImportFromFile** (ItModelDocument & **document**,
const c3d::path_string& **fileName**,
IConvertorProperty3D * *property = 0*,
IProgressIndicator * *indicator* = 0).

Аргументами функции являются:

- **document** — формируемый модельный документ,
- **fileName** — полный путь к файлу,
- *property* — настройки конвертера,
- *indicator* — индикатор прогресса.

Базовым способом импорта и экспорта с использованием модельного документа является обращение к методам конвертера Iconvertor3D.

Для начала работы с конвертером необходимо получить его экземпляр.

Определённая в глобальной области видимости функция

IConvertor3D * **GetConvertor3D** ()

создает конвертер, который может выполнять импорт и экспорт моделей в любом из поддерживаемых форматах. Функция не имеет параметров. В случае успеха функция возвращает конвертер, в противном случае возвращает нулевой указатель.

Функция объявлена в файле conv_i_converter.h.

После создания конвертера обмен данными осуществляется путем вызова методов конвертера.

Методы конвертера

MbeConvResType **SATRead** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
std::iostream * **stream**,
IProgressIndicator * *indicator* = 0),

MbeConvResType **SATWrite** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
std::iostream * **stream**,
IProgressIndicator * *indicator* = 0),

MbeConvResType **SATRead** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
IProgressIndicator * *indicator* = 0,
MbRefItem * *qeuryStitch* = 0),

MbeConvResType **SATWrite** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
IProgressIndicator * *indicator* = 0,
MbRefItem * *qeuryStitch* = 0),

MbeConvResType **IGSRead** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
IProgressIndicator * *indicator* = 0,
MbRefItem * *qeuryStitch* = 0),

MbeConvResType **IGSWrite** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
IProgressIndicator * *indicator* = 0,
MbRefItem * *qeuryStitch* = 0),

MbeConvResType **JTRead** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
IProgressIndicator * *indicator* = 0,
MbRefItem * *qeuryStitch* = 0),

MbeConvResType **JTWrite** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
IProgressIndicator * *indicator* = 0,
MbRefItem * *qeuryStitch* = 0),

MbeConvResType **XTRead** (IConvertorProperty3D & **property**,

```
                                ItModelDocument &      document,
                                IProgressIndicator *   indicator = 0,
                                MbRefItem *            qeuryStitch = 0 ),
MbeConvResType   XTWrite    ( IConvertorProperty3D & property,
                                ItModelDocument &      document,
                                IProgressIndicator *   indicator = 0,
                                MbRefItem *            qeuryStitch = 0 ),
MbeConvResType STEPRead     ( IConvertorProperty3D & property,
                                ItModelDocument &      document,
                                IProgressIndicator *   indicator = 0,
                                MbRefItem *            qeuryStitch = 0 ),
MbeConvResType STEPWrite    ( IConvertorProperty3D & property,
                                ItModelDocument &      document,
                                IProgressIndicator *   indicator = 0,
                                MbRefItem *            qeuryStitch = 0 ),
MbeConvResType  STLRead     ( IConvertorProperty3D & property,
                                ItModelDocument &      document,
                                IProgressIndicator *   indicator = 0,
                                MbRefItem *            qeuryStitch = 0 ),
MbeConvResType  STLWrite    ( IConvertorProperty3D & property,
                                  ItModelDocument &      document,
                                IProgressIndicator *   indicator = 0,
                                MbRefItem *            qeuryStitch = 0 ),
MbeConvResType VRMLRead   ( IConvertorProperty3D &  property,
                                ItModelDocument &      document,
                                IProgressIndicator *   indicator = 0,
                                MbRefItem *            qeuryStitch = 0 ),
MbeConvResType VRMLWrite  ( IConvertorProperty3D &  property,
                                ItModelDocument &      document,
                                IProgressIndicator *   indicator = 0,
                                MbRefItem *            qeuryStitch = 0 ),
MbeConvResType OBJRead  ( IConvertorProperty3D &  property,
                                ItModelDocument &      document,
                                IProgressIndicator *   indicator = 0),
```

выполняют импорт и экспорт модели в форматах SAT, IGES, JT. X_T, STEP, STL, VRML, OBJ (только импорт), соответственно.

Входными параметрами метода являются:

- **property** – свойства конвертера,
- **stream** – поток для получения или записи модели обменного формата.
- **document** – документ, передающий геометрическую модель и другую информацию,
- *indicator* – индикатор хода процесса чтения или записи,
- *qeuryStitch* – запросчик сшивки поверхностей или единиц измерения при импорте (устаревший параметр, его не рекомендуется использовать, для управления сшивкой следует пользоваться свойствами конвертера).

В случае успеха метод возвращает cnv_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbeConvResType.

По окончании работы полученный экземпляр конвертера необходимо удалить.

Конвертер наследует интерфейс класса IConvertor3D, который объявлен в файле conv_i_converter.h.

T.1.3. Свойство конвертера IConvertorProperty3D

Свойство конвертера (или просто свойство) является одним из параметров методов обмена данными. Поскольку один и тот же интерфейс IConvertorProperty3D используется для управления работой конвертеров всех форматов, то он содержит как методы, общие для всех форматов, так и

специфичные для того или иного формата. Кроме того, отличается набор данных, которые управляют работой экспорта и импорта.

Методы, которые вызываются во всех случаях, отвечают за получение пути файла обменного формата (если явно не указан поток), настройку фильтра передаваемых объектов по типам и за журнал обмена данными:

const c3d::path_string **FullFilePath** () const;
bool **GetIoPermission**(MbeIOPermiss **nPermission**);
void **GetIoPermissions**(std::vector<bool>& **ioPermissions**);
void **LogReport**(ptrdiff_t **id**, eMsgType **msgType**, eMsgDetail **msgText**);

Методы, которые вызываются при экспорте в любой формат, отвечают за выдачу ряда сведений о документе в целом, о системе координат, относительно которой геометрическая модель должна быть ориентирована, а также запрашивают, следует ли принудительно трансформировать объекты обменного формата так, чтобы сохранялась их форма и взаимное расположение, но использовались только правые системы координат, масштабный множитель единиц длины, на который при экспорте умножаются все линейные размеры:

bool **GetPropertyString** (MbeConverterStrings **nString**, std::string & **propertyString**);
MbPlacement3D **GetOriginLocation**();
bool **ReplaceLocationsToRight**();
double **LengthUnitsFactor**( );

Метод, которые вызываются при импорте из любого формата и служит для запроса масштабного коэффициента единиц длины в пользовательской модели, на который умножаются все линейные размеры.

double **AppLengthUnitsFactor**( );

Методы, которые вызываются при импорте из форматов SAT, X_T, X_B, STEP и IGES, выдают запрет или разрешение на автоматическую сшивку отдельных поверхностей в тела и указывают точность сшивки:

bool **EnableAutoStitch**(double& **stitchPrecision**);

При импорте из IGES и SAT вызывается метод, который разрешает или запрещает конвертеру обратиться к запросчику:

bool **CanShowMessages**();

Остальные методы являются специфическими для экспорта в разные форматы или введены для отладки.

