



Кафедра «Инновационные технологии машиностроения»



# **СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Осипович Дарья Андреевна  
[daria.osipovich.pnrpu@gmail.com](mailto:daria.osipovich.pnrpu@gmail.com)

# Технологическая подготовка производства

- Планирование ТПП;
- Отработка конструкции на технологичность;
- Технологическое проектирование (разработка технологических маршрутов объекта производства, разработка и типизация технологических процессов);
- Выбор оборудования;
- Выбор и проектирование оснастки;
- Нормирование.

# Основные процессы в машиностроении

- Механическая обработка



- Сборка



Количество деталей в современных изделиях достигает порядка десятков тысяч

# Три уровня автоматизации проектирования ТП

- Первый Автоматизация оформления технологической документации (маршрутные, операционные карты и другие документы).
- Второй Автоматизация поиска и расчетных задач.
- Третий Автоматизация принятия сложных логических решений

# Станок с ЧПУ – основа современного производства

- Обеспечивает высокую точность размеров получаемых поверхностей (до 3 квалитета);
- Может выполнять обработку без участия оператора в режиме 24/7.
- Обработка детали осуществляется по заранее подготовленной УП.



# Способы разработки управляющих программ (УП)

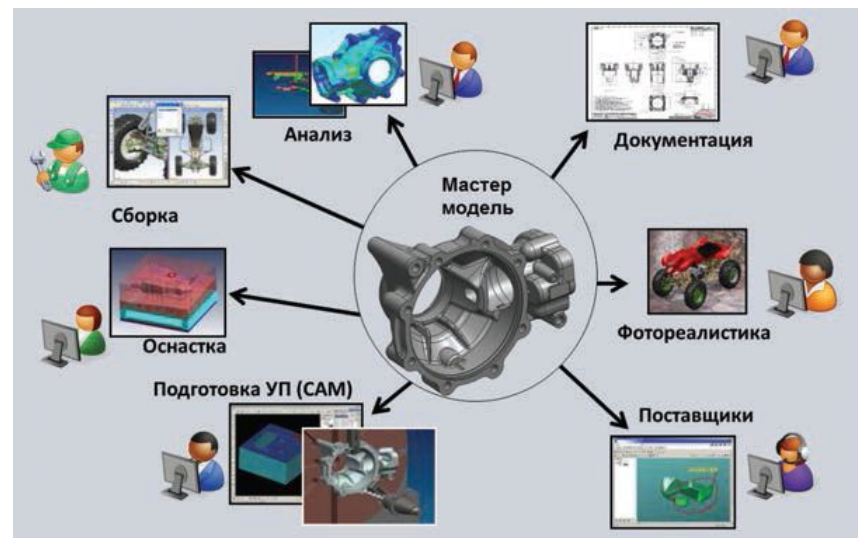
- Ручной набор кода;
- Ручные перемещения узлов станка в режиме обучения;
- Программирование на стойке с помощью циклов;
- Генерация УП на основе трехмерной модели в САМ системе.

# High-end САПР

Обеспечивают сквозное параметрическое проектирование, основываясь на концепции «Мастер-модели». Имеют большое количество специализированных модулей для решения профессиональных задач

Представители:

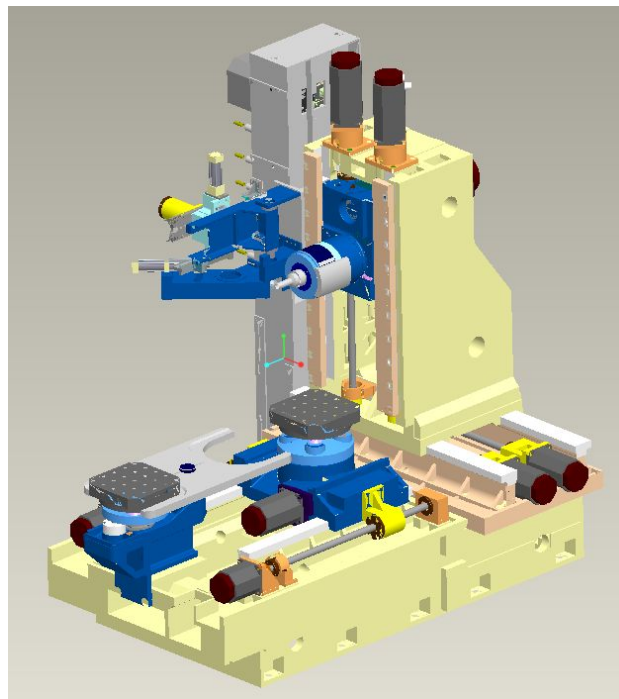
- NX (Unigraphics);
- Creo (ProEngineer);
- CATIA



