

# Вопрос распараллеливания в разработке ядра геометрического моделирования

---

**Шаповалов О.В.**, Крыжановский Д.И., Катаев А.В.,  
Сергеев Е.С., Чалышев В.С., Андреев А.Е.

# Геометрическое ядро

- Пакет геометрического моделирования (называемый также геометрическим ядром) — набор библиотек с программным интерфейсом (API), с помощью которого можно пользоваться функциями геометрического (например, каркасного, поверхностного или твердотельного) моделирования:
  - моделирование топологии граничного представления;
  - геометрические объекты и операции над ними;
  - булевы операции и операции редактирования поверхностей;
  - удаление невидимых линий и рендеринг;
  - модули для чтения и записи геометрических файлов популярных форматов.

## Пользователи геометрических ядер

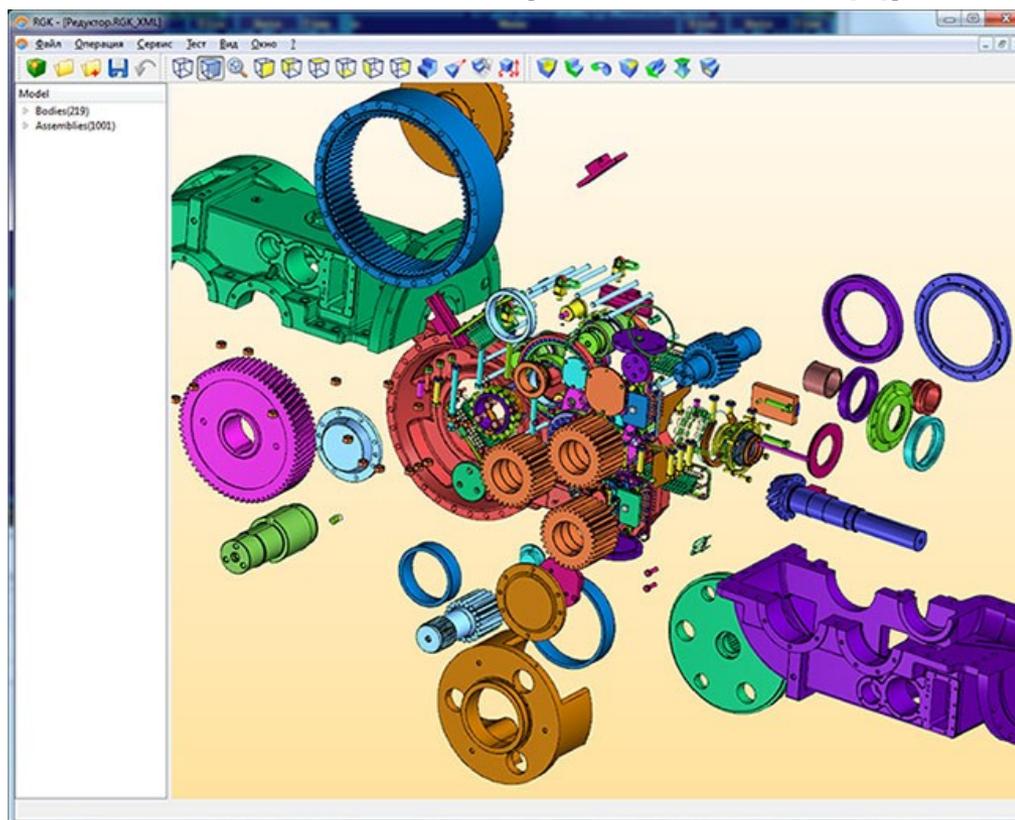
- Разработчики CAD/CAM
- Разработчики систем инженерного анализа
- Разработчики пакетов 3D-моделирования

## Ядра геометрического моделирования

Ядро	Разработчик	Тип ядра	Распараллеливание
ACIS 3D Geometric Modeler	Spatial/Dassault Systemes	Лицензируемое	Нет
Open CASCADE	Matra Datavision	Доступно в исходном коде	Нет
Parasolid	UGS	Лицензируемое	Нет
Компас-3D	Аскон	Лицензируемое	Нет

# Russian Geometry Kernel

- RGK – Российское геометрическое ядро

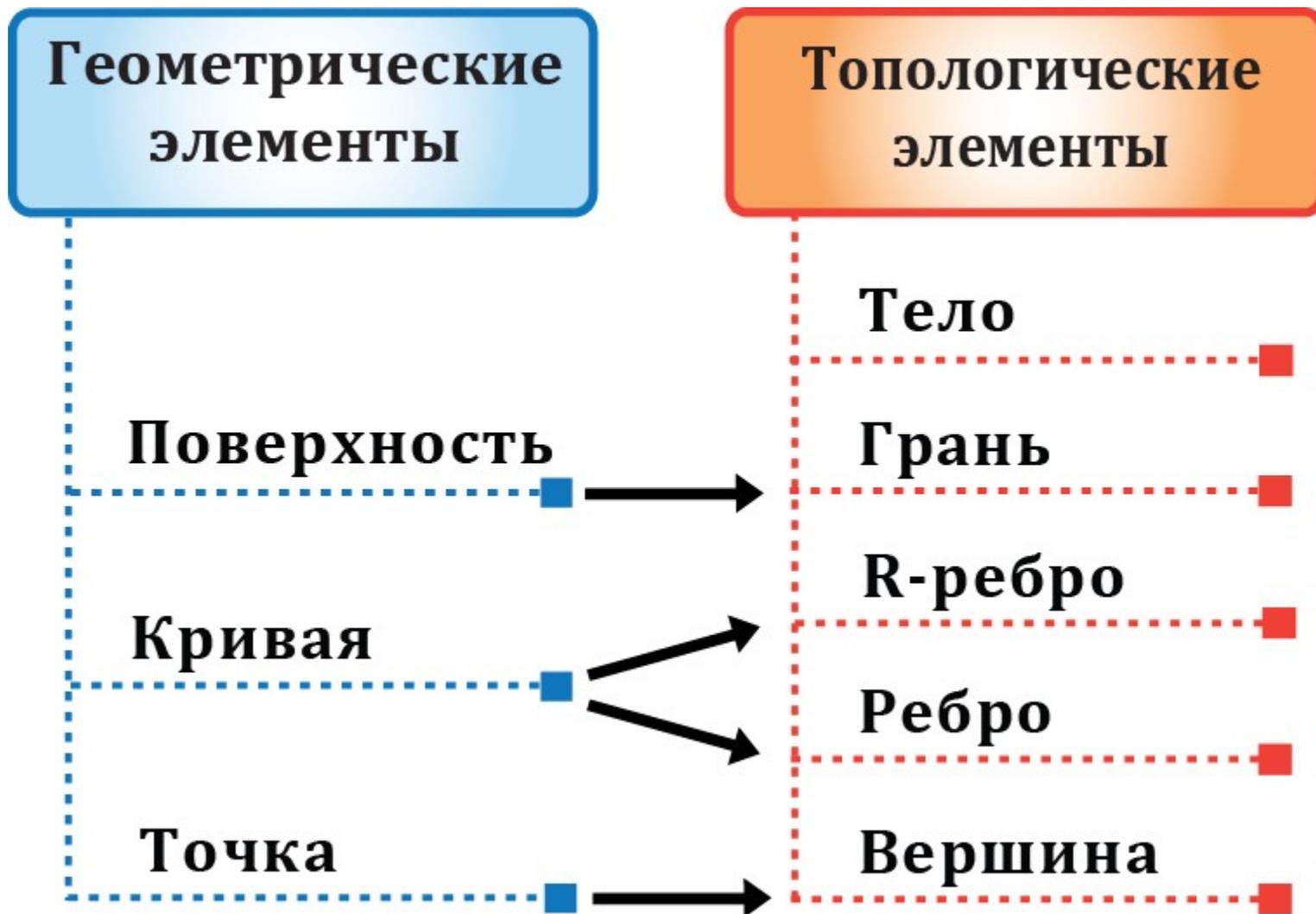


- СТАНКИН – Топ Системы – Сингулярис Лаб - ВолгГТУ

# Особенности RGK

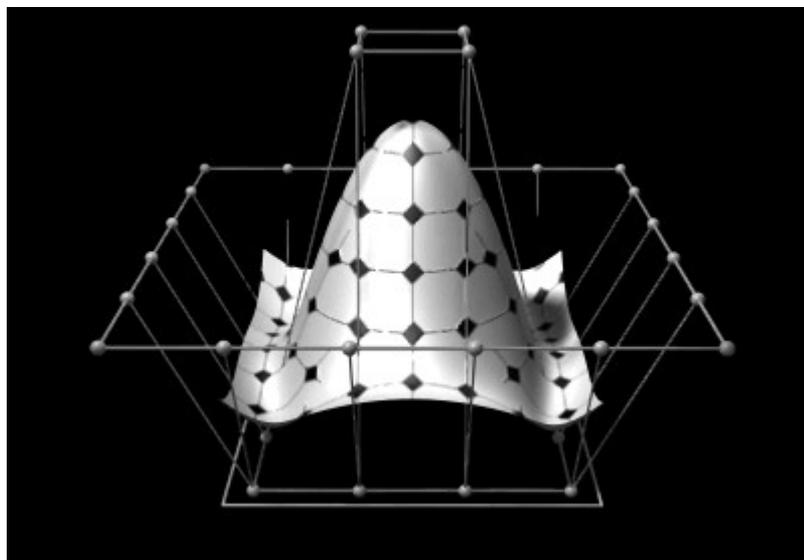
- Для представления модели в RGK используется граничное представление (B-Rep)
- Основным представлением кривых и поверхностей является NURBS
- Нацелено на использование рабочих станций с многоядерными процессорами и ускорителями

# B-Rep



# NURBS

- NURBS – Non-Uniform Rational B-Spline – неоднородные рациональные В-сплайны



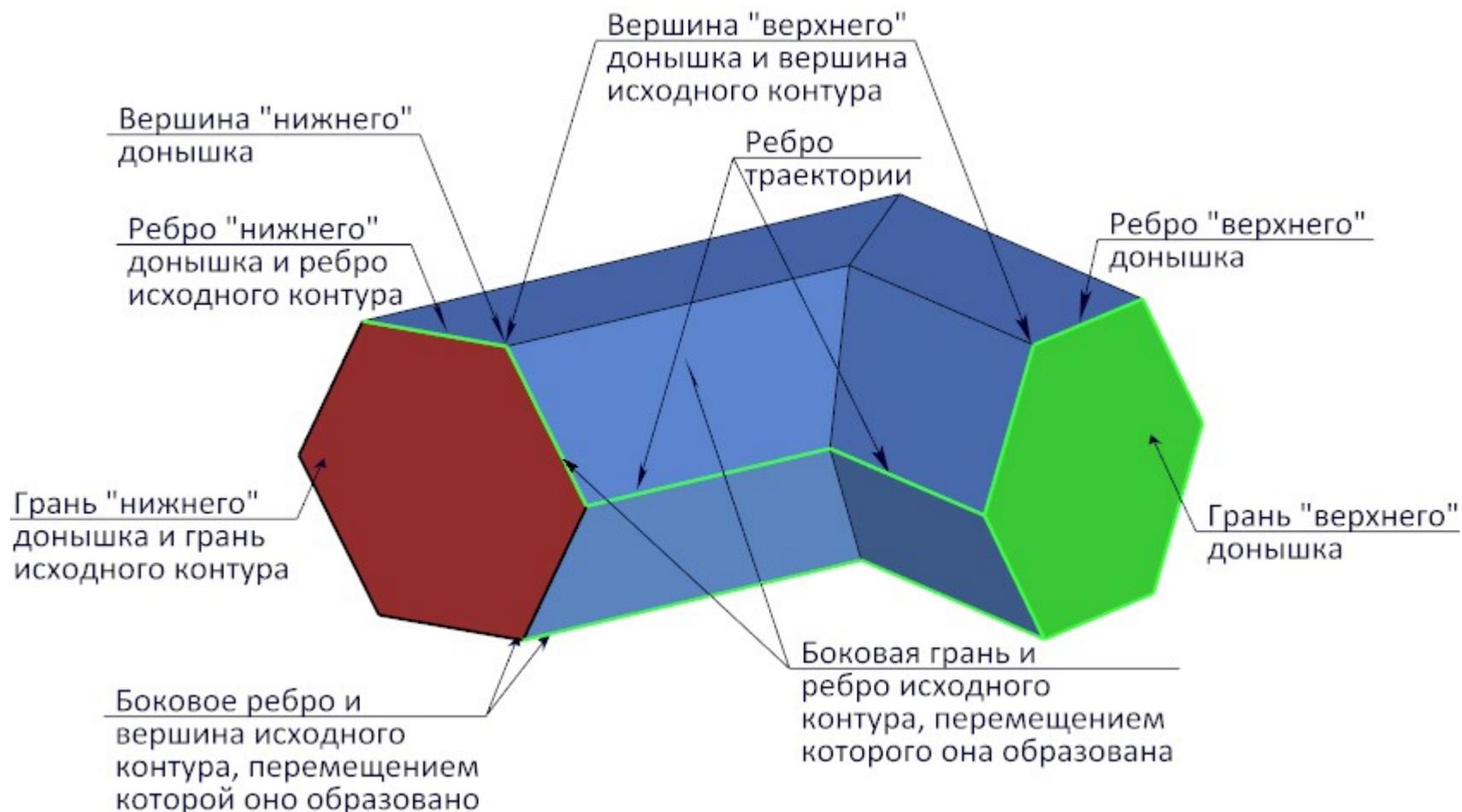
# Задачи нашей команды

- Генераторы тел:
  - по траектории
  - по сечениям
  - деформации
- Модуль верификации модели
- Поиск максимальной кривизны поверхности
- Определение расстояния между объектами