При экспорте в форматы Parasolid (выбор X_T или X_B) и STL вызывается метод, определяющий, будут ли данные предоставляться в текстовом или двоичном виде:

bool **IsFileAscii** ();

При экспорте в STEP вызываются методы, имеющие реализацию по умолчанию, и служащие для задания представления текста в элементах аннотации и прикладного протокола STEP, который будет использоваться:

eTextForm **GetAnnotationTextRepresentation** ();

При экспорте в IGES вызывается метод, который определяет, будет ли экспортироваться информация о топологии:

bool **IsOutOnlySurfaces**();

При экспорте в полигональные форматы (STL и VRML) вызываются методы, имеющие реализацию по умолчанию, и управляющие параметрами расчёта триангуляции:

MbStepData **TesselationParameters**();
bool **DualSeams**();
void **DualSeams**(bool **dSeams**);

При экспорте в STEP и SAT вызывается метод, имеющий реализацию по умолчанию и возвращающий версию формата. Для задания версии рекомендуется использовать предопределенные значения.

long int **GetFormatVersion** ();

Следующие методы введены для отладки:

std::string **GetDocumentName**() const;
bool **IsAssembling** () const;
void **SetIoPermission**(MbeIOPermiss **nPermission**, bool **setF**);
void **SetPropertyString** (MbeConverterStrings **nString**, const std::string & **propertyString**);
bool **ExportComponentsSeparately**().

Геометрическое ядро C3D предоставляет стандартную реализацию интерфейса IConvertorProperty3D.

Класс ConvConvertorProperty3D представляет собой стандартную реализацию свойства конвертера, рис. Т.1.3.1. Свойство наследует интерфейс класса IConvertorProperty3D.

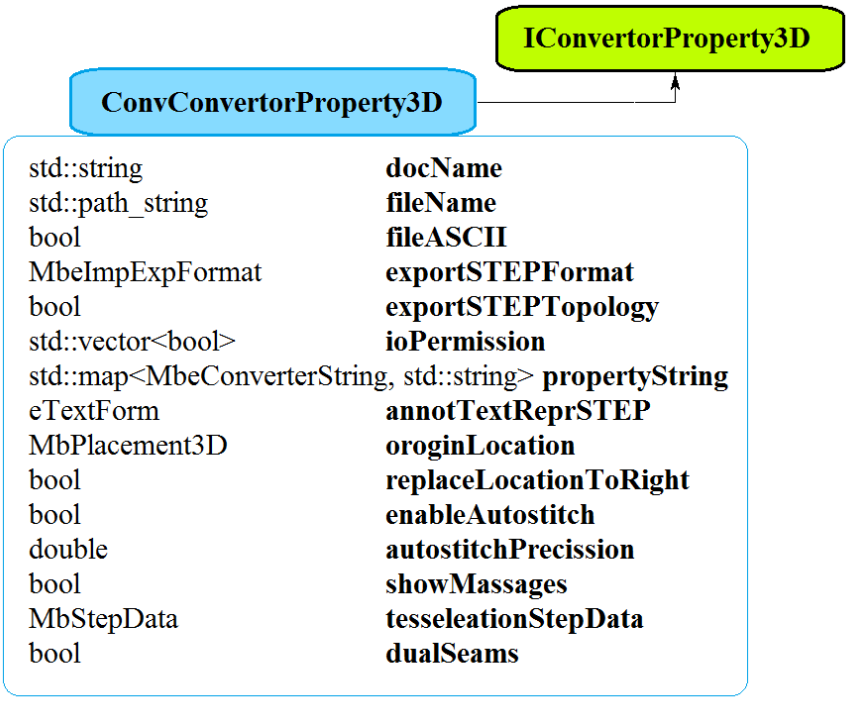


Рис. Т.1.3.1

В своих полях, к которым открыт доступ, класс ConvConvertorProperty3D хранит следующую информацию:

- **fileName –** путь к файлу обменного формата (по умолчанию пустая строка),
- **docName –** название документа (по умолчанию пустая строка),
- **fileASCII –** признак экспорта в текстовый файл (по умолчанию true),
- **formatVersion –** версия формата при экспорте (по умолчанию EXPORT_DEFAULT),
- **exportIGESTopology –** флаг экспорта топологии в формат IGES**(**по умолчанию true**)**,
- **ioPermission** – фильтр объектов по типам (обеспечивает разрешение экспортировать и импортировать объекты любого типа),
- **propertyStrings –** особые сведения о документе (пустой контейнер),
- **annotTextReprSTEP** – представление текста аннотационных элементов (по умолчанию exf_TextOnly),
- **originLocation –** локальную систему координат модели **(**по умолчанию**)**,
- **enableAutostitch –** признак сшивки граней **(**по умолчанию true**)**,
- **autostitchPrecision –** точность сшивки граней (по умолчанию 0.3),
- **tesseleationStepData –** параметры триангуляции **(**по умолчанию**)**,
- **showMessages –** управление обращением к запросчику **(**по умолчанию false**)**,
- **dualSeams –** признак сшивки швов **(**по умолчанию true**)**,
- **lengthUnitsFactor** – масштабный коэффициент единиц длины при экспорте,
- **appUnitsFactor** – масштабный коэффициент единиц длины при импорте,
- **logRecords –** контейнер для кодов журнала обмена данными (пустой контейнер).