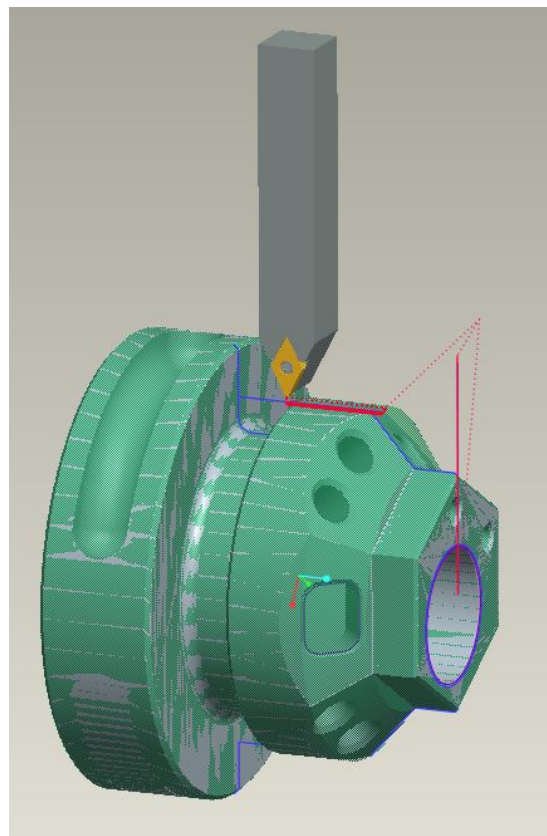


# Модульная структура САПР

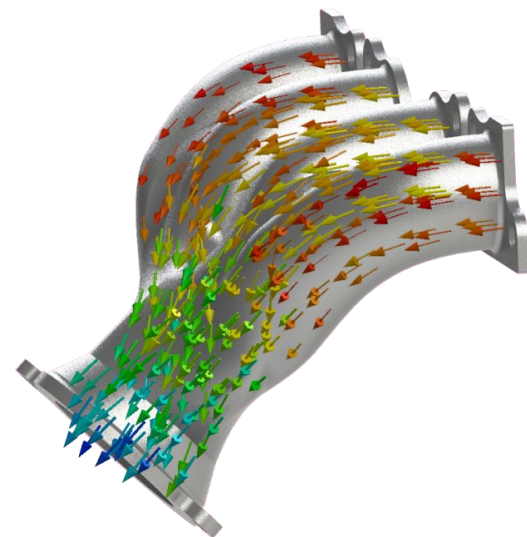
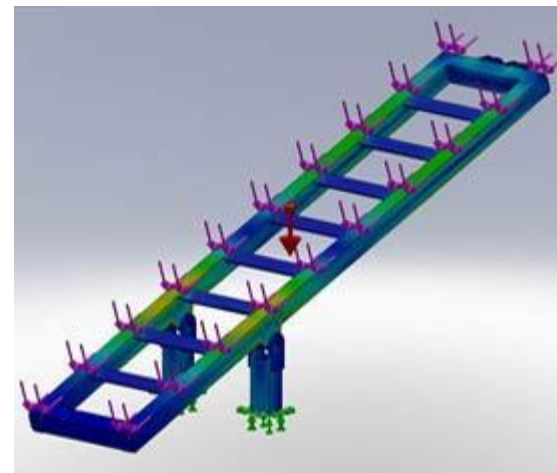
CAD -  
автоматизированное  
конструирование



CAM -  
автоматизированное  
производство



CAE - инженерные  
расчеты





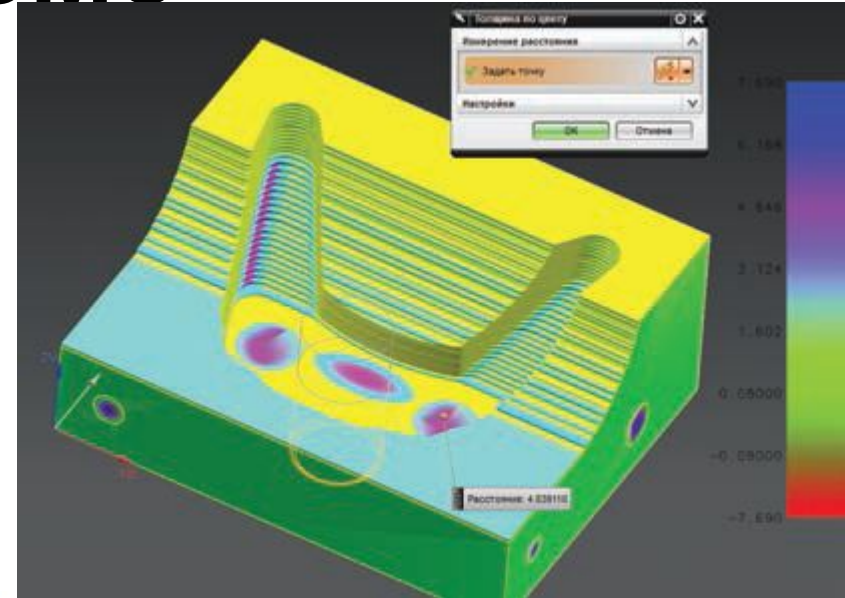
# Решаемые задачи

	<p><b>Обработка штампов и пресс-форм</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Оснастка для ТНП, автомобильной промышленности, формы для композитных материалов и др.</li></ul>
	<p><b>Обработка призматических деталей</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Общее машиностроение</li><li>• Станки</li></ul>
	<p><b>Детали сложной формы</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Лопатки и крыльчатки</li><li>• Медицинское оборудование</li><li>• Энергетика</li></ul>

- Характерные особенности каждой области технологического проектирования находят отражение в специализации модуля «Обработка».