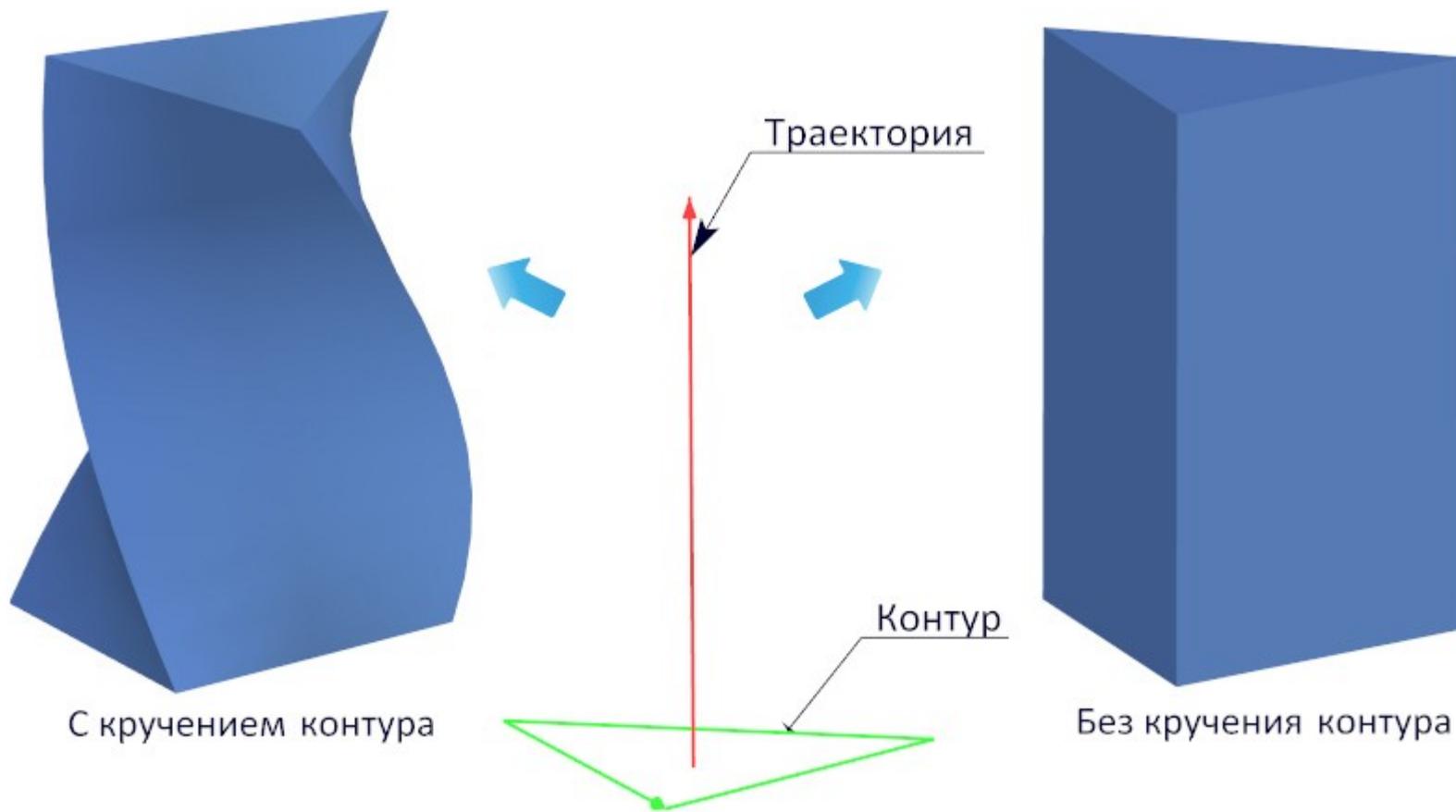
# Специфика распараллеливания в RGK

- Малое время выполнения базовых операций, секунды или доли секунд
- Обеспечение возможности использования внутреннего и внешнего параллелизма
- Все операции библиотеки должны быть потокобезопасны
- Использование технологий: SSE, OpenMP, OpenCL

# Построение тела по траектории



# Построение тела по траектории



# Построение тела по траектории

- Вычисление множества систем координат минимального вращения, движущихся из начала в конец траектории
- Построение контуров в начальном положении для каждого ребра траектории.
- Построение поверхностей для граней путем интерполяции контуров, полученных в результате движения по текущему ребру траектории.
- Сборка топологии результирующего тела.

## Построение тела по траектории, OpenMP

Модель	Последовательная версия		Параллельная версия		Ускорение	Ускорение построения поверхностей
	Время, с	Время построения пов-стей, с	Время, с	Время построения пов-стей, с		
1	0,62	0,6	0,22	0,19	2,81	3,15
2	1,21	1,165	0,42	0,37	2,88	3,14
3	2,4	2,31	0,84	0,76	2,85	3,03
4	2,26	2,14	0,71	0,57	3,18	3,75
5	4,52	4,28	1,35	1,12	3,34	3,8
6	9,23	8,78	2,84	2,39	3,25	3,67

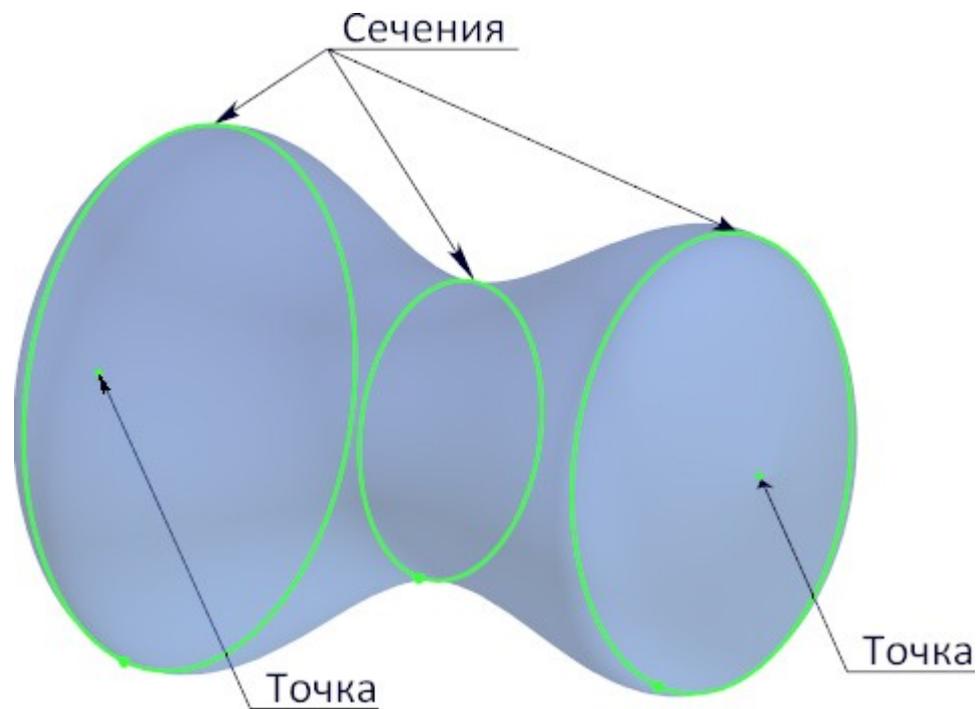
## Верификация корректности моделей

- Проверка расхождения ребер и граней.
- Проверка расхождения R-ребер и граней.
- Проверка расхождения двух R-ребер одного ребра.
- Проверка граней на то, что они являются связным компактным 2-многообразием (проверка корректности отношений циклов).
- Проверка отсутствия пересечений не смежных ребер.
- Проверка отсутствия пересечений не смежных граней.

# Верификация корректности моделей

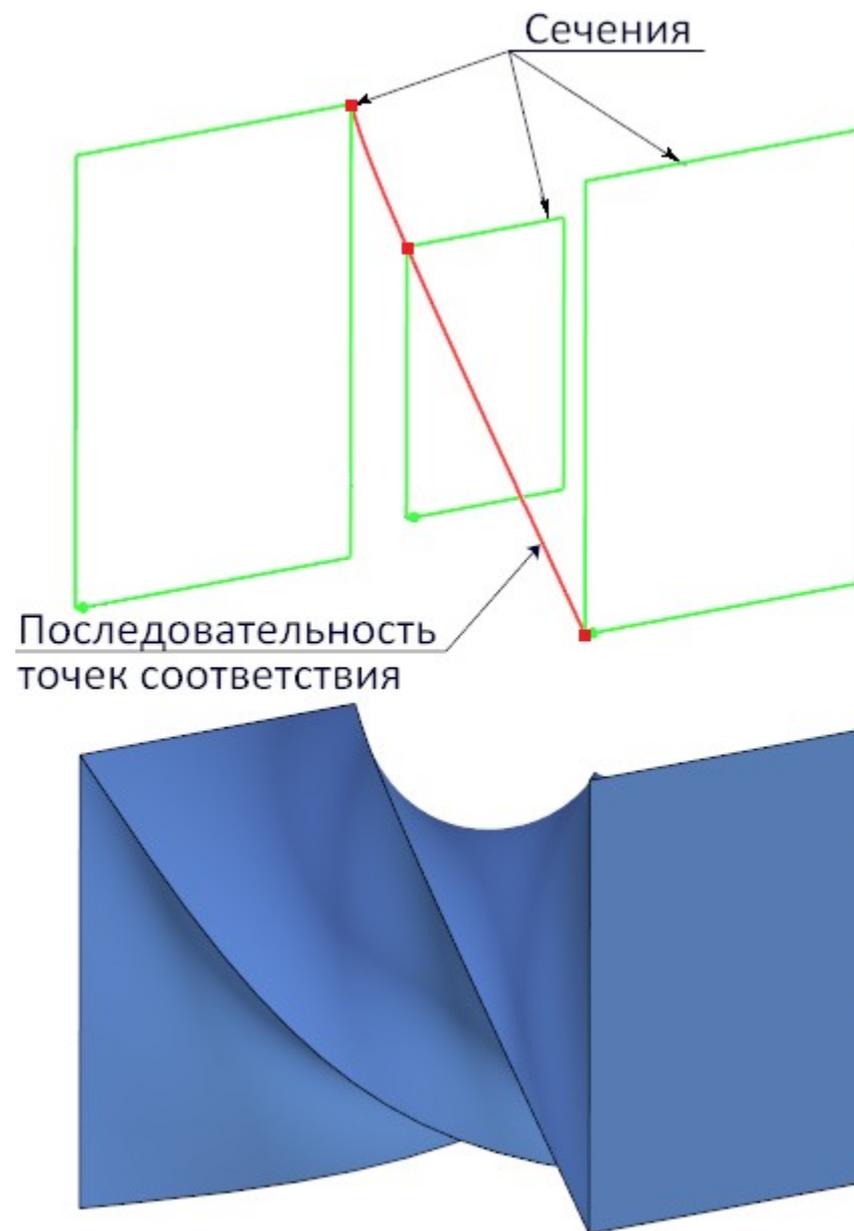
Номер модели	Название	Последовательная версия, с	Параллельная версия, с	Ускорение
1	Truck	1,97	0,58	3,39
2	Cam	0,65	0,2	3,25
3	Cast	0,92	0,36	2,55
4	Редуктор	19,4	6,2	3,12
5	Gear	1,37	0,43	3,18
6	Wheel	1,94	0,54	3,59
7	ЗГ16	6,47	1,92	3,36

# Построение тела по сечениям



# Построение тела по сечениям

- Автоматическое определение направлений обхода сечений (если направления не заданы явно).
- Синхронизация сечений в вершинах, для которых явно заданы соответствия.
- Синхронизация сечений по направляющим.
- Синхронизация сечений в вершинах, в которых ребра соединяются не гладко.
- Построение боковых поверхностей тела.
- Сборка топологии тела.



# Построение тела по сечениям

Распараллеленные этапы:

- 1) Набор равномерно распределенных точек сечений
- 2) Нахождение точек пересечения направляющих с сечениями
- 3) Проверка гладкости сечений и нахождение точек изломов
- 4) Построение поверхностей
- 5) Проверка пересечения луча с гранями тела

# Построение тела по сечениям

Шаги	Общее время, с		Ускорение
	Последовательный код	OpenMP	
1	0,0164 (4,0%)	0,0100 (3,4%)	1,64
3	0,0316 (7,7%)	0,0228 (7,8%)	1,38
4	0,1207 (29,2%)	0,0740 (25,4%)	1,63
5	0,2244 (54,3%)	0,1643 (56,3%)	1,36
прочие	0,0200 (4,9%)	0,0206 (7,1%)	0,97
общее	0,4131 (100%)	0,2918 (100%)	1,42