Интерфейс IConvertorProperty3D объявлен в файле conv_i_converter.h.

Класс ConvConvertorProperty3D объявлен в файле conv_model_properties.h.

Т.1.4. Документ модели ItModelDocument

Интерфейс ItModelDocument входит в число интерфейсов, использование которых позволяет передавать данные, которые имеют сложную древовидную многокомпонентную структуру, в которой

допускается многократное использование компонентов. Документ предоставляет два способа работы с моделью. Первый — прямое использование модели, формируемой с использованием объектов геометрического ядра C3D. Второй — пользователь реализует интерфейсы ItModelPart, ItModelAssembly, ItModelInstance и методы, которые работают с реализациями. Конвертер в свою очередь проводит обращение к интерфейсным методам возвращаемых объектов.

Методы интерфейса группируются следующим образом.

Группа методов, предназначенных для работы с моделью и контейнером элементов аннотации напрямую:

void **SetContent**(MbItem* **content**);
MbItem * **GetContent**();
map_of_visual_items **GetAnnotationItems**(eTextForm **form**);
void **SetAnnotationItems**(const map_of_visual_items& **visItems**);

Методы, которые ориентированы на использование интерфейсов, в свою очередь делятся на следующие подгруппы.

Группа методов, предназначенных для формирования модели при импорте:

SPtr<ItModelAssembly> **CreateAssembly**(const std::vector< SPtr<MbItem> > & **componentItems**, const c3d::path_string& **fileName**);
SPtr<ItModelPart> **CreatePart**(const std::vector< SPtr<MbItem> > & **componentItems**, const c3d::path_string& **fileName**);
bool **FinishImport**(IProgressIndicator * **indicator**);

Группа методов, предназначенных для получения связанных компонент модели при экспорте:

bool **IsAssembly**();
bool **IsEmpty**();
SPtr<ItModelAssembly> **GetInstanceAssembly**( );
SPtr<ItModelPart>**GetInstancePart**( );

Метод, используемый для отладки:

void **OpenDocument**();

Поскольку заранее неизвестно, какая реализация будет применяться для передачи данных, то при импорте вызывается как метод **SetContent**, так и один из методов **CreateAssembly** или **CreatePart**, в зависимости от результата импорта. Соответственно, при экспорте сначала вызываются методы **GetInstanceAssembly** или **GetInstancePart**, в зависимости от результата **IsAssembly**, и, только если конвертеру не удаётся сформировать модель, вызывается метод **GetContent**.

В модели, сформированной с использованием объектов геометрического ядра C3D, некоторые объекты типа MbItem соответствуют компонентам. Это определяет структуру и содержимое контейнера элементов аннотации, с которым работают методы **GetAnnotationItems** и **SetAnnotationItems**.

В геометрическом ядре C3D имеется стандартная реализация интерфейса ItModelDocument: C3DModelDocument. При импорте модель формируется с использованием стандартных реализаций интерфейсов ItModelPart, ItModelAssembly, ItModelInstance. При экспорте можно либо задать модель с помощью метода **SetContent,** либо сформировать дерево с использованием стандартных реализаций интерфейсов ItModelPart, ItModelAssembly, ItModelInstance.

Интерфейс ItModelDocument объявлен в файле conv_i_converter.h. Класс C3DModelDocument объявлен в файле conv_model_properties.h.

T.1.5. Индикатор процесса выполнения IProgressIndicator

Индикатор процесса выполнения (или просто индикатор) обеспечивает обратную связь конвертера с пользователем. В ходе обмена данными конвертер обращается к различным методам.

Для установки диапазона шагов, размера шага и отображаемых сведений о процессе служит метод
bool **Initialize**(size_t **range**, size_t **delta**, IStrData & **massage**).

Для сообщения о выполнении некоторого числа шагов служит метод
bool **Progress**(size_t **n**).
Метод возвращает признак того, следует ли продолжать операцию.

Для получения сведений о том, следует ли прерывать операцию по требованию пользователя, служит метод
bool **IsCancel**().

Для информирования пользователя о том, что операция завершена, служит метод
void **Success**().

Для информирования пользователя об аварийной остановке процесса служит метод
void **Stop**().

Пользователь может определить способ передать информацию о том, следует ли выполнить принудительную остановку процесса. В качестве стандартного способа пользователю предлагается реализовать метод
void **SetCancel**(bool **cancel**)

Интерфейс IProgressIndicator объявлен в файле alg_indicator.h.

В тестовом приложении класс ProgressIndicatorImp представляет собой одну из возможных реализаций индикатора.

Класс ProgressIndicatorImp объявлен и реализован в файле test_converter.cpp тестового приложения геометрического ядра C3D.

T.1.6. Архитектура дерева модели

Для модели, сформированной с использованием объектов геометрического ядра C3D, приняты следующие соглашения.

- Документ эквивалентен корневому компоненту (компоненту высшего уровня).
- Компоненту всегда соответствует объект типа MbAssembly в случае формата с граничным представлением. В случае формата с полигональным представлением в качестве компонента допустим объект типа MbMesh. Ожидается, что на компонент назначены свойства, и это выражается в том, что компонент обладает атрибутами типа MbProductInfo и MbPersonOrganizationInfo.
- Собственными объектами компонента могут быть объекты типа MbSolid, MbWireFrame, MbPointFrame, MbSpaceInstance и MbPlaneInstance для форматов с граничным представлением, либо MbMesh для полигональных форматов, которые лежат в MbAssembly.
- Вложенность компонент и их позиционирование осуществляется с помощью объектов типа MbInstance. MbInstance лежит в компоненте верхнего уровня и ссылается на компонент нижнего уровня. Циклические зависимости недопустимы.

Подход, согласно которому модель для обмена данными формируется средствами геометрического ядра C3D, имеет ряд недостатков. Наиболее существенный из них заключается в том, что использование конкретных объектов и конкретной конфигурации затрудняет развитие функционала: внесение любых изменений приведёт к необходимости внесения ответных изменений у всех пользователей. Использование интерфейсов модели, компонента и вставки, реализуемых на стороне пользователя, даёт последним независимость от конкретной реализации.

В терминах интерфейсов архитектура выглядит следующим образом.