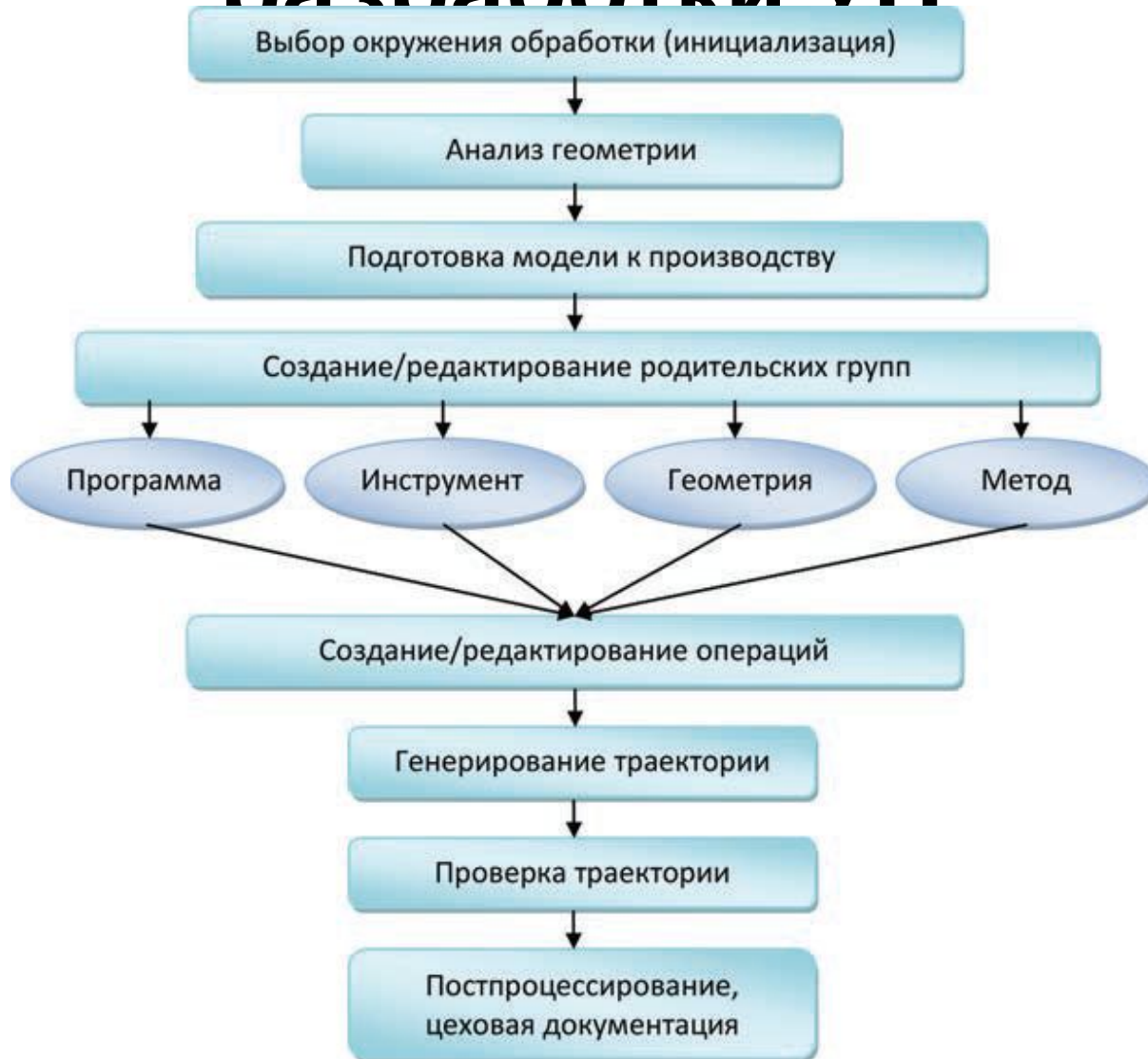
# Порядок работы в САМ-системе

- Подготовка конструкторской модели.
- Выбор и проектирование средств технологического оснащения.
- Моделирование переходов обработки детали на станках с ЧПУ.
- Верификация полученных траекторий перемещения инструмента.
- Генерация управляющей программы для станка.