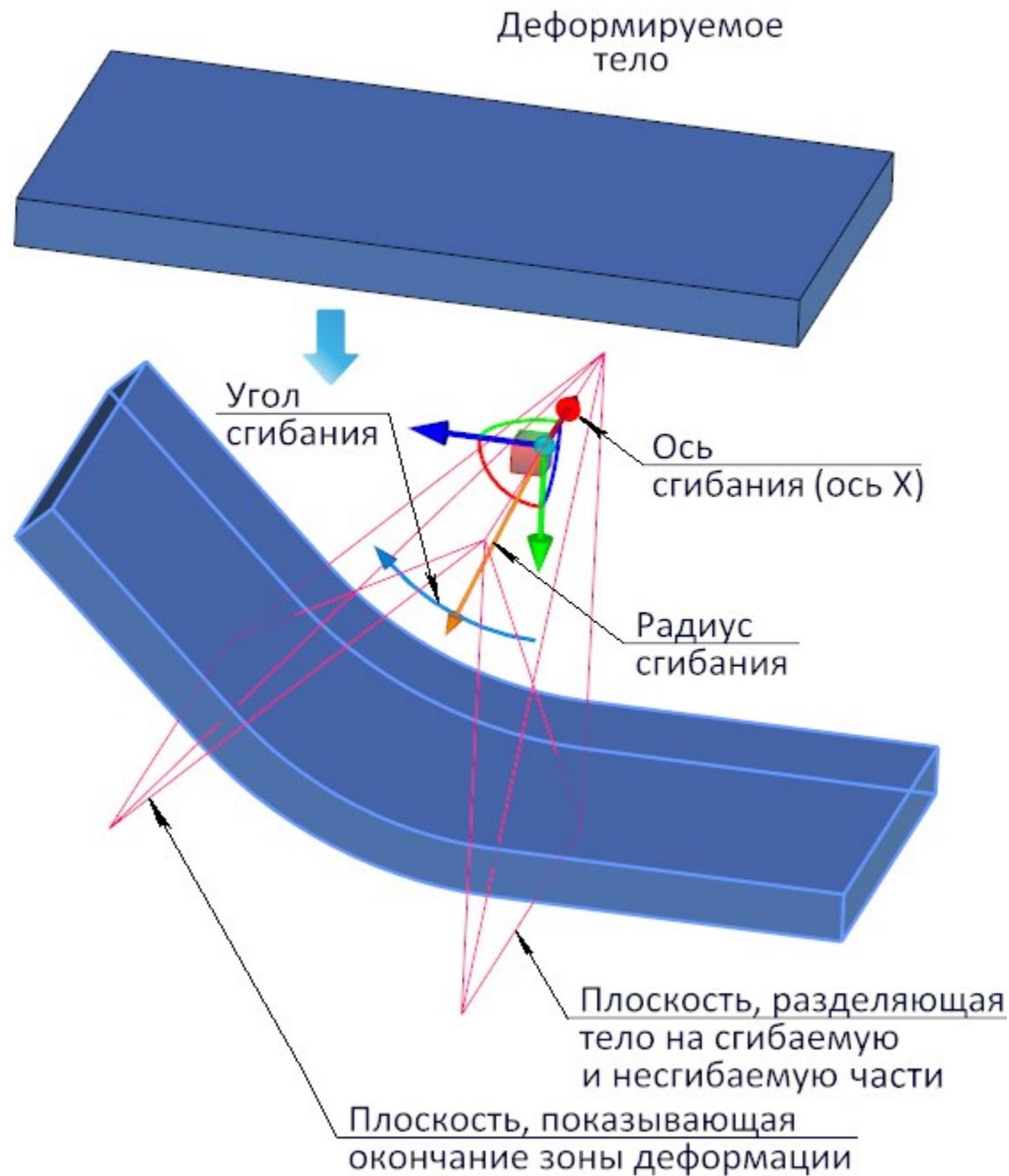
# Построение тела по сечениям

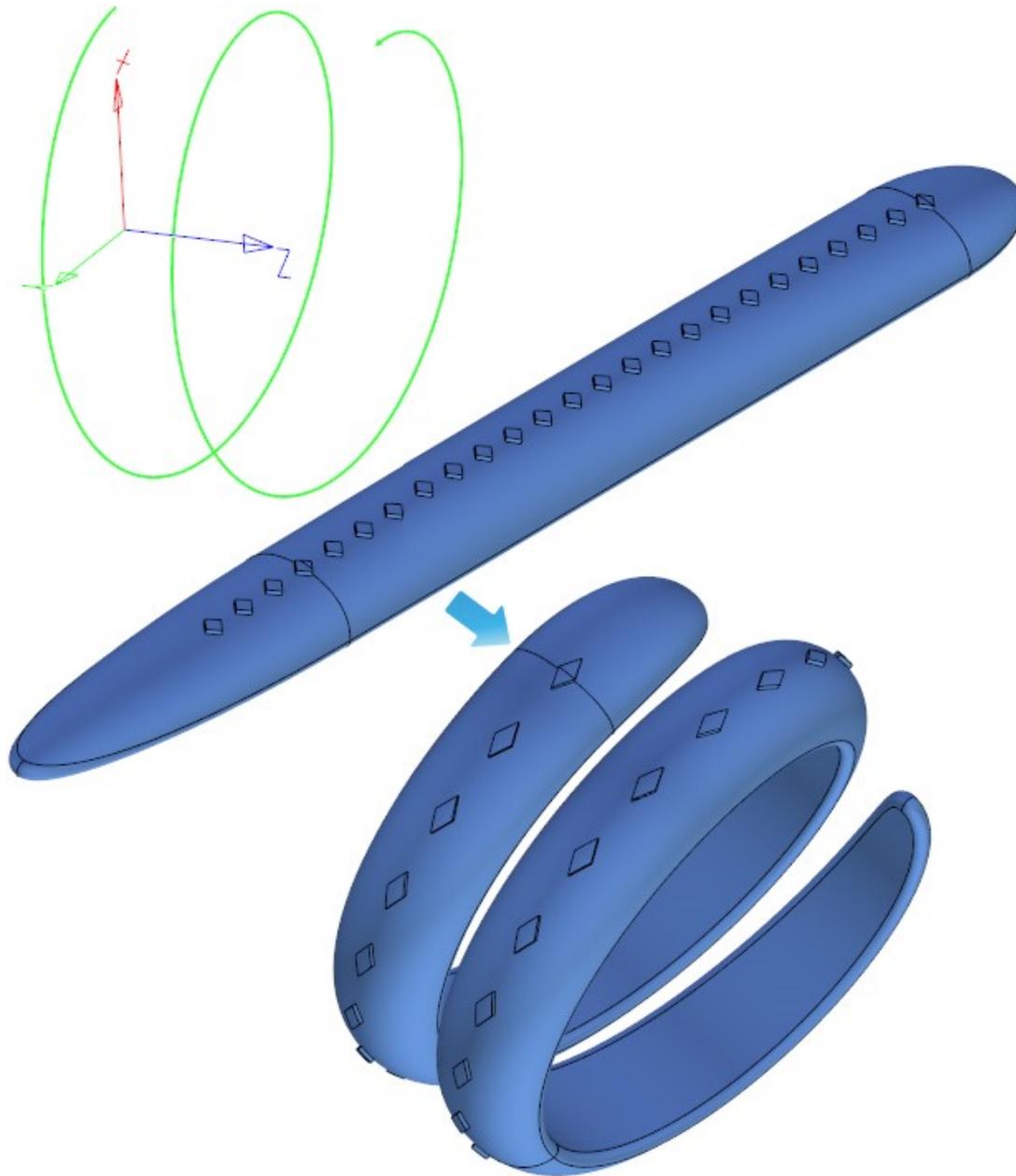
Тест	Шаги	Время работы последовательной версии (%)	Время работы параллельной версии (%)	Ускорение
Стресс-тест 1: 4700 сечений с изломами	3	0,7315 (43,6%)	0,1940 (29,0%)	3,77
	4	0,8054 (48,0%)	0,3337 (49,8%)	2,42
	прочие	0,1410 (8,4%)	0,1420 (21,2%)	1,10
	общее	1,679 (100%)	0,6696 (100%)	2,50
Стресс-тест 2: 990 сечений без указания соответствий	1	28,3811 (99,5%)	7,3448 (98,2%)	3,86
	4	0,1234 (0,4%)	0,1192 (1,6%)	1,04
	прочие	0,0175 (0,1%)	0,0169 (0,2%)	1,0
	общее	28,5221 (100%)	7,4809 (100%)	3,81

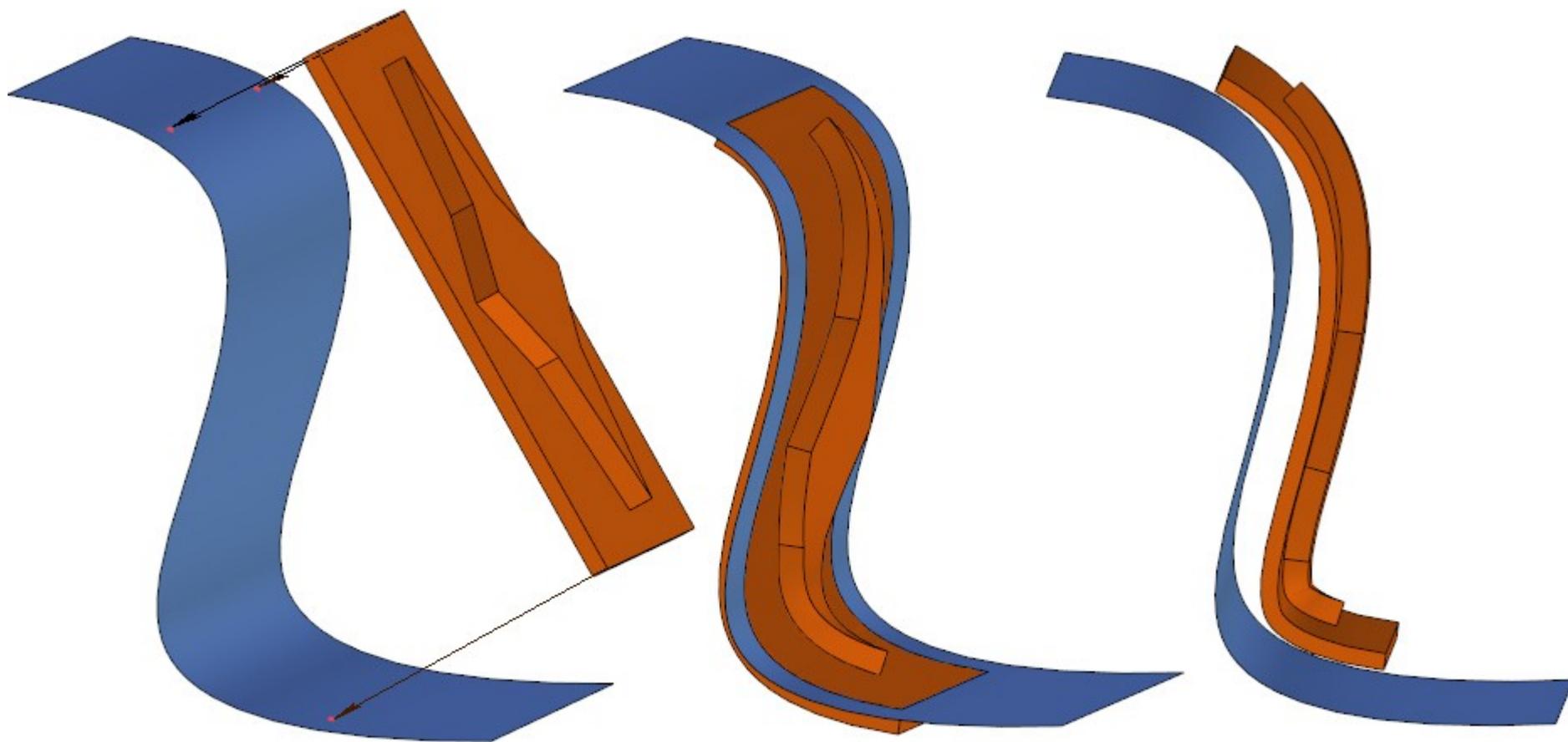
# Операция деформации тел

Операции деформации, осуществляемые над телами:

- сгибание,
- растяжение,
- скручивание,
- скульптурная деформация,
- деформация по кривой и по поверхности.







Деформация  
по поверхности  
без смещения

Деформация  
по поверхности  
со смещением

# Операция деформации тел

	<b>Время выполнения последовательной версии, с</b>	<b>Время выполнения параллельной версии, с</b>	<b>Ускорение</b>
Модель №1	4,06	3,01	1,34
Модель №2	0,017	0,013	1,3
Модель №3	1,07	0,36	3

<b>OpenMP schedule(dynamic)</b>	<b>Время выполнения последовательной версии, с</b>	<b>Время выполнения параллельной версии, с</b>	<b>Ускорение</b>
Модель №1	4,06	1,54	2,64
Модель №2	0,017	0,01	1,7
Модель №3	1,07	0,3	3,5

# Применение OpenCL в RGK

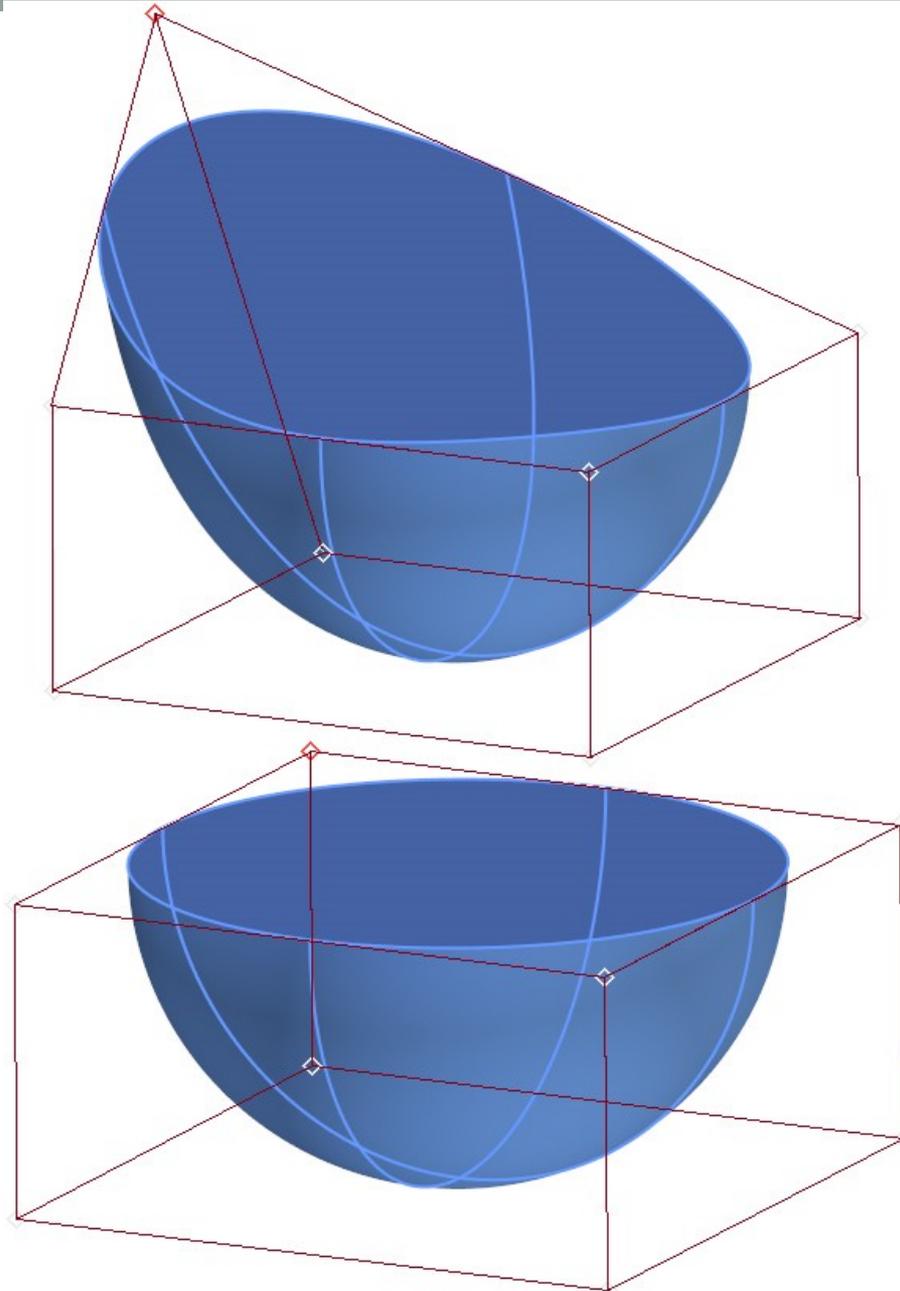
- Поиск максимальной кривизны поверхности
- Определение расстояния между объектами
- Решение данных задач основано на построении триангуляции на OpenCL и параллельном анализе полученной сетки
- ускорение на графических ускорителях относительно оптимизированных алгоритмов на CPU ~100 раз