- Документ ItModelDocument содержит в себе компонент высшего уровня.
- Компоненты бывают двух типов: детали ItModelPart и сборки ItModelAssembly. Разница между ними лишь в интерпретации, оба типа могут ссылаться на компоненты более низкого уровня.
- Собственными объектами компонентов могут быть объекты типаMbSolid, MbWireFrame, MbPointFrame, MbSpaceInstance и MbPlaneInctance.
- Вложенность компонент и их позиционирование осуществляется с помощью объектов ItModelInstance. Циклические зависимости недопустимы.

T.1.7. Свойства элементов модели ItModelInstanceProperties

ItModelInstanceProperties — базовый класс, предок интерфейсов ItModelPart, ItModelAssembly, ItModelInstance. В интерфейсе объявлены методы, которые можно группировать следующим образом.

Первая группа методов обеспечивает передачу сведений о компоненте.

Идентификатор изделия передают методы:
std::string **Name**(),
bool **SetName**(const std::string& **name**).

Передачу обозначения изделия выполняют методы:
std::string **Marking**(),

bool **SetMarking**(const std::string& **marking**).

Передачу сведений об авторе выполняют методы:

std::string **Author**(),

bool **SetAuthor**(const std::string& **author**).

Передачу сведений об организации выполняют методы

std::string **Organization**(),

bool **SetOrganization**(const std::string& **organization**).

Передачу комментариев выполняют методы:

std::vector< std::string> **GetComments**(),

bool **SetComments**(const std::vector< std::string>& **comments**).

Вторая группа методов предназначена для передачи визуальных свойств.

Для передачи собственных визуальных свойств компонента или вставки предназначены методы:

bool **GetColor**(MbAttributeContainer& **visual**),

bool **SetColor**(const MbAttributeContainer& **visual**).

Для передачи визуальных свойств объектов, которые принадлежат какому-либо из элементов, например, граням тел, предназначены методы:

bool **GetColor**(MbAttributeContainer& **visual**, const MbName& **name**),

bool **SetColor**(const MbAttributeContainer& **visual**, const MbName& **name**).

Для передачи визуальных свойств какого-либо объектов, принадлежащего компоненту, например, тела, индекс которого известен, предназначен метод:

bool **SetColor**(const MbAttributeContainer& **visual**, size_t **index**).

Третья группа методов предназначена для передачи технических требований, относящихся к компонентам. К этой группе относятся методы:

void **GetRequirements**(vector_of_annotation& **annot**, eTextForm **textRepr**),

void **SetRequirements**(const vector_of_annotation& **annot**).

T.1.8. Компоненты ItModelPart и ItModelAssembly

Интерфейсы ItModelPart и ItModelAssembly имеют одинаковый набор методов, поэтому их можно считать идентичными с точностью до интерпретации. Назначение свойств компонентов, визуальных свойств и технических требований реализуется посредством методов базового класса ItModelInstanceProperties.

Метод **PureFileName**() вызывается при экспорте и возвращает строку, смысл которой — имя файла компонента.

Работа с собственными объектами осуществляется с помощью следующей группы методов:

void **GetItems**(std::vector< SPtr<MbItem> > & **items**, MbeGettingItemType **itemType**, bool **includeInvisible**),

\void **AddItems**(const std::vector< SPtr<MbItem> > & **items**).

Метод **GetItems** предназначен для выдачи элементов в контейнер с использованием фильтров типа и видимости, которые формируются на основе значений, возвращаемых методом IConvertorProperty3D::**GetIoPermission**.

Метод **AddItems** используется при импорте и предназначен для добавления элементов в компонент.

Для работы со вставками предназначены методы:.

SPtr<ItModelInstance> **PrepareInstance**();

SPtr<ItModelInstance> **NextInstance**(bool **includeInvisible**).

Метод **PrepareInstance** предназначен для осуществления вставки компонента при импорте.

Метод **NextInstance** представляет собой итератор вставок при экспорте. Предполагается, что итератор готов к выдаче вставок с начала. Признаком окончания является возврат нулевого указателя. Значение фильтра видимости в процессе обхода соответствует результату вызова метода IConvertorProperty3D::**GetIoPermission** (iop_wInvisible).

Для получения и задания элементов аннотации при экспорте и импорте, соответственно, предусмотрены парные методы:

vector_of_annotation **GetAnnotationItems**(eTextForm **textForm**, bool **includeInvisible**),

void **SetAnnotationItems**(const vector_of_annotation & **annot**).

Метод **GetAnnotationItems**(eTextForm **textForm**) в конвертерах не вызывается.

Интерфейсы ItModelDetail и ItModelAssembly объявлены в файле conv_model_properties.h

T.1.9. Вставки ItModelInstance

Наследование интерфейса вставки ItModelInstance от ItModelInstanceProperties сложилось исторически, и сохранено для совместимости. В рамках сложившегося подхода корректным является только назначение собственных визуальных свойств вставке.

Метод void * **GetId**() позволяет различать вставки эквивалентных компонентов. Если различные вставки возвращают одинаковое значение, эквивалентность определяется по результатам анализа содержания. В процессе экспорта конвертер стремится к оптимизации модели за счёт многократного использования эквивалентных компонент. Пользователь может предоставить информацию о том, какие компоненты точно не являются эквивалентными для сокращения вычислительных затрат при экспорте.

При экспорте для получения такой информации о вставке, как локальная система координат вставки, содержимое вставки, отсутствие наполнения вставки, используется методы:

bool **GetPlacement**(MbPlacement3D & **place**),
bool **IsAssembly**(),
bool **IsEmpty**().

Если вставка не пуста, то в зависимости от результата метода **IsAssembly**() вызывается один из методов:

SPtr<ItModelAssembly> **GetInstanceAssembly**( ),
SPtr<ItModelPart> **GetInstancePart**( ).

Эти методы возвращают интерфейс компонента, на который ссылается вставка.

Для создания компонентов при импорте предназначены методы:

```
SPtr<ItModelAssembly> CreateAssembly( const MbPlacement3D &place,
                                      const std::vector<SPtr<MbItem> > &
                                            componentItems,
                                      const c3d::path_string& fileName );
SPtr<ItModelPart>     CreatePart( const MbPlacement3D &place,
                                  const std::vector< SPtr<MbItem> > &
                                        componentItems,
const c3d::path_string& fileName );
```

Результатом работы этих методов является интерфейс компонента, размещение которого в компоненте верхнего уровня описано локальной системой координат **place**, компонент наполняется элементами из контейнера **componentItems**, ему соответствует имя файла **fileName**.