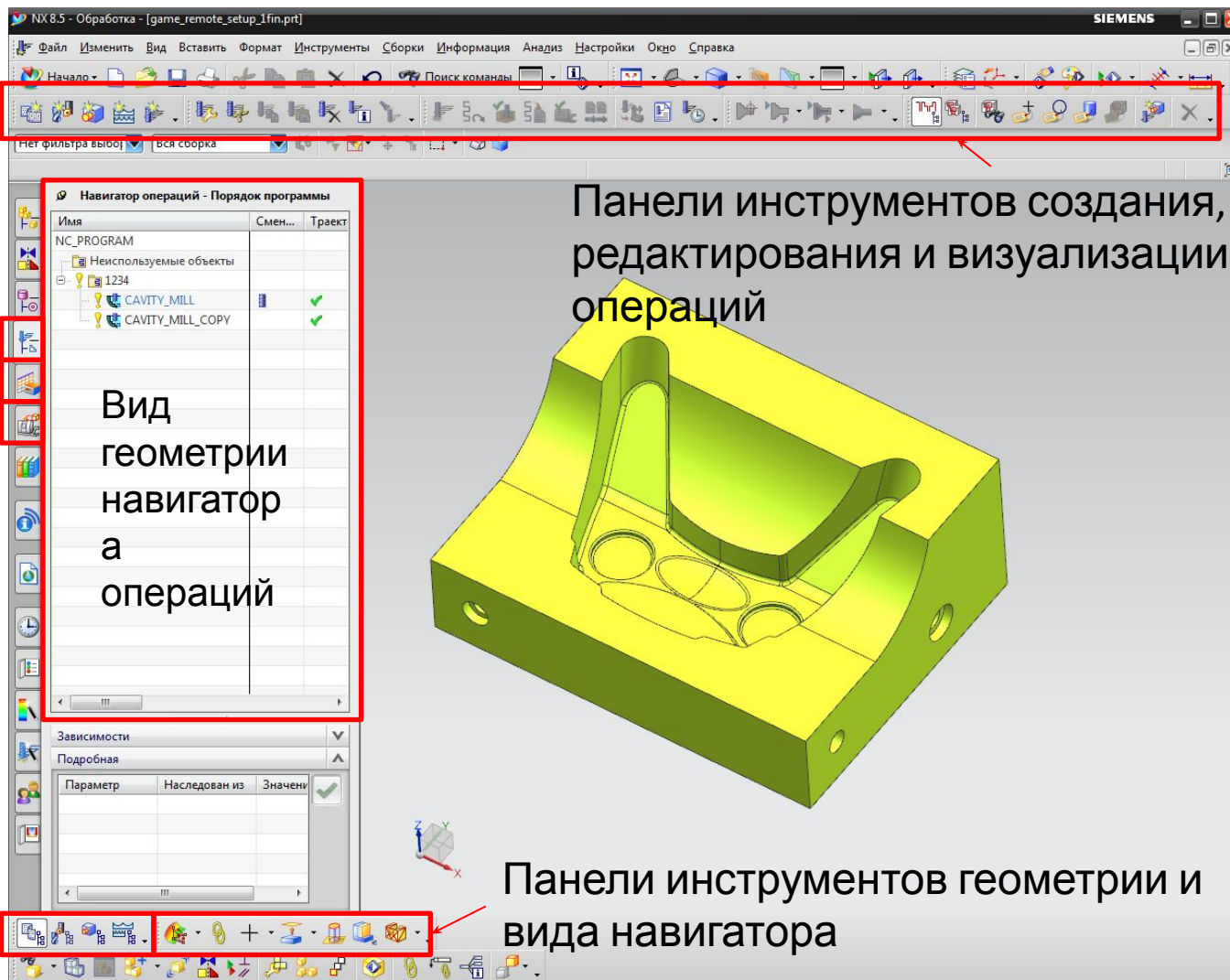
```
%  
N0010 G40 G17 G90 G70  
N0020 G91 G28 Z0.0  
N0030 T02 M06  
N0040 G0 G90 X34.6301 Y38.0471 S0 M03  
N0050 G43 Z10. H02  
N0060 Z-9.7  
N0070 G1 Z-12.7 F250. M08  
N0080 G41 X31.1377 Y41.7249 D02  
N0090 G3 X25.1377 Y33.9789 I2. J-7.746  
N0100 G1 Y21.3415  
N0110 G3 X25.9657 Y18.9046 I4. J0.0  
N0120 G2 X31.4486 Y8.1819 I-26.328 J-20.2257  
N0130 G1 X32.259 Y5.469  
N0140 X35.087 Y5.3315  
N0150 G3 X43.1139 Y5.1365 I8.0268 J165.0912  
N0160 G1 X54.3078  
N0170 G3 X62.0538 Y11.1365 I0.0 J8.  
N0180 G40  
N0190 G1 X58.376 Y14.6289  
N0200 Z-9.7  
N0210 G0 Z10.  
N0220 M02  
%
```