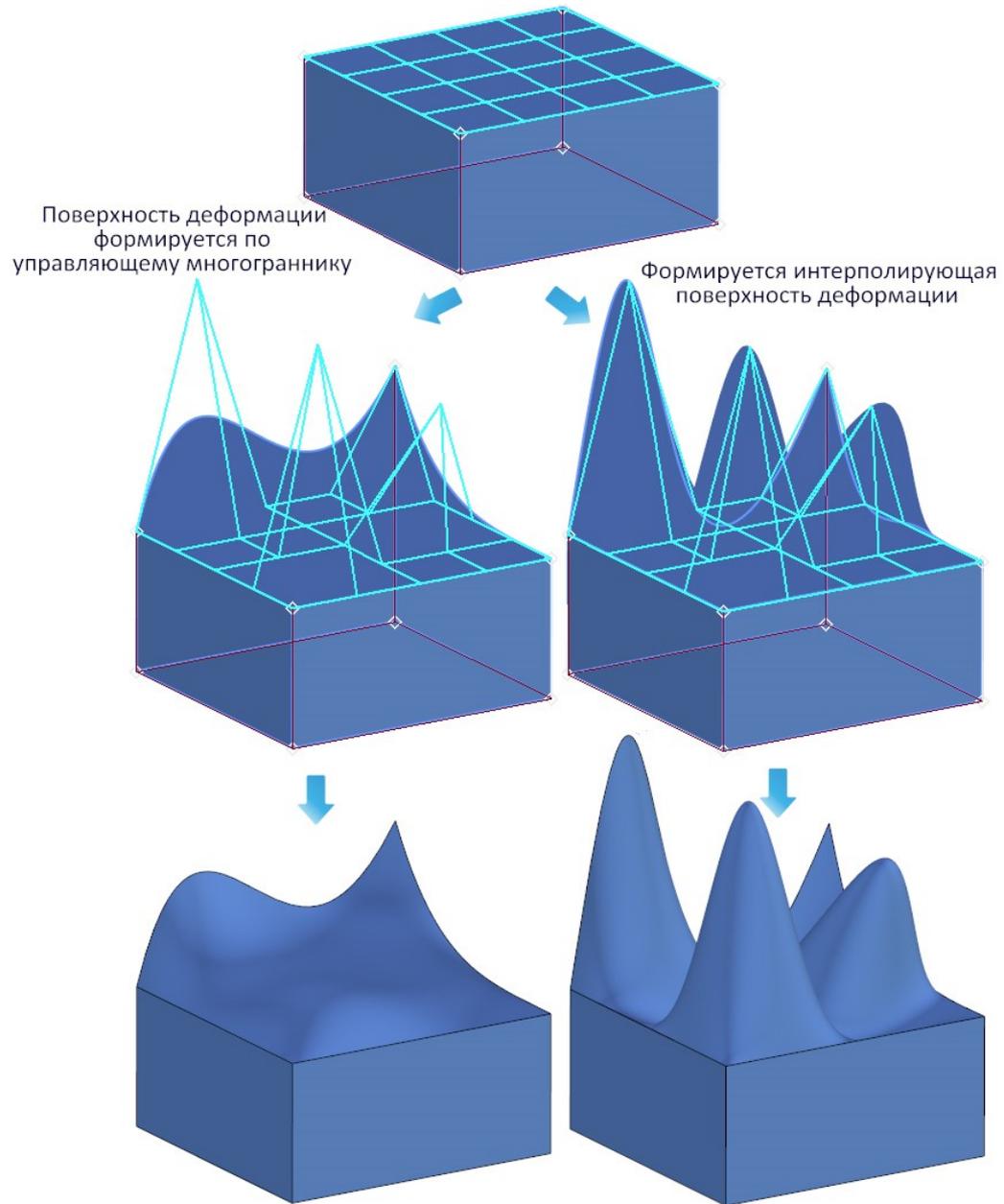
# Выводы

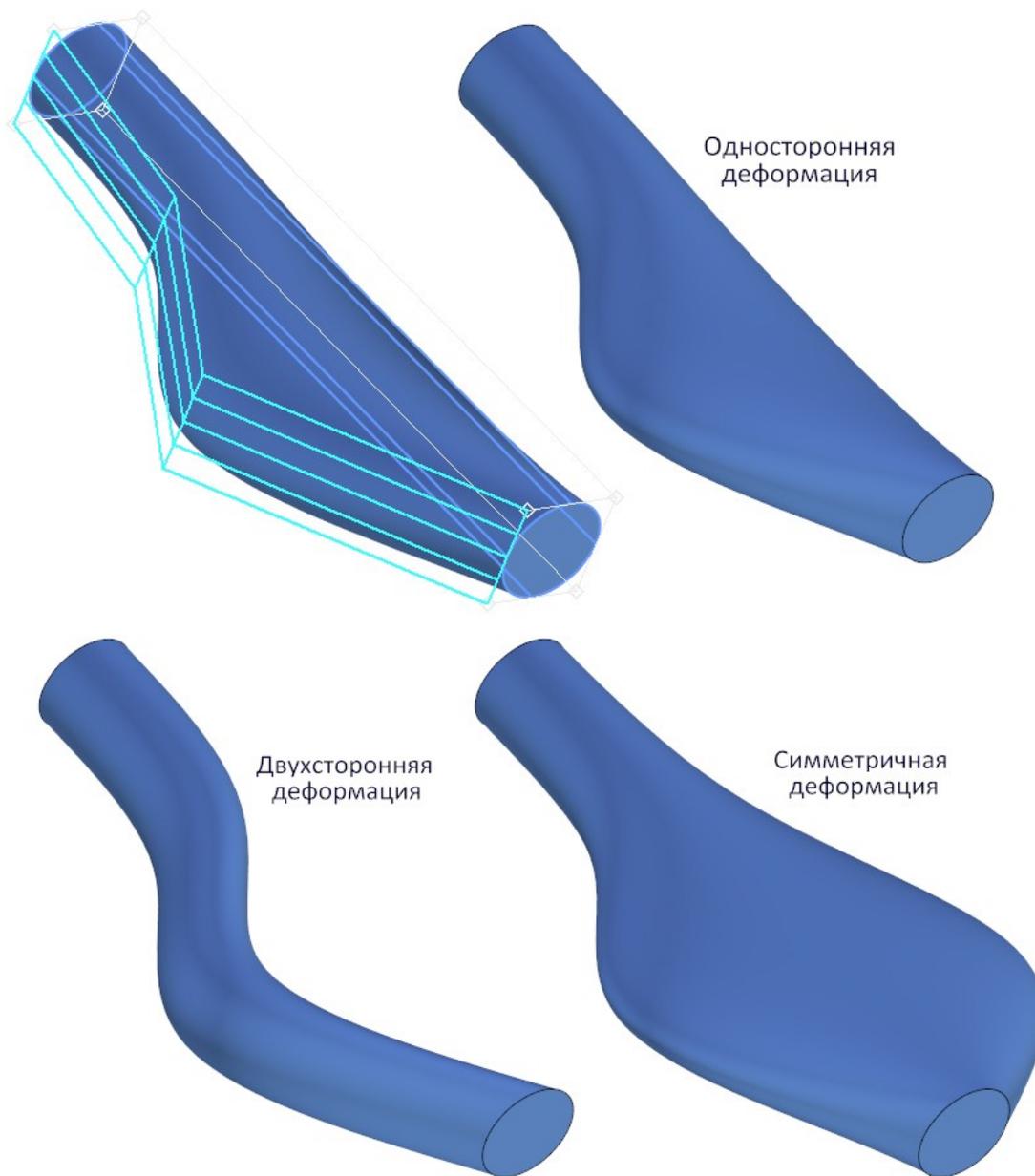
- Разработаны модули геометрического ядра с использованием OpenMP
- Продолжается работа над оптимизацией и распараллеливанием (в том числе под Xeon Phi)
- Основной сложностью распараллеливания для сопроцессоров Nvidia и Intel является малое время выполнения операций ядра
- Разрабатывается мобильный клиент под Android

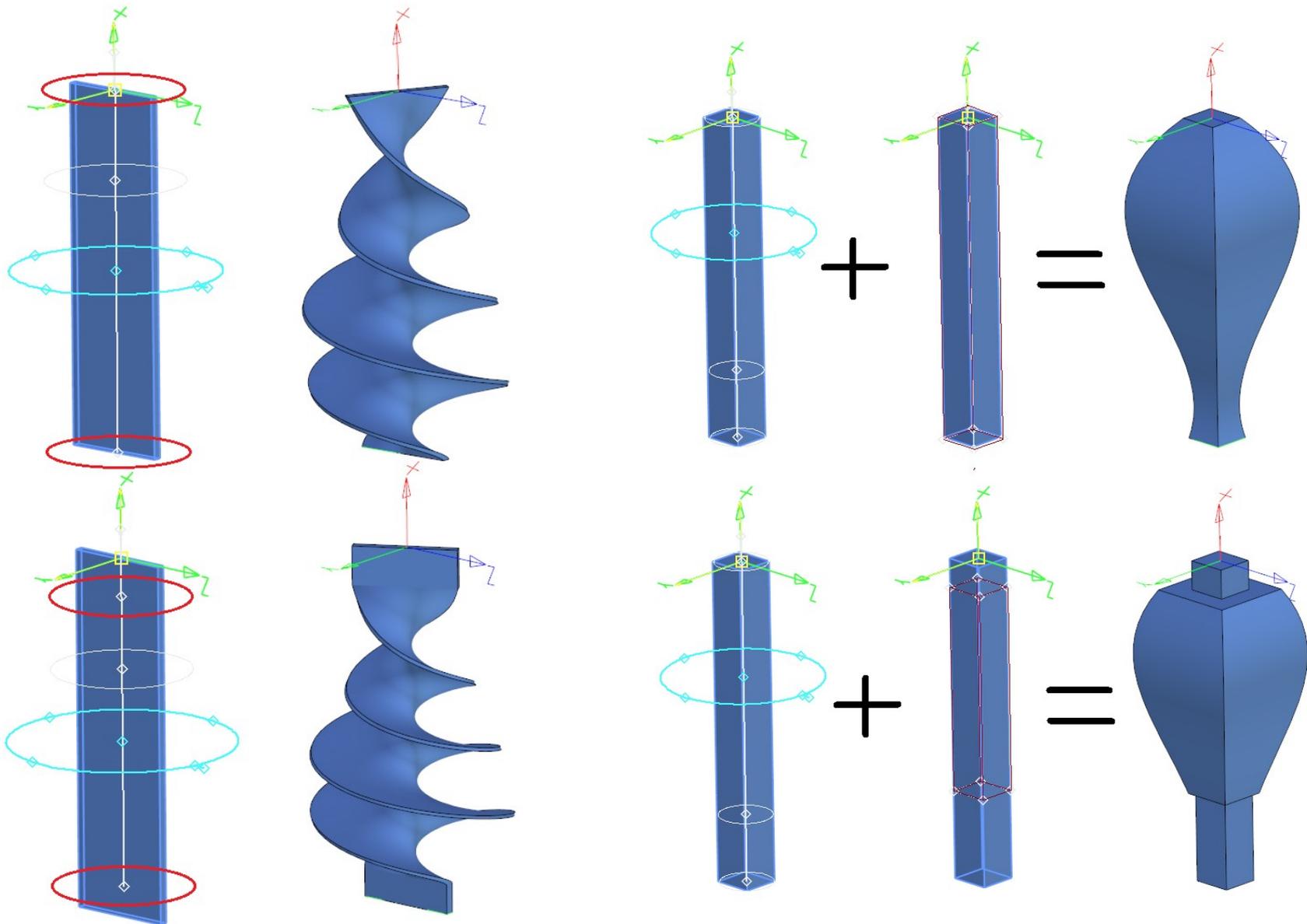
# Спасибо за внимание!

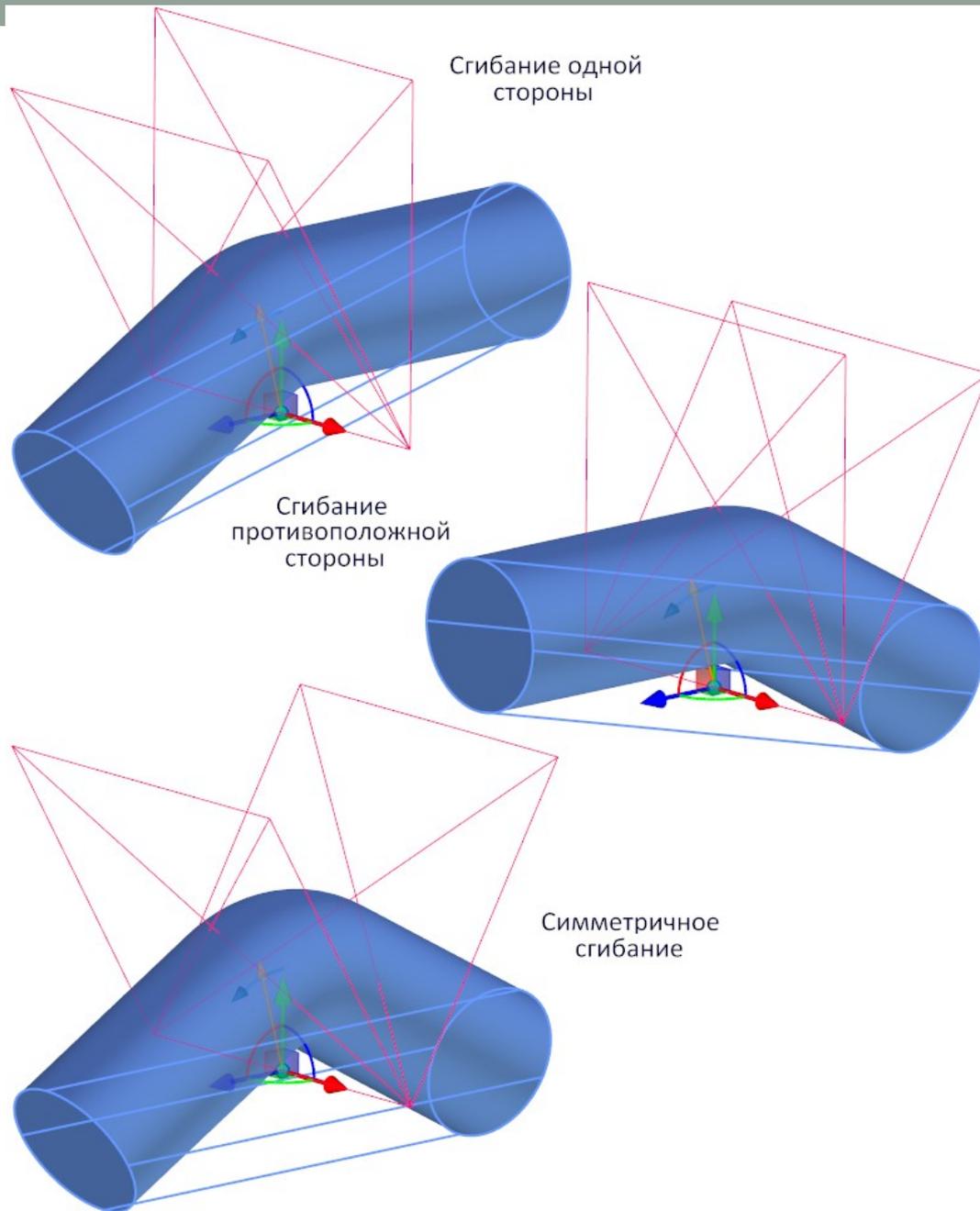
- [rgk@singularis-lab.com](mailto:rgk@singularis-lab.com)