Для размещения во вставке ранее созданных компонентов используются методы:

bool **SetAssembly**(const MbPlacement3D & **place**, const ItModelAssembly * **existing**),
bool **SetPart**(const MbPlacement3D & **place**, const ItModelPart * **existing**).

Размещение компонента **existing** определяется локальной системой координат **place**.

Интерфейс ItModelInstance объявлен в файле conv_model_properties.h.

T.1.10. Атрибуты изделия

Сведения об изделии, которые передаются через конвертер, включают в себя:

- Информация о компоненте: тип (деталь или сборочная единица), идентификатор, название, комментарий.
- Информация об авторе и организации.

Указанная информация передаётся посредством атрибутов MbProductInfo и MbPersonOrganizationInfo, соответственно.

T.1.11. Информация о компоненте MbProductInfo

Класс MbProductInfo нужно назначать на элемент модели MbItem, который нужно выделить как компонент либо на элемент модели типа MbInstance в том случае, когда наименование, обозначение или комментарий вставки отличаются от соответствующих данных используемого компонента.

Основной конструктор класса MbProductInfo имеет следующую сигнатуру:

MbProcuctInfo(const c3d::string_t& **initId**, const c3d::string_t& **initName**, const c3d::string_t& **initDesc**, bool **isAssm**).

Аргумент **initId** используется для передачи идентификатора (обозначения) компонента, **initName** – наименования компонента, **initDesc** – комментариев, **isAssm** – признака того, является ли компонент сборочной единицей.

Основным способом получения строковых данных об изделии является вызов метода

void **GetData**(c3d::string_t& **oId**, c3d::string_t& **oName**, c3d::string_t& **oDesc**) const.
Выходные аргументы **oId**, **oName**, **oDesc** используются для передачи идентификатора, наименования и комментария, соответственно.

Для получения информации о том, является ли компонент сборочной единицей, используется метод

bool **IsAssembly**() const.
Класс MbProductInfo содержит также методы, принимающие строки типа std::string. Эти методы осуществляют преобразования с помощью функций c3d::ToSTDstringи c3d::ToC3Dstring.

Конструктор

MbProductInfo(bool **isAssm**, const std::string& **initId**, const std::string& **initName**, const std::string& **initDesc**).

Получение информации об изделии

void **GetDataStd**(std::string& **oId**, std::string& **oName**, std::string& **oDesc**) const.

T.2. КОНВЕРТЕРЫ ГРАНИЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Геометрическое ядро C3D выполняет чтение файлов в форматах ACIS, IGES, STEP, X_T, X_B, JT и построение по ним внутренней модели, а также запись внутренней модели в перечисленные форматы. Текстовые форматы ACIS, IGES, STEP, X_T и бинарные форматы X_B и JT передают информацию о геометрической форме моделируемого объекта в граничном представлении (Boundary representation). В граничном представлении для описания геометрической формы используются тела, которые представлены гранями, рёбрами и вершинами.

T.2.1. Общая характеристика функций конвертеров граничного представления

Определённые в глобальной области видимости специальные функции по сравнению с методами конвертера (описан в разделе.1.2.) имеют незначительные в подавляющем большинстве случаев ограничения: они не работают с потоками и не принимают в качестве аргумента запросчик сшивки поверхностей.

Все функции имеют однотипную сигнатуру: принимают в качестве аргументов свойства конвертера IConvertorProperty3D (описан в разделеT.1.3. Свойство конвертера IConvertorProperty3D), модельный документ ItModelDocument (описан в разделеT.1.4. Документ модели ItModelDocument) и, в качестве необязательного параметра, индикатор процесса выполнения IProgressIndicator (описан в разделе T.1.5. Индикатор процесса выполнения IProgressIndicator). Логика работы всех функций также однотипна: все функции получают экземпляр конвертера, вызывают один из его методов и, по окончании работы, удаляют конвертер. В случае успеха функции возвращают cnv_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbeConvResType.

T.2.2. Общие сведения о параметрах конвертеров граничного представления

При передаче данных конвертер обращается к методам **FullFilePath**, **GetIoPermission**, **GetIoPermissions**, **LogReport** интерфейса IConvertorProperty3D.

При импорте конвертер обращается к методу **EnableAutoStitch** интерфейсаIConvertorProperty3D.

При экспорте конвертер обращается к методам **GetPropertyString**, **GetOriginLocation**, **ReplaceLocationsToRight** интерфейса IConvertorProperty3D.

В случае использования стандартной реализации ConvConvertorProperty3D (описана в разделе T.1.3. Свойство конвертера IConvertorProperty3D) поле **fileName** должно содержать корректный полный путь к файлу обменного формата. Значения других полей, задаваемые по умолчанию, обеспечивают корректную работу методов. При экспорте файл будет создан либо перезаписан автоматически, если нет ограничений со стороны файловой системы.

В качестве модельного документа может быть выбрана одна из стандартных реализаций Ошибка: источник перекрёстной ссылки не найден или Ошибка: источник перекрёстной ссылки не найден. Использование последней предпочтительно, если нужно максимально подробно передавать данные об изделии, используя обменный формат STEP.

В качестве индикатора процесса выполнения допускается передача нулевого указателя.

T.2.3. Импорт модели в формате SAT

Функция

```
MbeConvResType SATRead ( IConvertorProperty3D & property,
                         ItModelDocument &      document,
                         IProgressIndicator *   indicator )
```

выполняет импорт геометрической модели формата SAT версий вплоть до 22.0.

Входными и выходными параметрами метода являются:

- **property** – свойства конвертера,
- **document** – документ, передающий геометрическую модель и другую информацию,
- *indicator* – индикатор хода процесса чтения или записи.

При удачной работе конвертера функция возвращает cnv_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbeConvResType.

Описание общих настроек импорта приведено в разделе Т.2.2. Общие сведения о параметрах конвертеров граничного представления. Хотя конвертер SAT обращается к методу IConvertorProperty3D::**CanShowMessages**, возвращаемое значение ни на что не влияет, поскольку отсутствует запросчик масштаба.