# Последовательность разработки УП

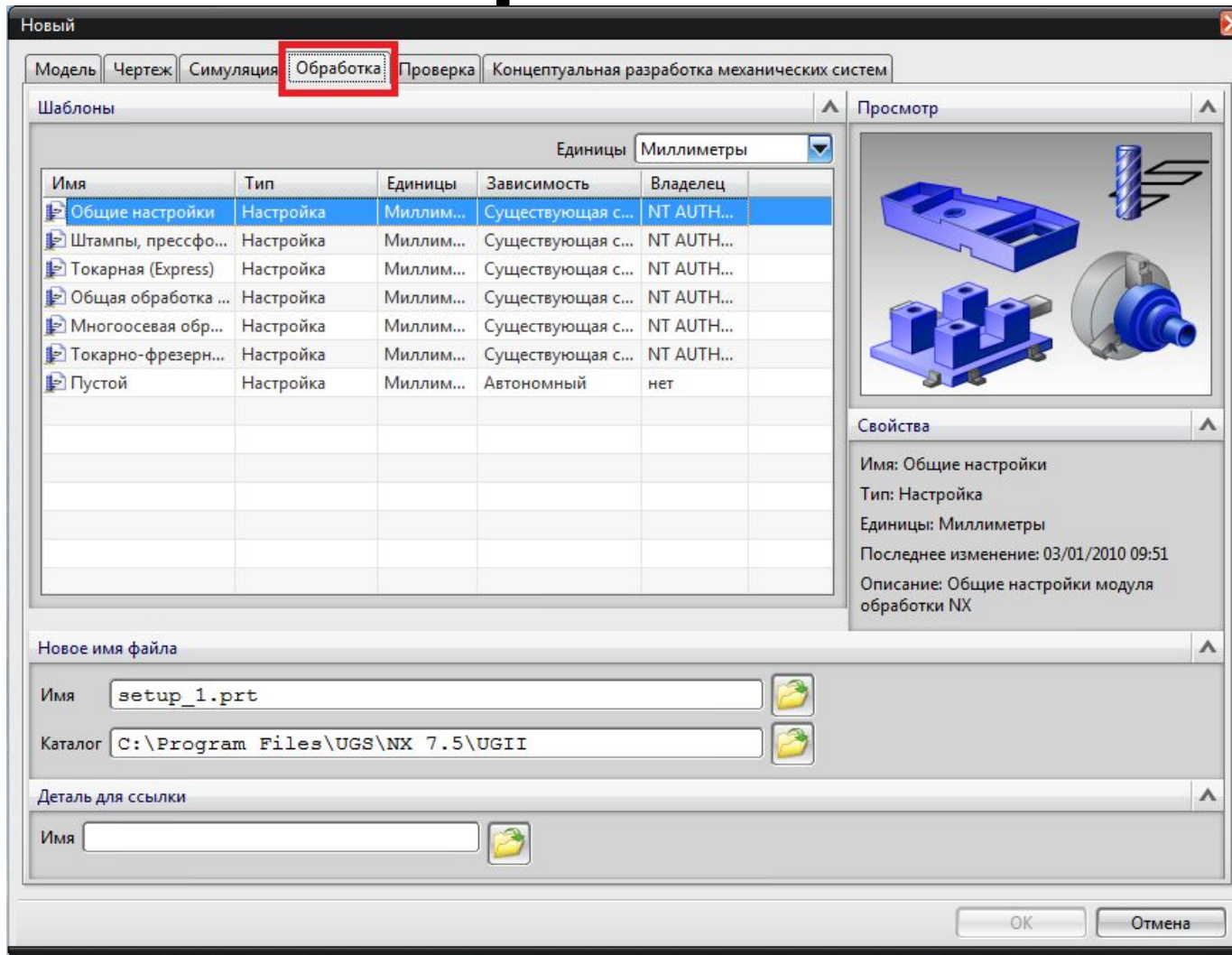


# Интерфейс модуля NX CAM

Навигаторы станка, элементов обработки и операций



# Создание новой модели обработки





# Инструменты подготовки моделей для обработки

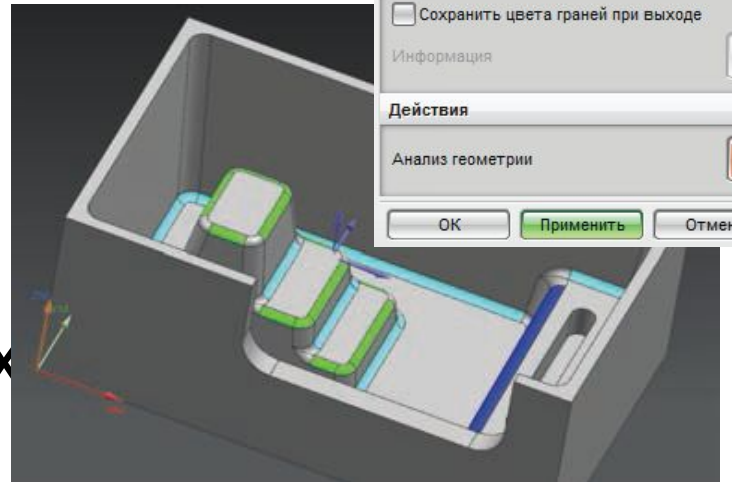
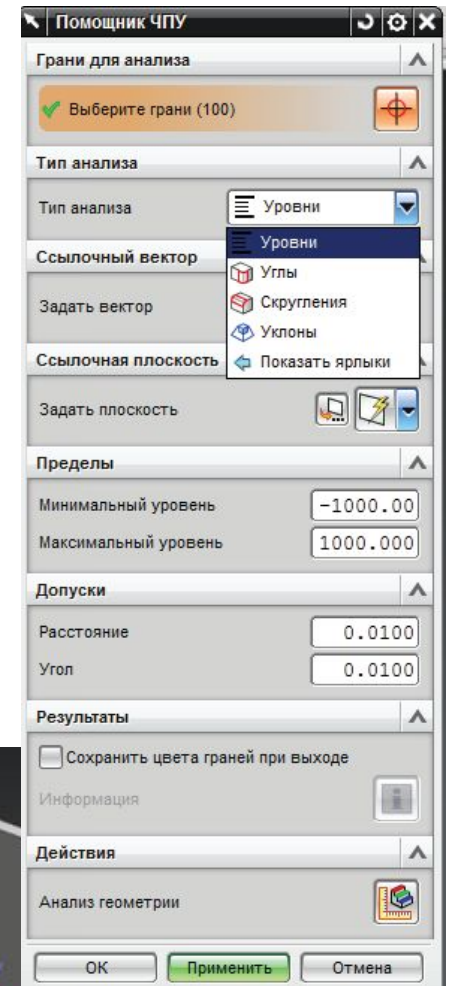
- Инструменты технологического анализа;
- Создание WAVE копии;
- Создание дополнительной геометрии и заплаток;
- Инструменты редактирования кривых и граней.





# Анализ геометрии

- Измерения;
- Анализ – геометрические свойства;
- Анализ – «Помощник ЧПУ» – позволяет выполнить оценку глубины плоских уровней, радиусов скруглений и уклонов вертикальных стенок;



# Синхронное моделирование при подготовке моделей к обработке

## Решаемые задачи:

- Удаление элементов, не обрабатываемых на данной операции;
- Создание модели заготовки.

## Часто используемые функции:

- Смещение области;
- Замена грани;
- Изменение размера грани;
- Удаление грани.

# 4 вида навигатора операций

Вид операций

Вид инструментов

Вид геометрии

Вид методов обработки

Навигатор операций - Порядок программ

Имя	Смен...	Тра
NC_PROGRAM		
Неиспользуемые объекты		
1234		
CAVITY_MILL		✓
CAVITY_MILL_COPY		✓

- Вид программ
- Вид инструментов
- Вид геометрии
- Вид методов обработки
- Поиск объекта
- Создать фильтр
- Применить фильтр
- Раскрыть все
- Свернуть все
- Экспорт в браузер
- Экспорт в электронную таблицу
- Столбцы
- Разморозить столбец
- Свойства