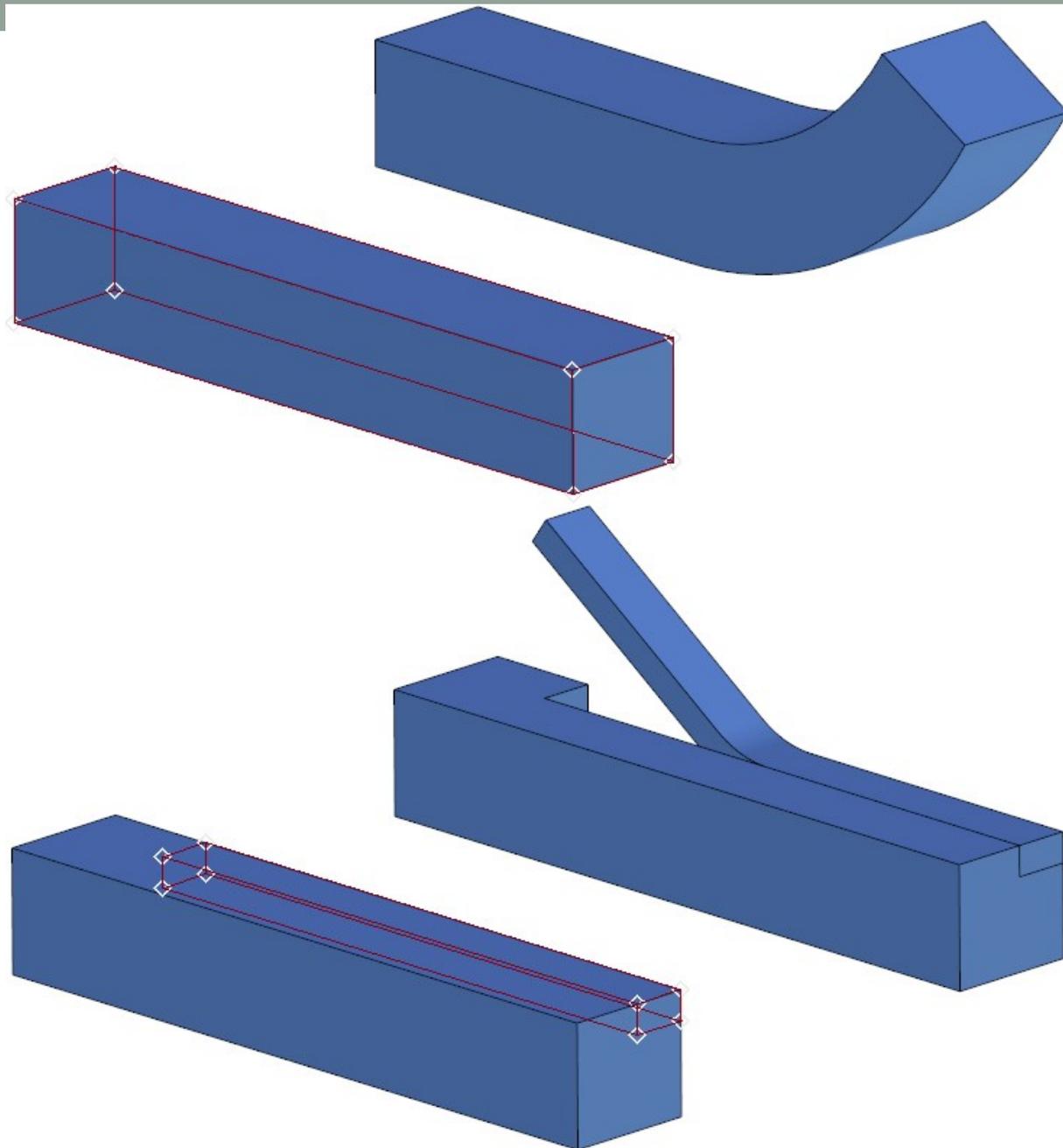


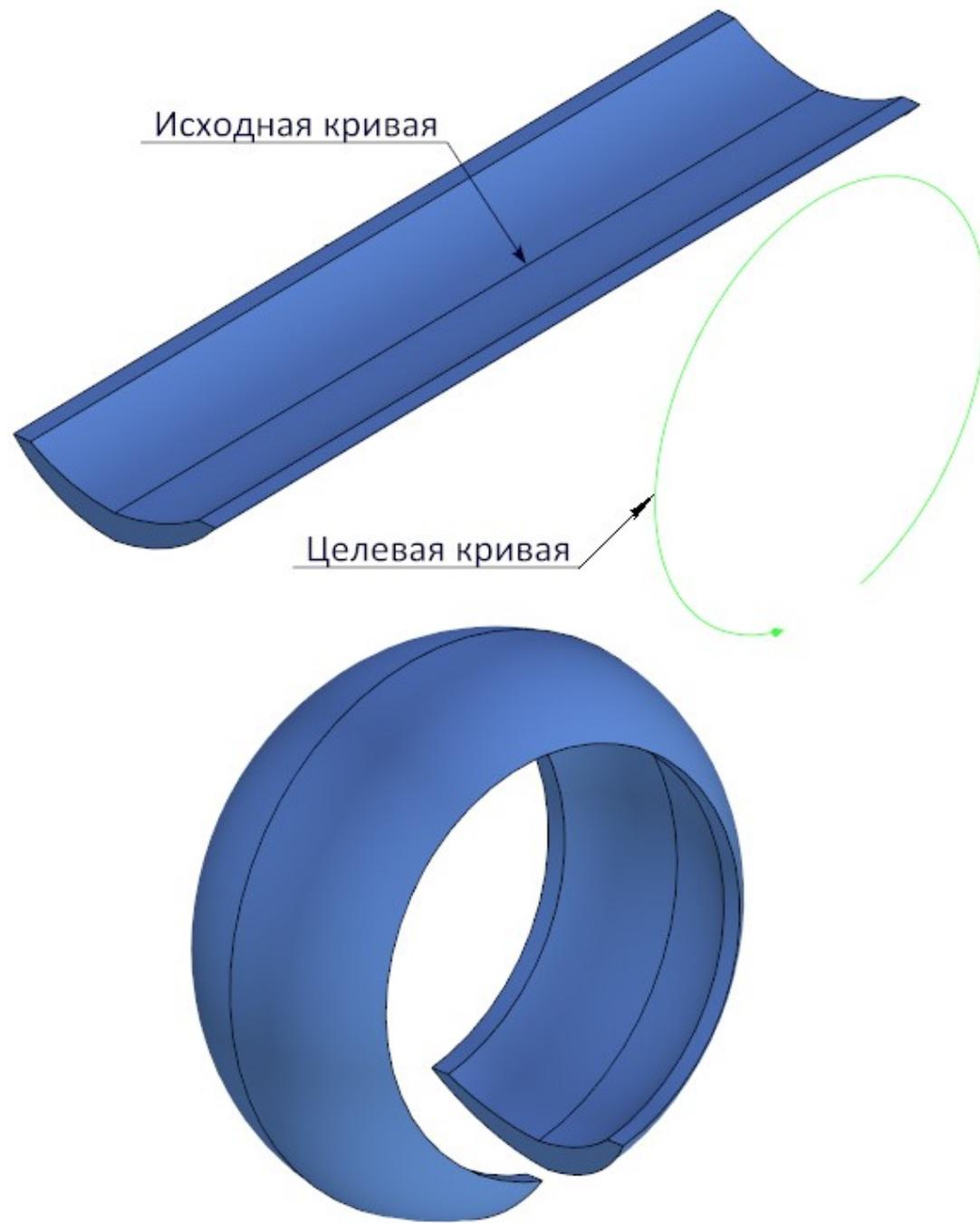


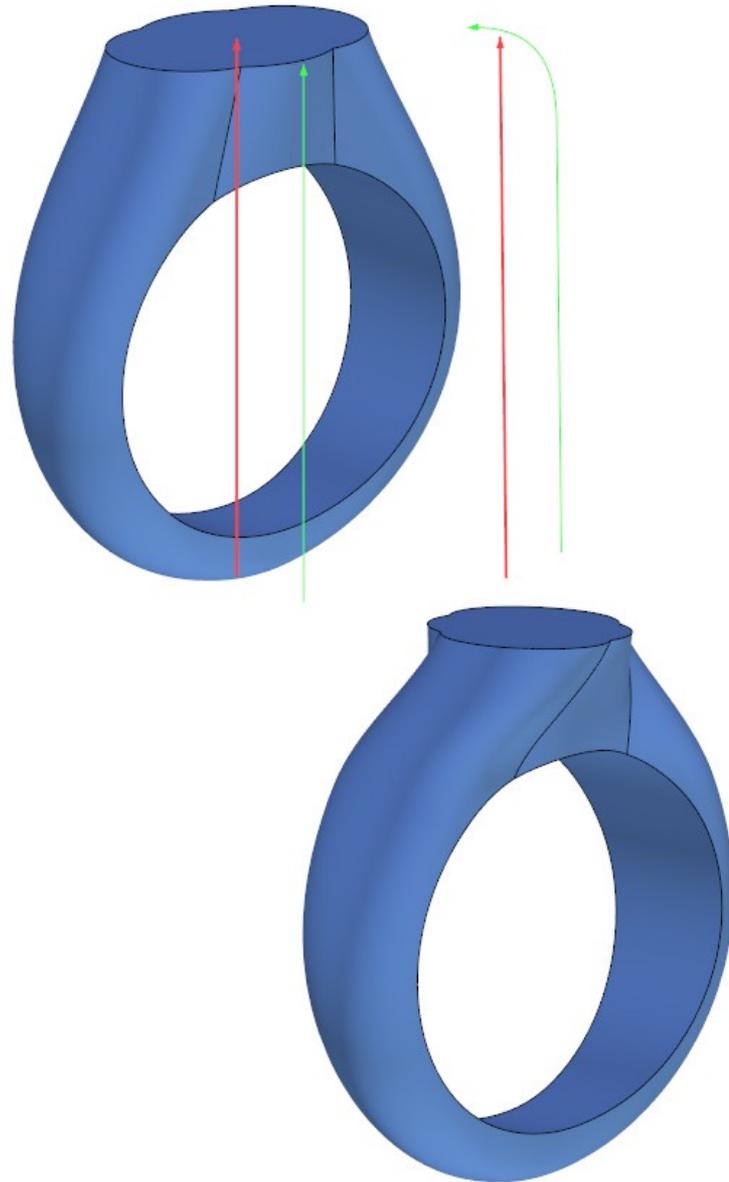




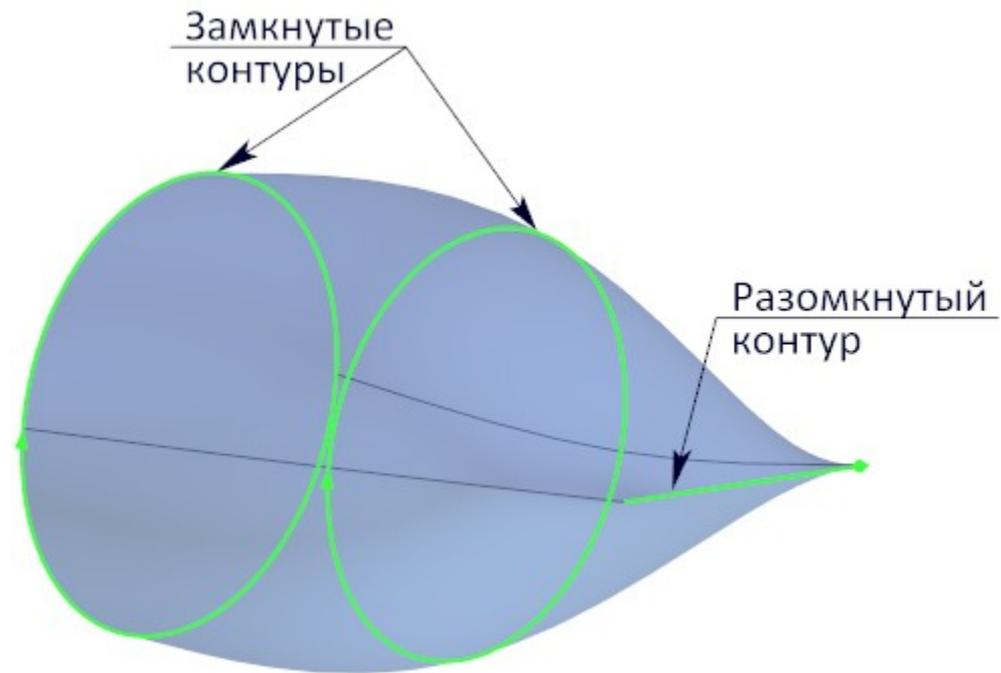


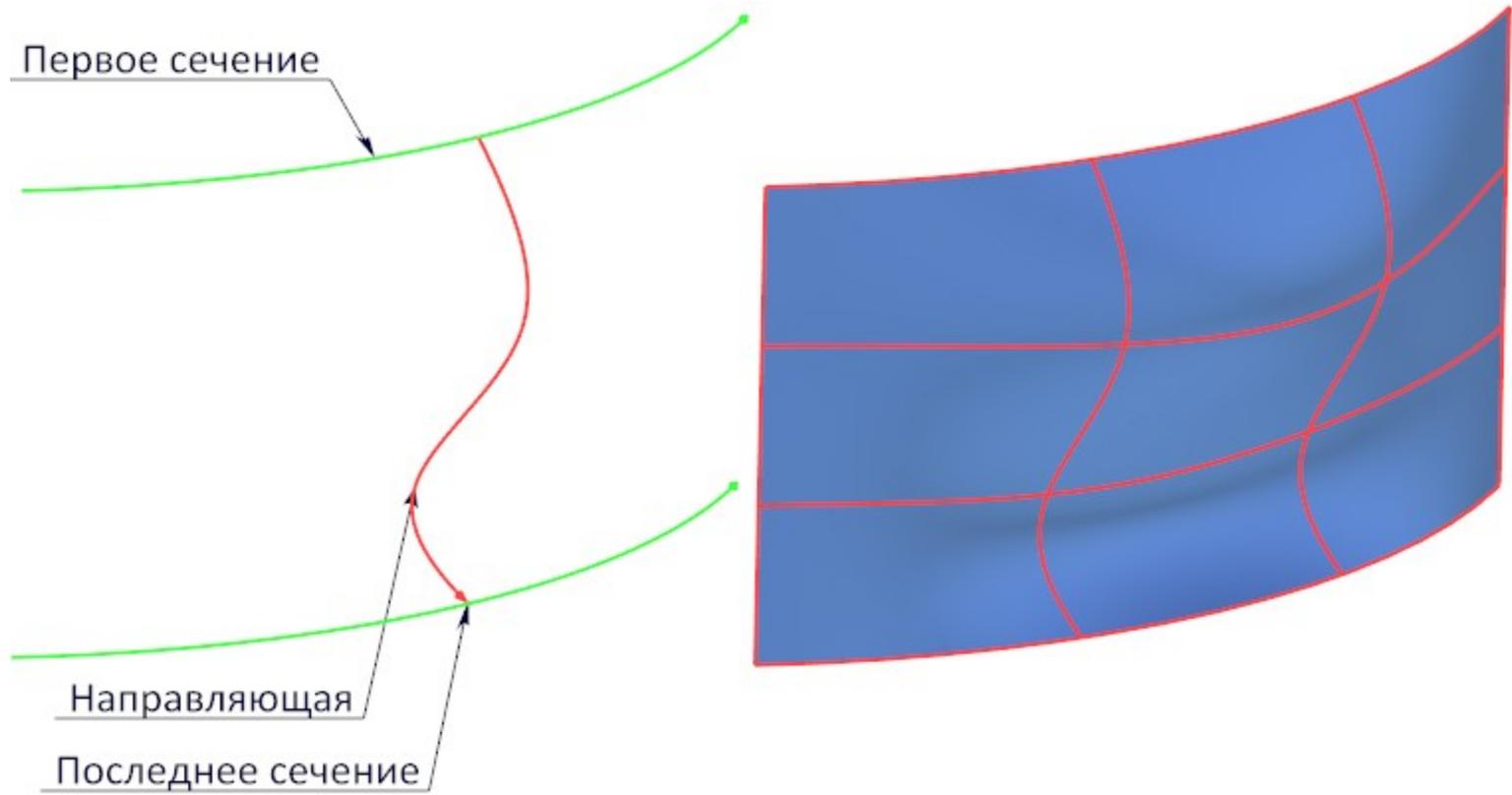


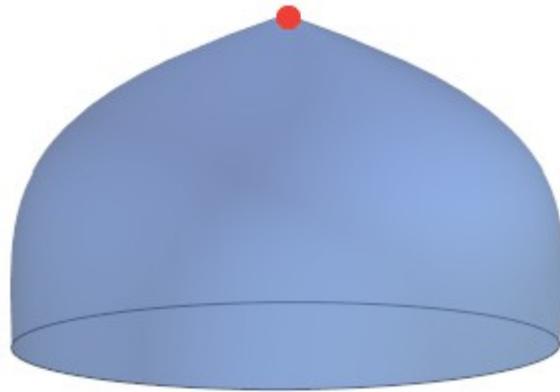