Геометрическая модель представляет собой либо один компонент, содержащий объекты типа MbSolid, либо одноуровневую сборку, компоненты которой содержат тела. Импортируются обозначения компонентов, не являющихся корневыми, визуальные свойства и элементарные атрибуты граней, рёбер, вершин.

Пример использования функции **SATRead** отсутствует. Для демонстрации импорта из SAT в тестовом приложении используется метод конвертера IConvertor3D, в котором явно задан поток.

Т.2.4. Экспорт модели в формат SAT

Функция

MbeConvResType **SATWrite** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
IProgressIndicator * *indicator*)

выполняет экспорт геометрической модели в формат SAT версии 2.0.

Входными и выходными параметрами метода являются:

- **property** – свойства конвертера,
- **document** – документ, передающий геометрическую модель и другую информацию,
- *indicator* – индикатор хода процесса чтения или записи.

При удачной работе конвертера функция возвращает cnv_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbeConvResType.

Описание общих настроек экспорта приведено в разделе Т.2.2. Общие сведения о параметрах конвертеров граничного представления.

При экспорте модель, не являющаяся однокомпонентной, преобразуется в одноуровневую сборку с сохранением формы. Многократно используемые элементы дублируются. В формат SAT экспортируются только объекты типа MbSolid. Экспортируются обозначения компонентов, не являющихся корневыми, визуальные свойства и элементарные атрибуты граней, рёбер, вершин.

Пример использования метода **SATWrite** приведен в файле test_converter.cpp демонстрационного приложения геометрического ядра C3D.

Т.2.5. Импорт модели в формате IGES

Функция

MbeConvResType **IGSRead** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
IProgressIndicator * *indicator*)

выполняет импорт геометрической модели формата IGES версии 5.3.

Входными и выходными параметрами метода являются:

- **property** – свойства конвертера,
- **document** – документ, передающий геометрическую модель и другую информацию,
- *indicator* – индикатор хода процесса чтения или записи.

При удачной работе конвертера функция возвращает cnv_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbeConvResType.

Описание общих настроек импорта приведено в разделе Т.2.2. Общие сведения о параметрах конвертеров граничного представления. Хотя конвертер IGES обращается в методу IConvertorProperty3D::**CanShowMessages**, возвращаемое значение ни на что не влияет, поскольку отсутствует запросчик на сшивку поверхностей.

Импортированная модель может иметь произвольную степень вложенности и содержать объекты типа MbSolid, MbWireFrame, MbPointFrame. Импортируются сведения об авторе и организации корневого компонента, обозначения компонентов, не являющихся корневыми, визуальные свойства граней тел и рёбер проволочных каркасов.

Пример использования метода **IGSRead** приведен в файле test_converter.cpp демонстрационного приложения геометрического ядра C3D.

Т.2.6. Экспорт модели в формат IGES

Функция

MbeConvResType **IGSWrite** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
IProgressIndicator * *indicator*)

выполняет экспорт геометрической модели в формат IGES версии 5.3.

Входными и выходными параметрами метода являются:

- **property** – свойства конвертера,
- **document** – документ, передающий геометрическую модель и другую информацию,
- *indicator* – индикатор хода процесса чтения или записи.

При удачной работе конвертера функция возвращает cnv_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbeConvResType.

Описание общих настроек экспорта приведено в разделе Т.2.2. Общие сведения о параметрах конвертеров граничного представления.

Экспортируемая модель может иметь произвольную степень вложенности и содержать объекты типа MbSolid, MbWireFrame, MbPointFrame, MbSpaceInstance, MbPlaneInctance. Экспортируются сведения об авторе и организации корневого компонента, обозначения компонентов, не являющихся корневыми, визуальные свойства граней тел и рёбер проволочных каркасов.

Пример использования метода **IGSWrite** приведен в файле test_converter.cpp демонстрационного приложения геометрического ядра C3D.

Т.2.7. Импорт модели в формате JT

Функция

MbeConvResType **JTRead** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
IProgressIndicator * *indicator*)

выполняет импорт геометрической модели формата JT версий 8.0 — 11.x.

Входными и выходными параметрами метода являются:

- **property** – свойства конвертера,
- **document** – документ, передающий геометрическую модель и другую информацию,
- *indicator* – индикатор хода процесса чтения или записи.

При удачной работе конвертера функция возвращает cnv_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbeConvResType.

Описание общих настроек импорта приведено в разделе Т.2.2. Общие сведения о параметрах конвертеров граничного представления. Хотя конвертер JT обращается в методу IConvertorProperty3D::**CanShowMessages**, возвращаемое значение ни на что не влияет, поскольку отсутствует запросчик на сшивку поверхностей.

Импортированная модель может иметь произвольную степень вложенности и содержать объекты типа MbSolid, MbWireFrame, MbPointFrame. Импортируются сведения об авторе и организации корневого компонента, обозначения компонентов, не являющихся корневыми, визуальные свойства граней тел и рёбер проволочных каркасов.

Пример использования метода **JTRead** приведен в файле test_converter.cpp демонстрационного приложения геометрического ядра C3D.

T.2.8. Экспорт модели в формат JT

Функция
MbeConvResType **JTWrite** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
IProgressIndicator * *indicator*)
выполняет экспорт геометрической модели в формат JT версии 9.5.

Входными и выходными параметрами метода являются:

- **property** – свойства конвертера,
- **document** – документ, передающий геометрическую модель и другую информацию,
- *indicator* – индикатор хода процесса чтения или записи.

При удачной работе конвертера функция возвращает cnv_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbeConvResType.

Описание общих настроек экспорта приведено в разделе T.2.2. Общие сведения о параметрах конвертеров граничного представления.

Экспортируемая модель может иметь произвольную степень вложенности и содержать объекты типа MbSolid, MbWireFrame, MbPointFrame, MbSpaceInstance, MbPlaneInctance. Экспортируются сведения об авторе и организации корневого компонента, обозначения компонентов, не являющихся корневыми, визуальные свойства граней тел и рёбер проволочных каркасов.