Навигатор операций - Станок

Имя	Тра
GENERIC_MACHINE	
Неиспользуемые объекты	
CARRIER	
POCKET_01	
MILL_D20	
CAVITY_MILL	✓
CAVITY_MILL_...	✓
POCKET_02	
POCKET_03	
POCKET_04	
POCKET_05	
POCKET_06	
POCKET_07	
POCKET_08	
POCKET_09	
POCKET_10	
POCKET_11	
POCKET_12	
POCKET_13	
POCKET_14	
POCKET_15	
POCKET_16	
POCKET_17	
POCKET_18	

Навигатор операций - Геометрия

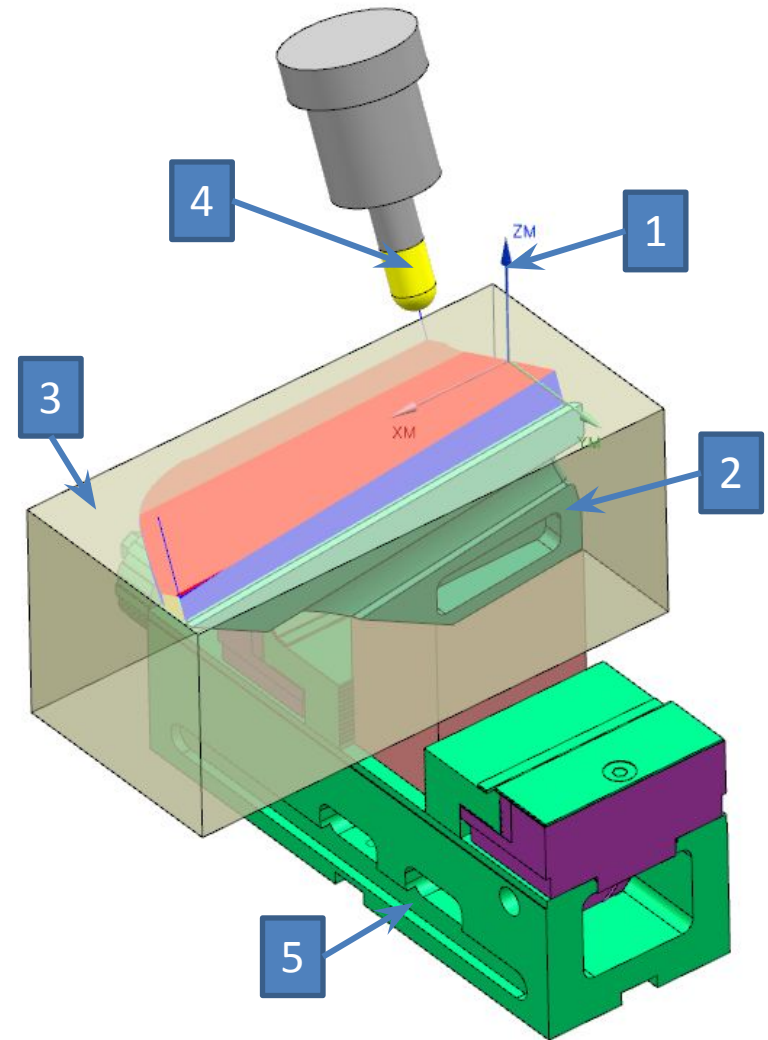
Имя	Тра
GEOMETRY	
Неиспользуемые объекты	
MCS_MILL	
WORKPIECE	
CAVITY_MILL	✓
CAVITY_MILL_CO...	✓

Навигатор операций - Метод обработки

Имя	Тра
METHOD	
Неиспользуемые объекты	
MILL_ROUGH	
CAVITY_MILL	✓
MILL_SEMI_FINISH	
MILL_FINISH	
CAVITY_MILL_COPY	✓
DRILL_METHOD	

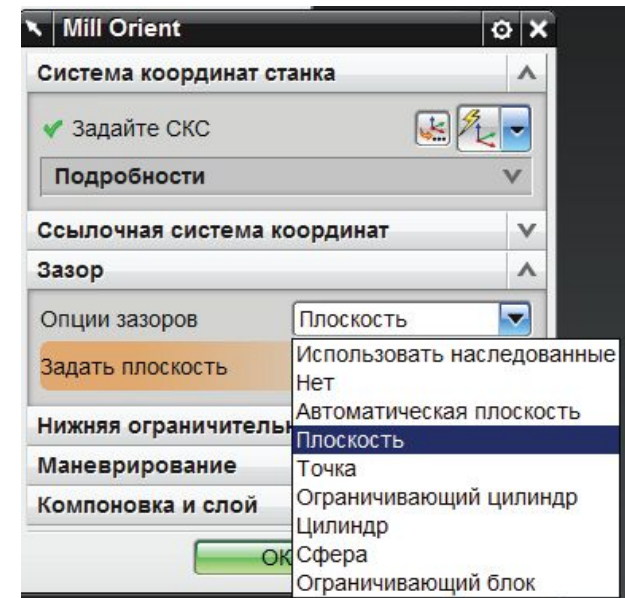
# Элементы модели обработки в NX

1. Система координат
2. Деталь
3. Заготовка
4. Инструмент
5. Приспособление



# Система координат станка (СКС)

- СКС имеет оси XM, YM, ZM;
- Обозначается **MCS\_MILL** для фрезерной обработки и **MCS\_SPINDEL** для токарной обработки;
- Точка начала СКС – нулевая точка УП;
- Допускается задание поверхности безопасности.