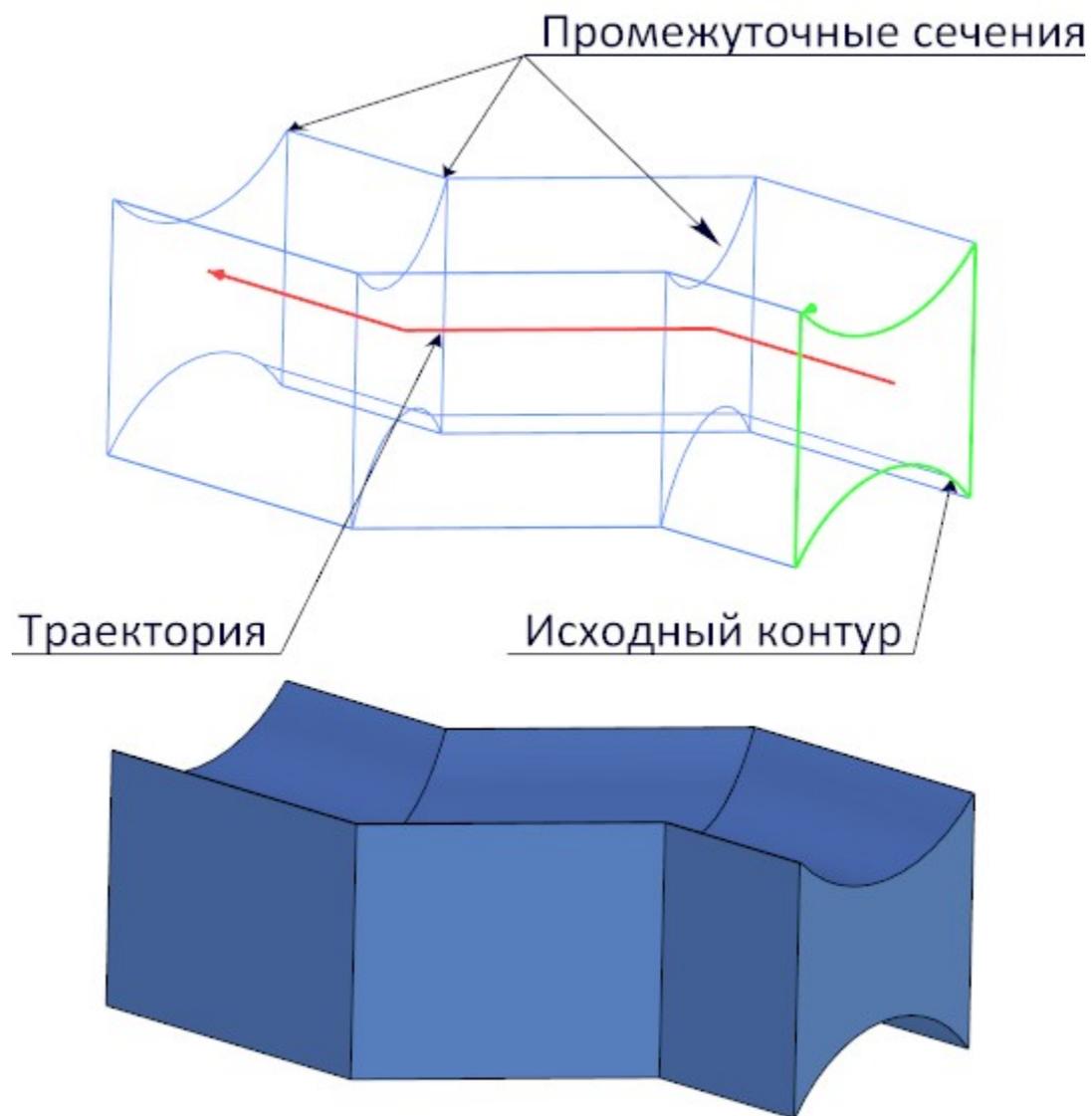
# По сечениям

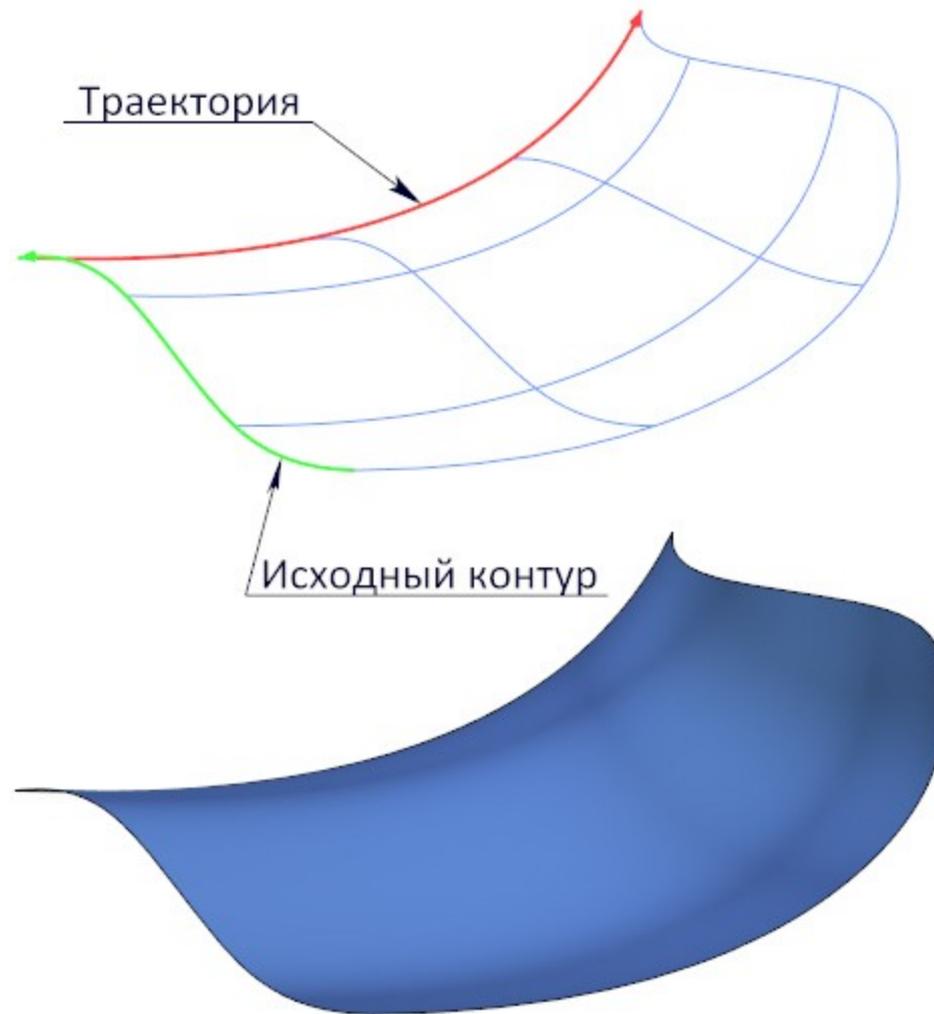


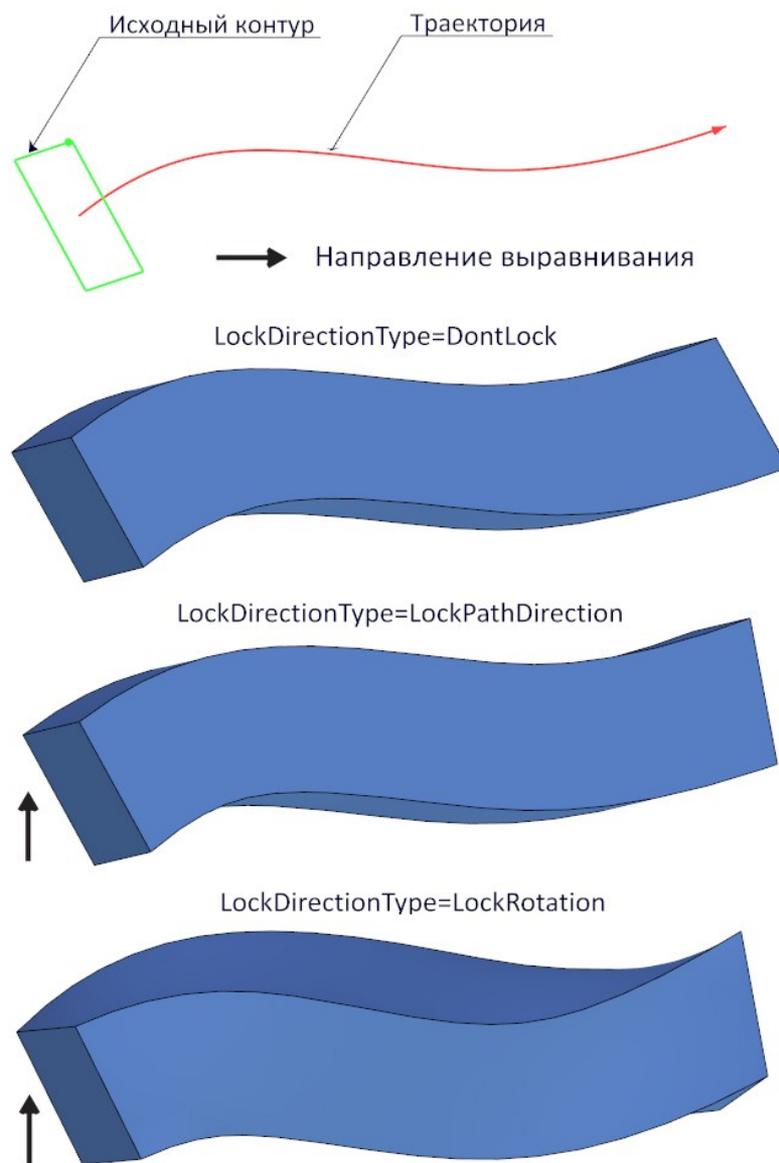


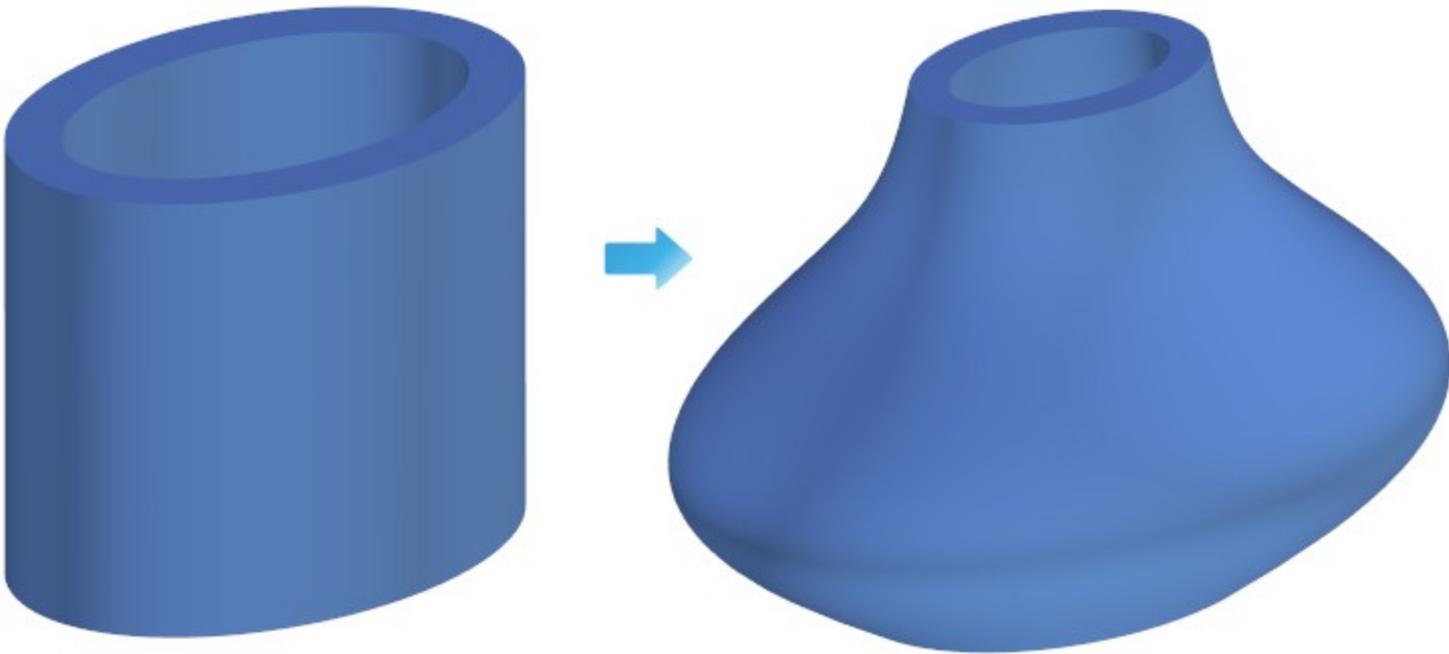


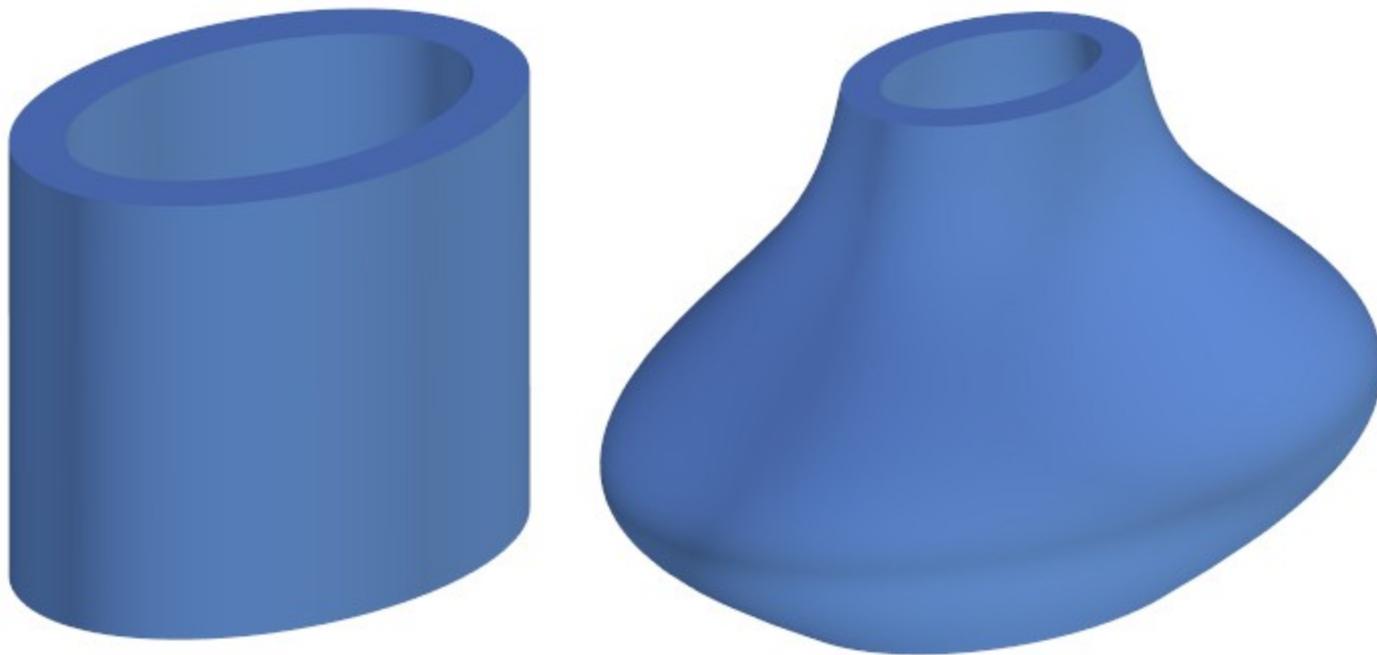
# По траектории



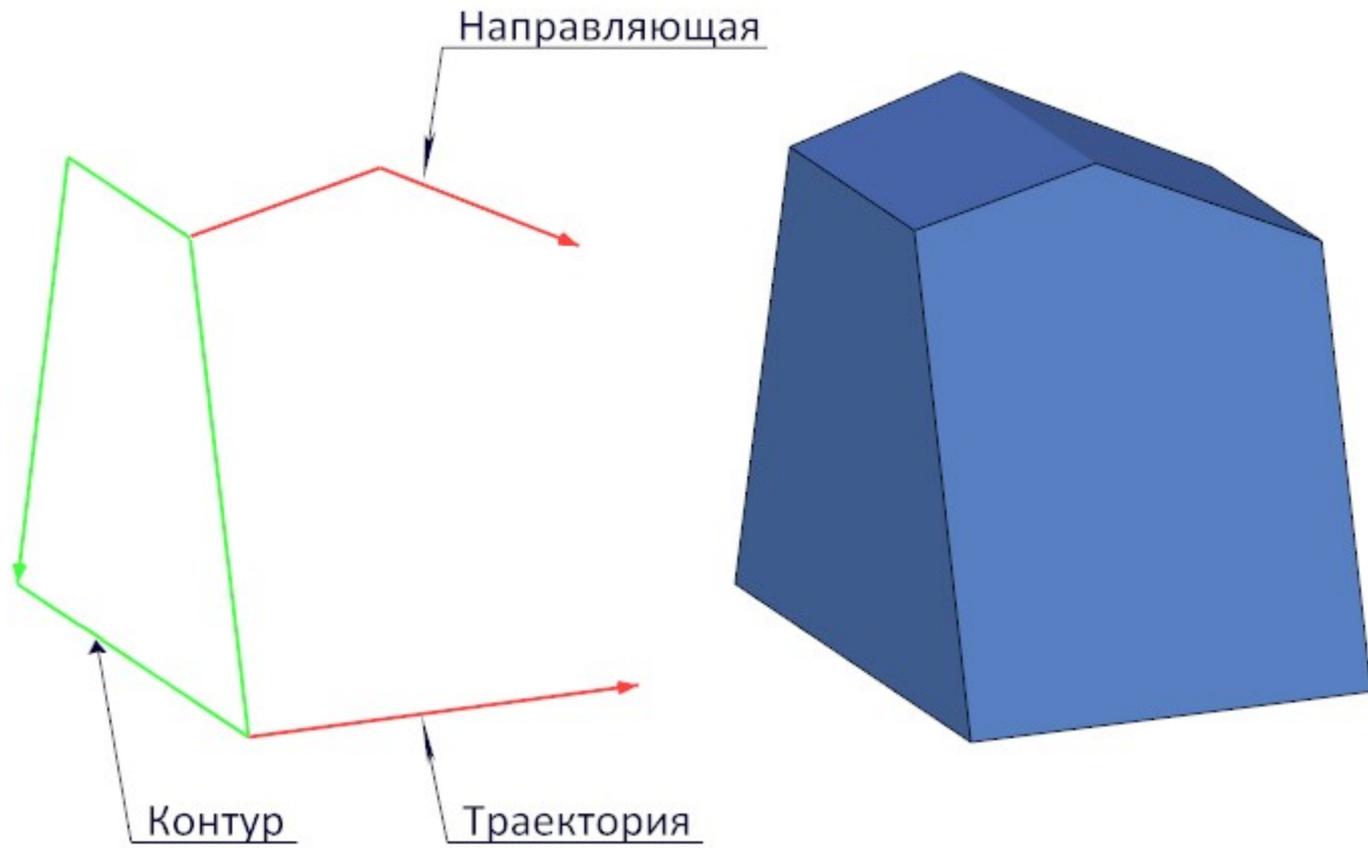