Пример использования метода **JTWrite** приведен в файле test_converter.cpp демонстрационного приложения геометрического ядра C3D.

T.2.9. Импорт модели форматов X_T и X_B

Функция
MbeConvResType **XTRead** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
IProgressIndicator * *indicator*)
выполняет импорт геометрической модели форматов Parasolid (текстовый X_T и бинарный X_B) версии вплоть до 25.0.

Входными и выходными параметрами метода являются:

- **property** – свойства конвертера,
- **document** – документ, передающий геометрическую модель и другую информацию,
- *indicator* – индикатор хода процесса чтения или записи.

При удачной работе конвертера функция возвращает cnv_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbeConvResType.

Описание общих настроек импорта приведены в разделе T.2.2. Общие сведения о параметрах конвертеров граничного представления.

Импортированная модель может иметь произвольную степень вложенности и содержать объекты типа MbSolid. Импортируются обозначения компонентов, визуальные свойства и элементарные атрибуты граней, рёбер и вершин тел.

Пример использования метода **XTRead** приведен в файле test_converter.cpp демонстрационного приложения геометрического ядра C3D.

T.2.10. Экспорт модели в форматы X_T, X_B

Функция
MbeConvResType **XTWrite** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
IProgressIndicator * *indicator*)

выполняет экспорт геометрической модели в текстовый формат X_T или в бинарный формат X_B версии 10.0.

Входными и выходными параметрами метода являются:

- **property** – свойства конвертера,
- **document** – документ, передающий геометрическую модель и другую информацию,
- *indicator* – индикатор хода процесса чтения или записи.

При удачной работе конвертера функция возвращает cnv_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbeConvResType.

Описание общих настроек экспорта приведено в разделе Т.2.2. Общие сведения о параметрах конвертеров граничного представления. В зависимости от значения, возвращаемого методом IConvertorProperty3D::**IsFileAscii**, конвертер формирует текстовый (*.X_T) либо двоичный (*.X_B) файл.

Экспортируемая модель может иметь произвольную степень вложенности и содержать объекты типа MbSolid. Экспортируются обозначения компонентов, а также визуальные свойства граней, рёбер и вершин тел.

Пример использования метода **XTWrite** приведен в файле test_converter.cpp демонстрационного приложения геометрического ядра C3D.

Т.2.11. Импорт модели формата STEP

Функция

MbeConvResType **STEPRead** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument& **document**,
IProgressIndicator * *indicator*)

выполняет импорт геометрической модели формата STEP. Поддерживаемые прикладные протоколы — 203, 214.

Входными и выходными параметрами метода являются:

- **property** – свойства конвертера,
- **document** – документ, передающий геометрическую модель и другую информацию,
- *indicator* – индикатор хода процесса чтения или записи.

При удачной работе конвертера функция возвращает cnv_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbeConvResType.

Описание общих настроек импорта приведены в разделе Т.2.2. Общие сведения о параметрах конвертеров граничного представления.

Импортированная модель может иметь произвольную степень вложенности и содержать объекты типа MbSolid, MbWireFrame, MbPointFrame, MbSpaceInstance. Импортируются свойства компонентов, визуальные свойства и элементарные атрибуты граней, рёбер и вершин тел, плотность материалов, а также размеры и технические требования.

Пример использования метода **STEPRead** приведен в файле test_converter.cpp демонстрационного приложения геометрического ядра C3D.

Т.2.12. Экспорт модели в формат STEP

Функция

MbeConvResType **STEPWrite** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
IProgressIndicator * *indicator*)

выполняет экспорт геометрической модели в формат STEP. Поддерживаемые прикладные протоколы — 203, 214.

Входными и выходными параметрами метода являются:

- **property** – свойства конвертера,
- **document** – документ, передающий геометрическую модель и другую информацию,
- *indicator* – индикатор хода процесса чтения или записи.

При удачной работе конвертера функция возвращает cnv_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbeConvResType.

Описание общих настроек экспорта приведено в разделе Т.2.2. Общие сведения о параметрах конвертеров граничного представления .В зависимости от значения, возвращаемого методом IConvertorProperty3D::**GetFormat**, конвертер генерирует данные прикладного протокола 203 или 214. Значение, возвращаемое методом IConvertorProperty3D::**GetAnnotationTextRepresentation** передаётся в качестве аргументов при вызове методов ItModelPart::**GetAnnotationItems**, ItModelAssembly::**GetAnnotationItems**, ItModelDocument::**GetAnnotationItems**, ItModelInstanceProperties::**GetRequirements**.

Экспортируемая модель может иметь произвольную степень вложенности и содержать объекты типа MbSolid, MbWireFrame, MbPointFrame, MbSpaceInstance. Экспортируются свойства компонентов, визуальные свойства и элементарные атрибуты граней, рёбер и вершин тел, плотность материалов. Экспортируются размеры и технические требования компонентов.

Пример использования метода **STEPWrite** приведен в файле test_converter.cpp демонстрационного приложения геометрического ядра C3D.

Т.3. КОНВЕРТЕРЫ ПОЛИГОНАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Геометрическое ядро C3D выполняет чтение файлов в форматах STL (текстовый и бинарный), VRML и построение по ним внутренней модели, а также запись внутренней модели в перечисленные форматы. Текстовые форматы STL, VRML и бинарный формат STL используют полигональное представление (Polygonal representation) для передачи геометрической формы моделируемого объекта. В полигональном представлении для описания геометрической формы используются треугольники и полигоны.

Т.3.1. Общая характеристика функций конвертеров полигонального представления

Определённые в глобальной области видимости специальные функции имеют единственное отличие от методов конвертера (описан в разделе .1.2.)), которое заключается в том, что они не принимают в качестве аргумента запросчик сшивки поверхностей.

Все функции имеют однотипную сигнатуру: принимают в качестве аргументов свойства конвертера IConvertorProperty3D (описан в разделе Т.1.3. Свойство конвертера IConvertorProperty3D), модельный документ ItModelDocument (описан в разделе Т.1.4. Документ модели ItModelDocument) и, в качестве необязательного параметра, индикатор процесса выполнения IProgressIndicator (описан в разделе Т.1.5. Индикатор процесса выполнения IProgressIndicator). Логика работы всех функций также однотипна: все функции получают экземпляр конвертера, вызывают один из его методов и, по окончании работы, удаляют конвертер. В случае успеха функции возвращают cnv_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbeConvResType.