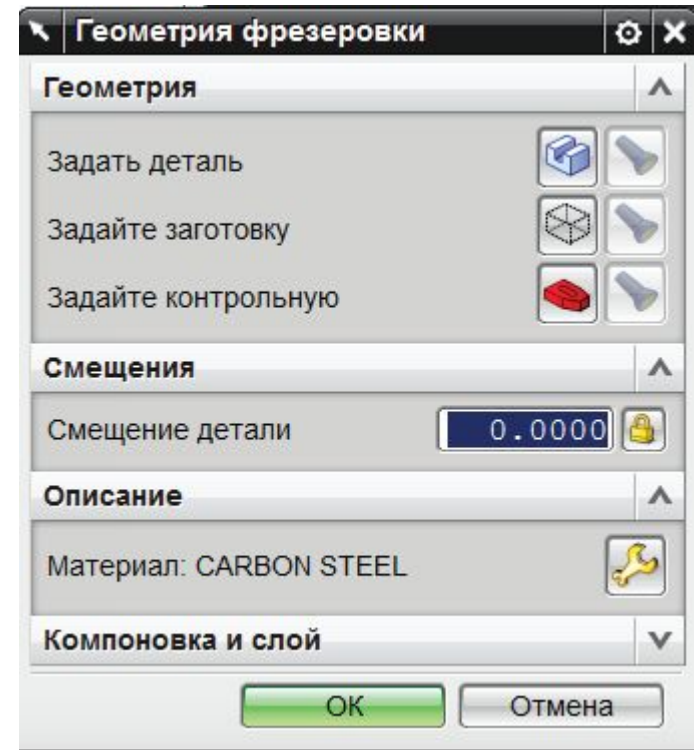
# Деталь и заготовка (WORKPIECE)

**Деталь** - тело из мастер-модели;

Варианты построения **заготовки**:

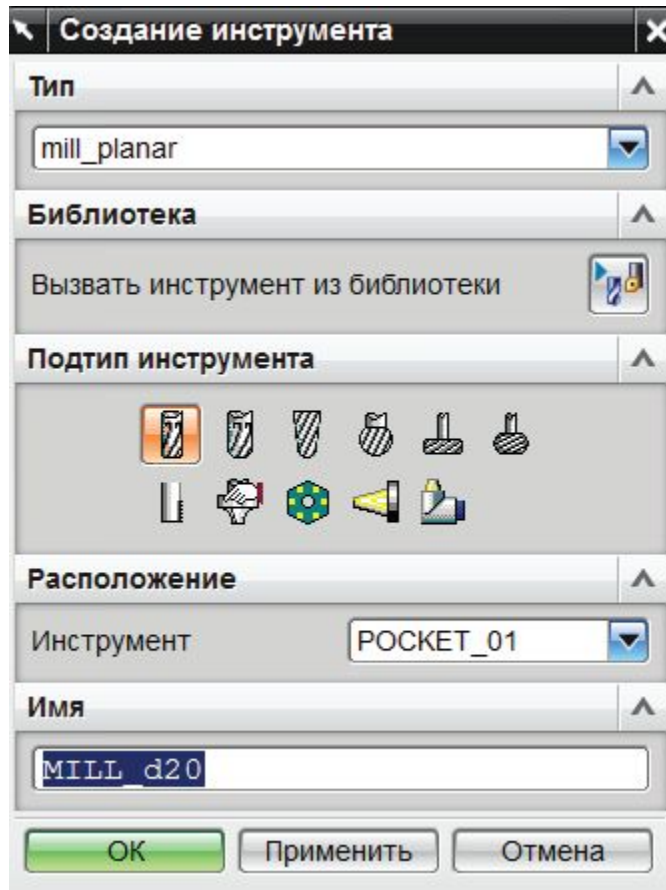
- Ограничивающий блок/цилиндр;
- Геометрия тела из сборки;
- ???

**Контрольная геометрия** – объекты, с которыми не должен сталкиваться инструмент при обработке.



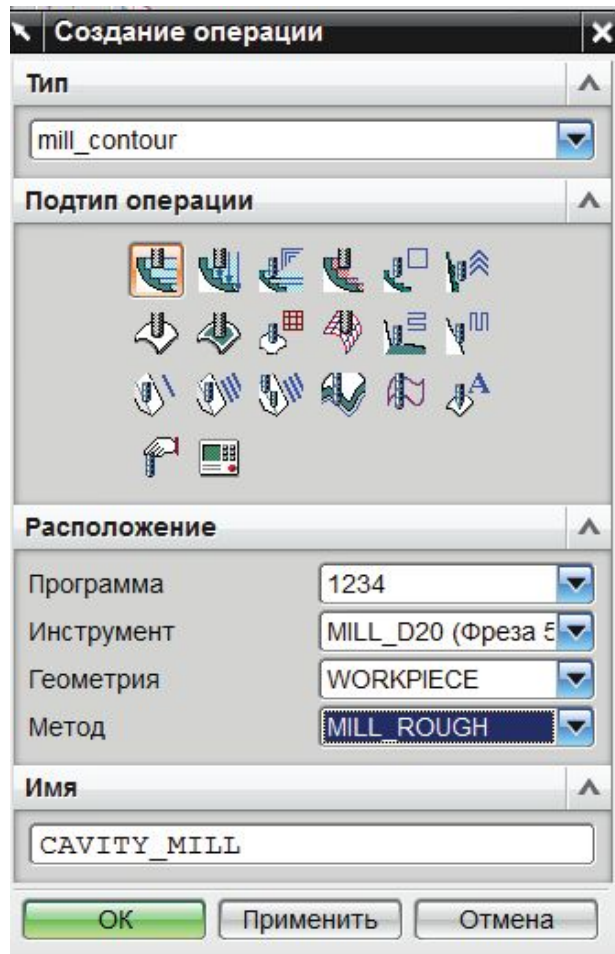


# Режущий инструмент



- Располагается в одной из ячеек магазина;
- В зависимости от создаваемой обработки доступны различные подтипы инструмента;
- Описывается параметрами или твердотельной моделью.