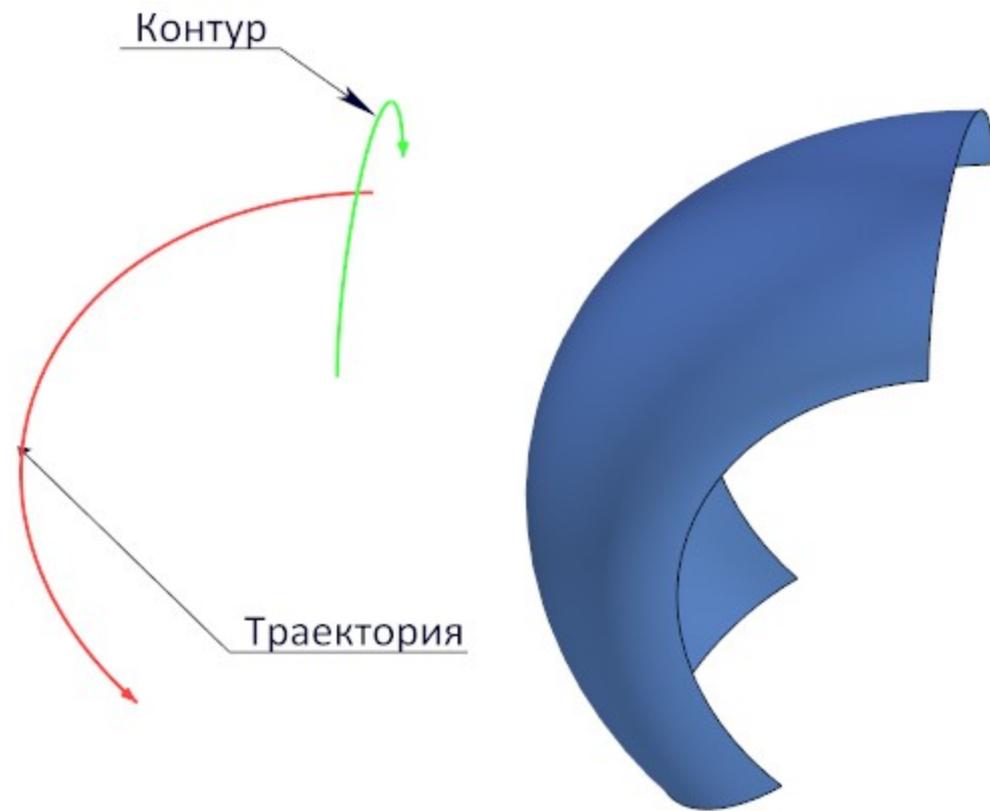


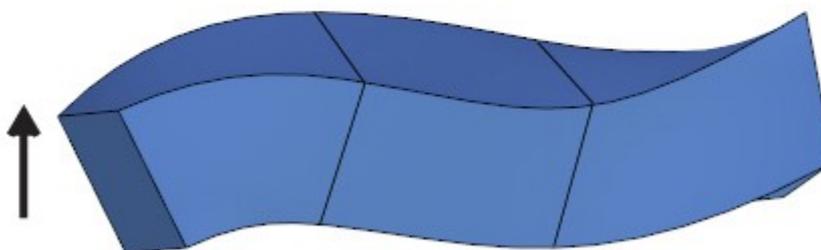






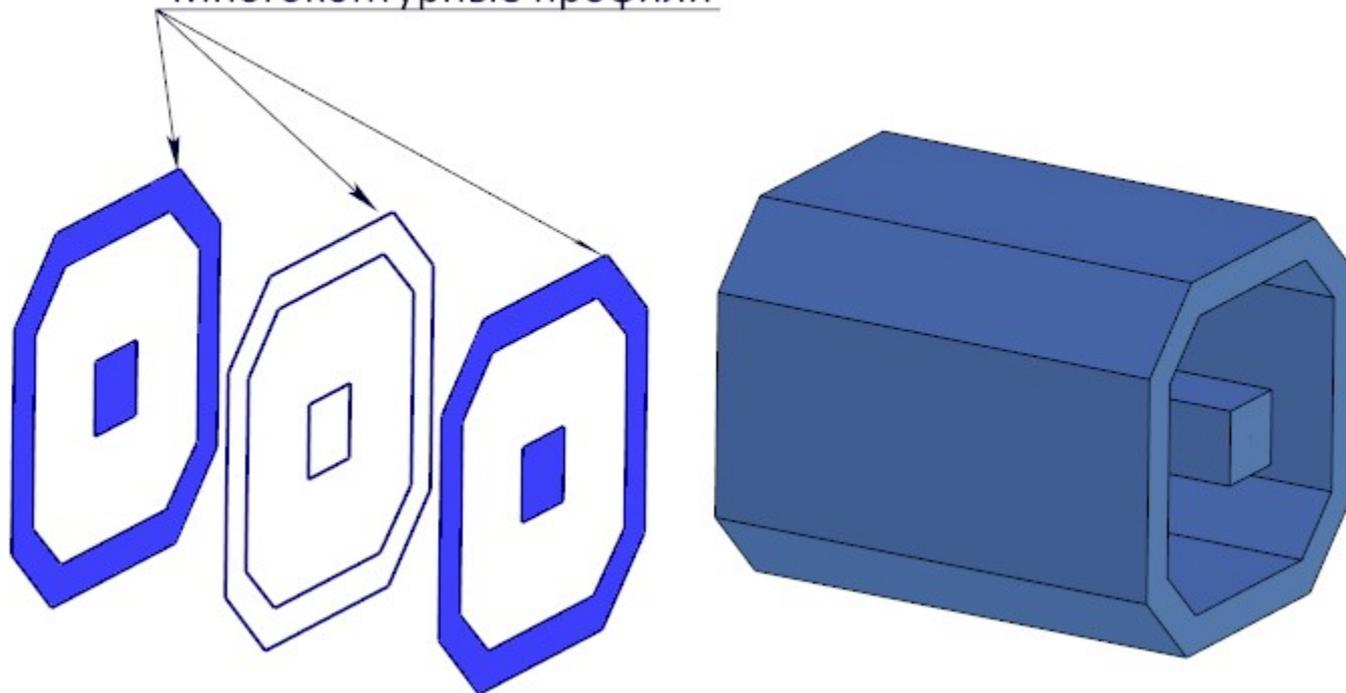


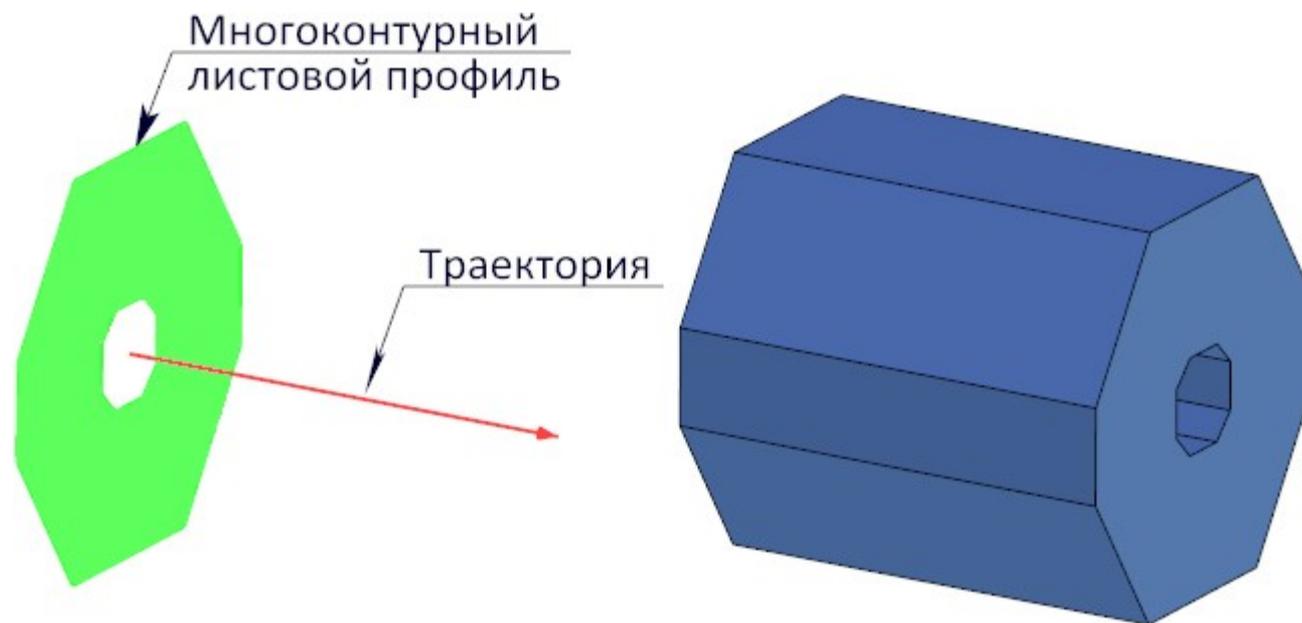


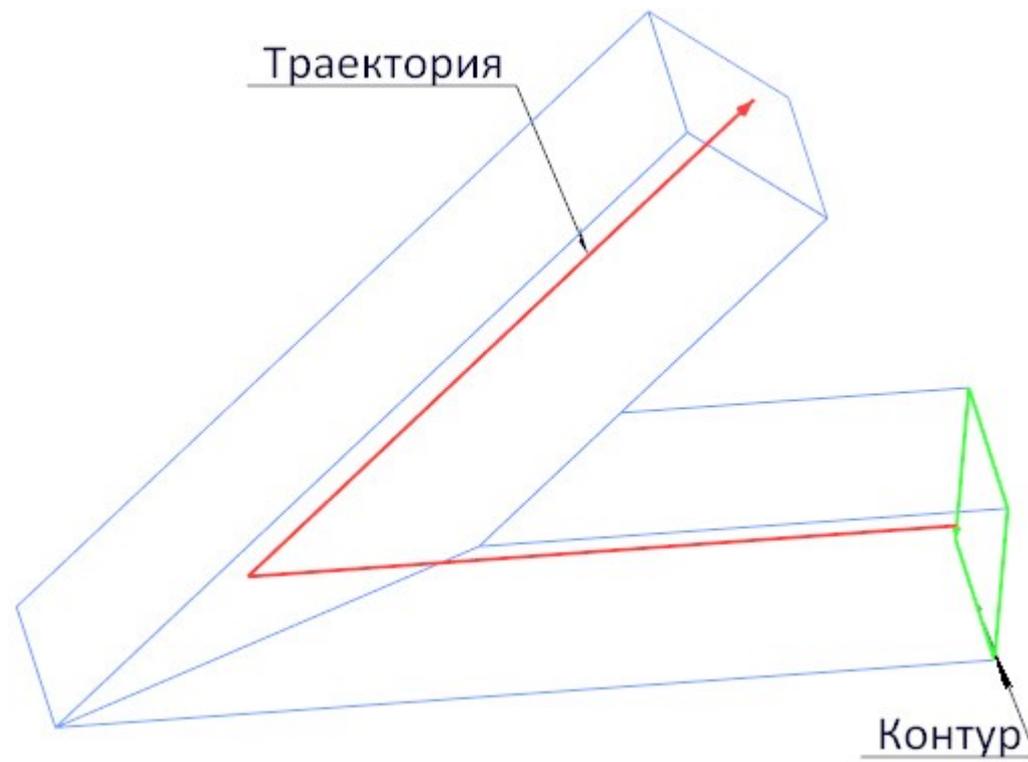


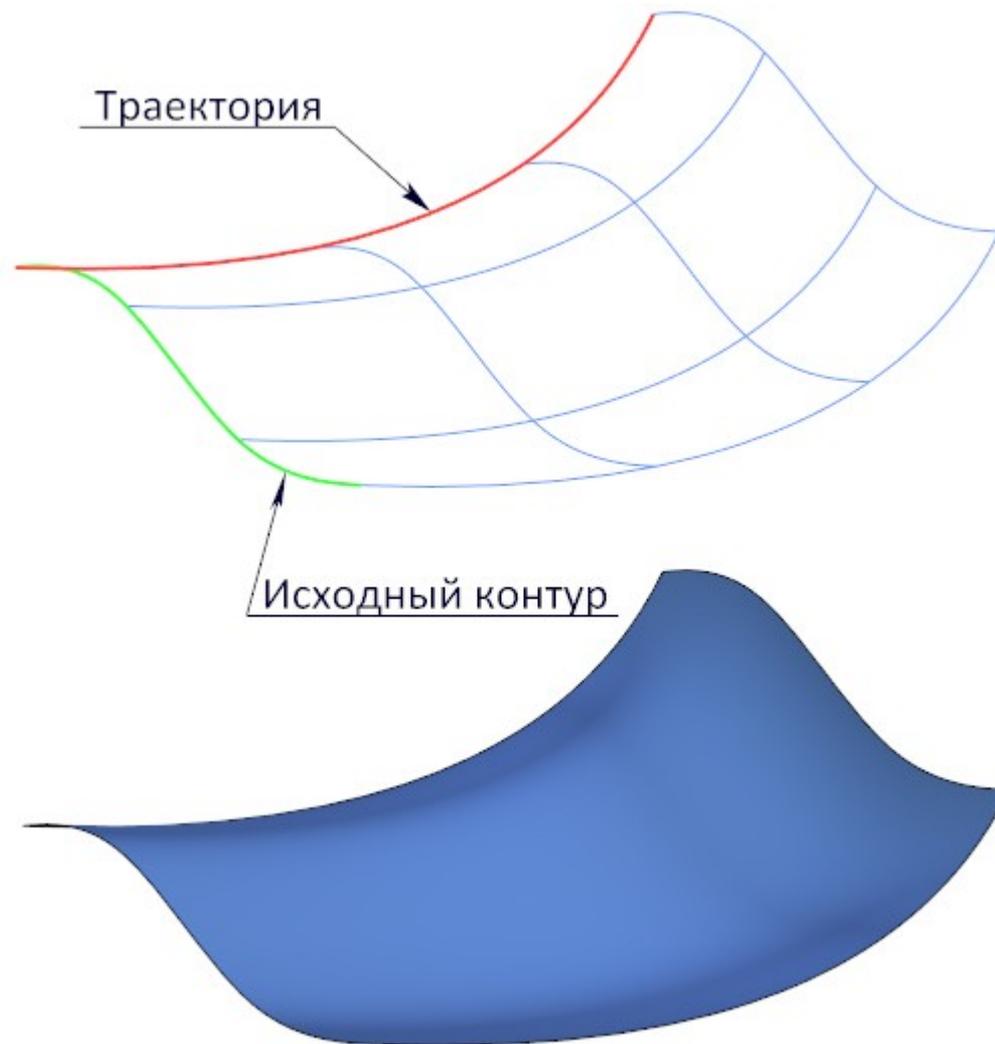