Т.3.2. Общие сведения о параметрах конвертеров полигонального представления

При передаче данных конвертер обращается к методам **FullFilePath**, **GetIoPermission**, **GetIoPermissions**, **LogReport** интерфейса IConvertorProperty3D.

При экспорте конвертер обращается к методам **ReplaceLocationsToRight**, **TesselationParameters**, **DualSeams** интерфейса IConvertorProperty3D. Параметры расчёта триангуляции используются для построения полигонального представления всех экспортируемых объектов за исключением MbMesh.

В случае использования стандартной реализации ConvConvertorProperty3D (описана в разделе Т.1.3. Свойство конвертера IConvertorProperty3D) поле **fileName** должно содержать корректный полный путь к файлу обменного формата. Значения других полей, задаваемые по умолчанию, обеспечивают корректную работу методов. При экспорте файл будет создан либо перезаписан автоматически, если нет ограничений со стороны файловой системы.

Если предполагается использовать одну из стандартных реализаций модельного документа, то выбор определяется тем, планируется ли использовать интерфейсные методы или модель, сформированную с использованием объектов геометрического ядра C3D. В первом случае следует пользоваться реализацией Ошибка: источник перекрёстной ссылки не найден, во втором – Ошибка: источник перекрёстной ссылки не найден.

В качестве индикатора процесса выполнения допускается передача нулевого указателя.

Т.3.3. Импорт модели формата STL

Функция

MbeConvResType **STLRead** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
IProgressIndicator * *indicator*)

выполняет импорт геометрической модели формата STL текстовой или бинарной формы.

Входными и выходными параметрами метода являются:

- **property** – свойства конвертера,
- **document** – документ, передающий геометрическую модель и другую информацию,
- *indicator* – индикатор хода процесса чтения или записи.

При удачной работе конвертера функция возвращает cnv_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbeConvResType.

Описание общих настроек импорта приведено в разделе Т.3.2. Общие сведения о параметрах конвертеров полигонального представления. Импортированная модель однокомпонентная, компонент содержит один объект типа MbMesh. Формат STL не предоставляет средств для передачи полигонов.

Пример использования метода **STLRead** приведен в файле test_converter.cpp демонстрационного приложения геометрического ядра C3D.

Т.3.4. Экспорт модели в формате STL

Функция

MbeConvResType **STLWrite** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
IProgressIndicator * *indicator*)

выполняет экспорт геометрической модели в формат STL текстовой или бинарной формы.

Входными и выходными параметрами метода являются:

- **property** – свойства конвертера,
- **document** – документ, передающий геометрическую модель и другую информацию,
- *indicator* – индикатор хода процесса чтения или записи.

При удачной работе конвертера функция возвращает cnv_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbeConvResType.

Описание общих настроек экспорта приведено в разделе Т.3.2. Общие сведения о параметрах конвертеров полигонального представления. В зависимости от значения, возвращаемого методом IConvertorProperty3D::**IsFileAscii**, конвертер формирует файл формата STL текстовой или бинарной формы. Кроме того, конвертер формата STL обращается к методу IConvertorProperty3D::**GetOriginLocation**.

При экспорте сохраняется форма модели (с точностью до преобразования к полигональному представлению), но полностью теряются полигоны и информация о её структуре. Многократно используемые элементы дублируются.

Пример использования метода **STLWrite** приведен в файле test_converter.cpp демонстрационного приложения геометрического ядра C3D.

Т.3.5. Импорт модели формата VRML

Функция

MbeConvResType **VRMLRead** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
IProgressIndicator * *indicator*)

выполняет импорт геометрической модели формата VRML версии 2.0.

Входными и выходными параметрами метода являются:

- **property** – свойства конвертера,
- **document** – документ, передающий геометрическую модель и другую информацию,
- *indicator* – индикатор хода процесса чтения или записи.

При удачной работе конвертера функция возвращает cnv_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbeConvResType.

Описание общих настроек импорта приведено в разделе Т.3.2. Общие сведения о параметрах конвертеров полигонального представления.

Импортированная модель может иметь произвольную степень вложенности и содержать объекты типа MbMesh. Импортируются визуальные свойства сеток.

Пример использования метода **VRMLRead** приведен в файле test_converter.cpp демонстрационного приложения геометрического ядра C3D.

T.3.6. Экспорт модели в формат VRML

Функция

MbeConvResType **VRMLWrite** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
IProgressIndicator * *indicator*)

выполняет экспорт геометрической модели в формат VRML версии 2.0.

Входными и выходными параметрами метода являются:

- **property** – свойства конвертера,
- **document** – документ, передающий геометрическую модель и другую информацию,
- *indicator* – индикатор хода процесса чтения или записи.

При удачной работе конвертера функция возвращает cnv_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbeConvResType.

Описание общих настроек экспорта приведено в разделе T.3.2. Общие сведения о параметрах конвертеров полигонального представления.

При экспорте сохраняется форма модели (с точностью до преобразования к полигональному представлению), информация о её структуре, визуальные свойства сеток.

Пример использования метода **VRMLWrite** приведен в файле test_converter.cpp демонстрационного приложения геометрического ядра C3D.

T.3.7. Импорт модели формата OBJ

Функция

MbeConvResType **OBJRead** (IConvertorProperty3D & **property**,
ItModelDocument & **document**,
IProgressIndicator * *indicator*)

выполняет импорт геометрической модели формата OBJ.

Входными и выходными параметрами метода являются:

- **property** – свойства конвертера,
- **document** – документ, передающий геометрическую модель и другую информацию,
- *indicator* – индикатор хода процесса чтения или записи.

При удачной работе конвертера функция возвращает cnv_Success, в противном случае метод возвращает код ошибки из перечисления MbeConvResType.

Описание общих настроек импорта приведено в разделе T.3.2. Общие сведения о параметрах конвертеров полигонального представления.

Импортированная модель может иметь произвольную степень вложенности и содержать объекты типа MbMesh. Импортируются визуальные свойства сеток.

Пример использования метода **OBJRead** приведен в файле test_converter.cpp демонстрационного приложения геометрического ядра C3D.