Фиксация относительно  
заданного направления

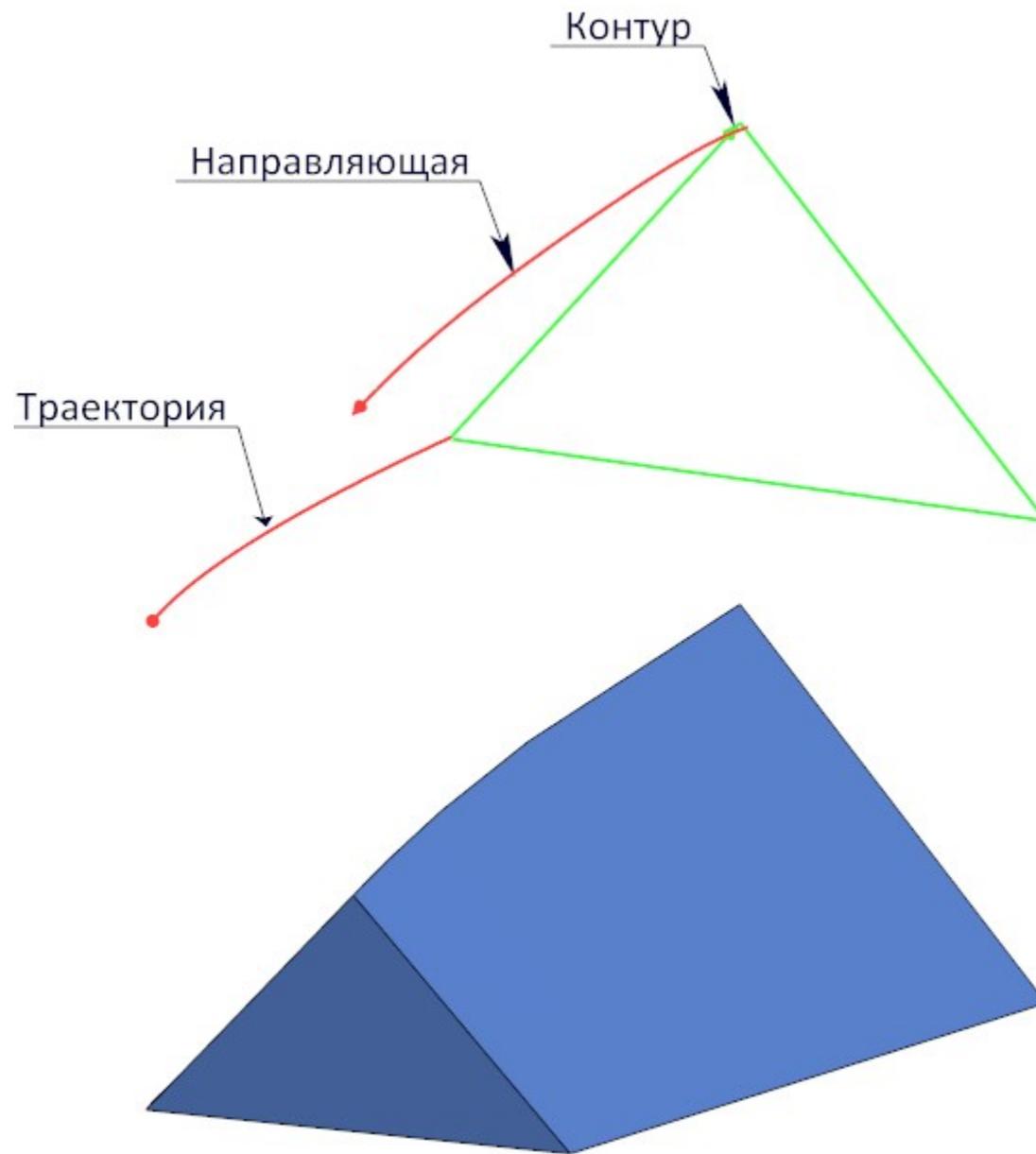
Многоконтурные профили

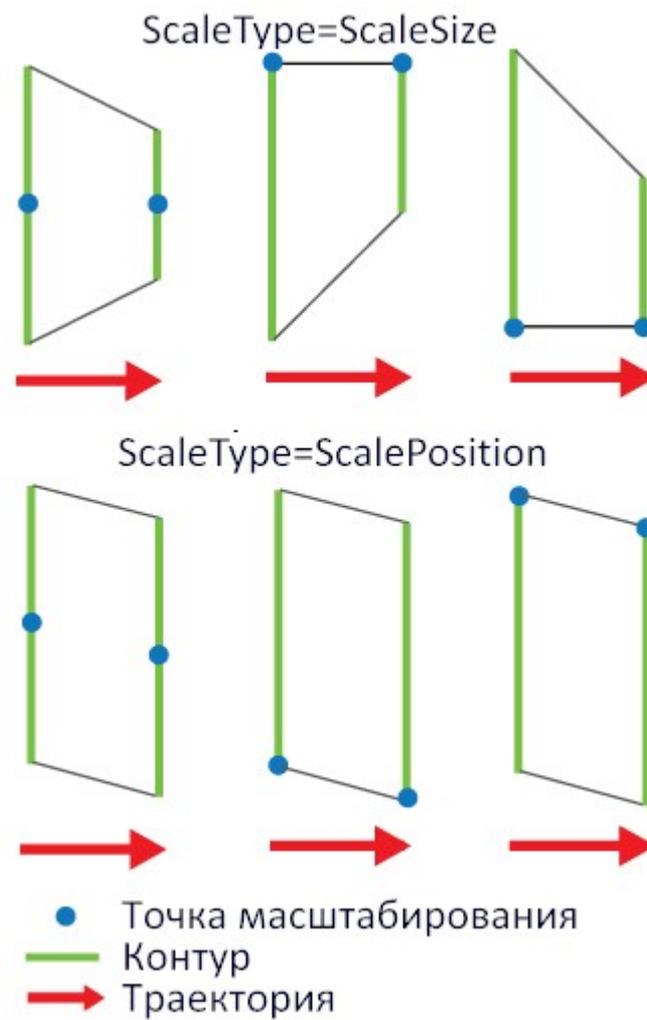


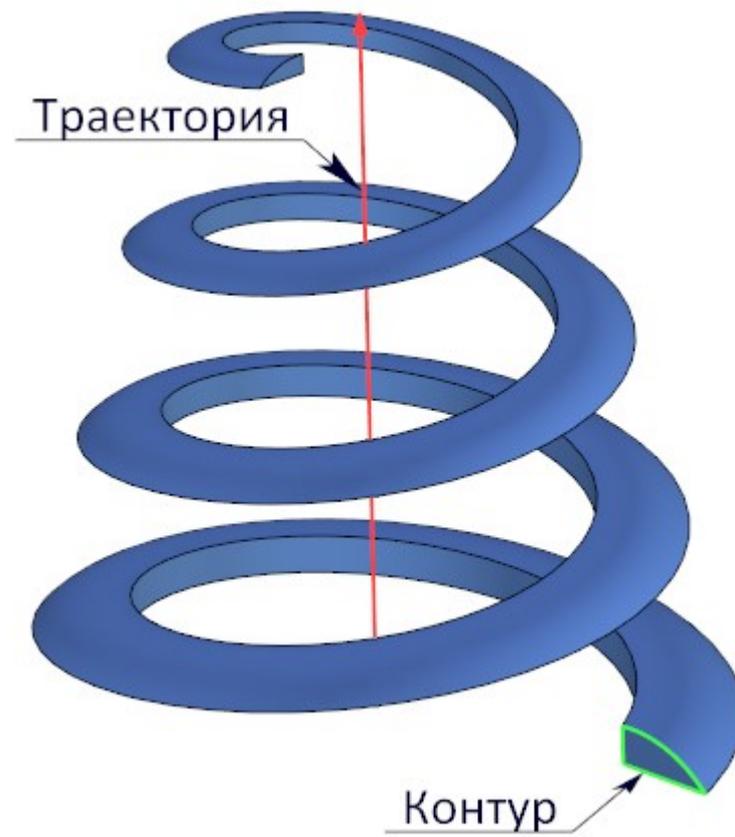












- Контур
- Траектория
- Направление кручения