# Операции



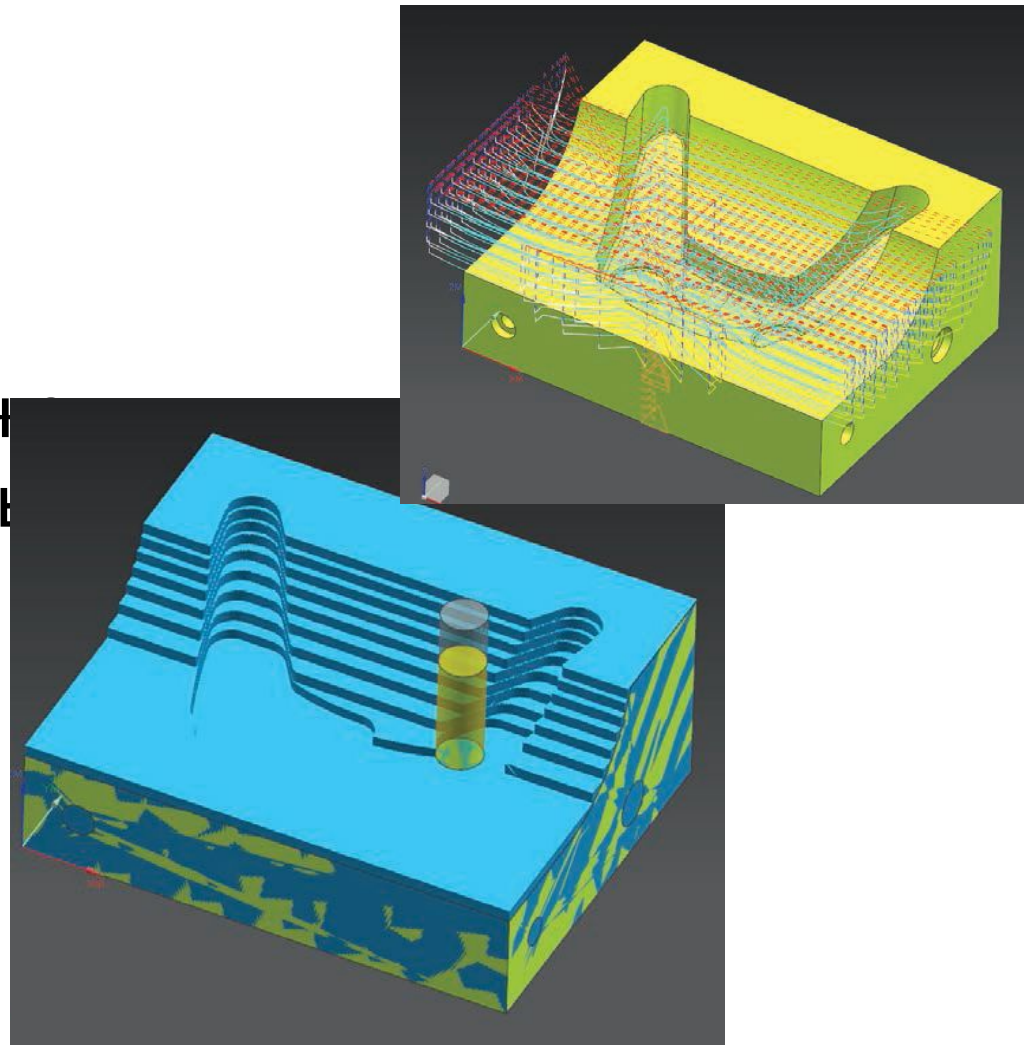
Требует задания:

- Обрабатываемой геометрии;
- Параметров инструмента;
- Стратегии и параметров обработки;
- Режимов резания и станочных функций

Для актуализации сделанных изменений необходимо **Генерировать** операцию.

# Верификация

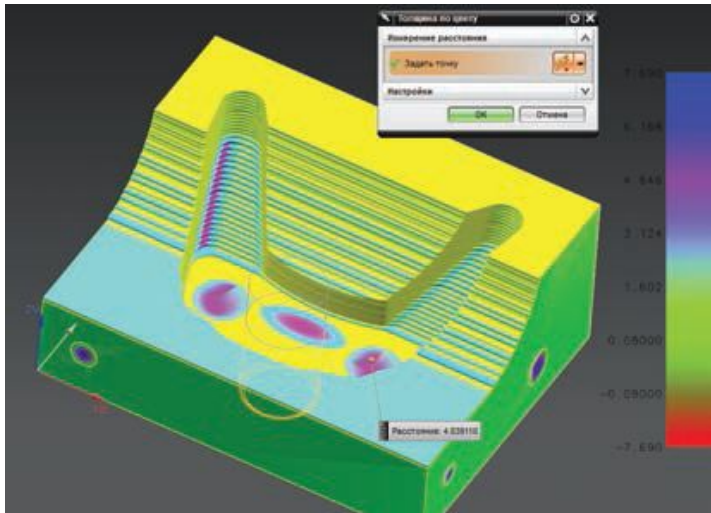
Доступны режимы просмотра траектории и удаления материала, а также симуляция работы станка.



# Режимы удаления материала

## 2D динамика:

- Разный цвет для разных операций;
- Нет возможности вращения модели.



## 3D динамика:

- Поддерживает вращение и масштабирование модели.
- Имеет опции настройки Заготовки в Процессе обработки (**ЗвПО**)
- ЗвПО может быть сохранена как фасетное тело.

# **2,5D ФРЕЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА**

# Обработка плоских граней

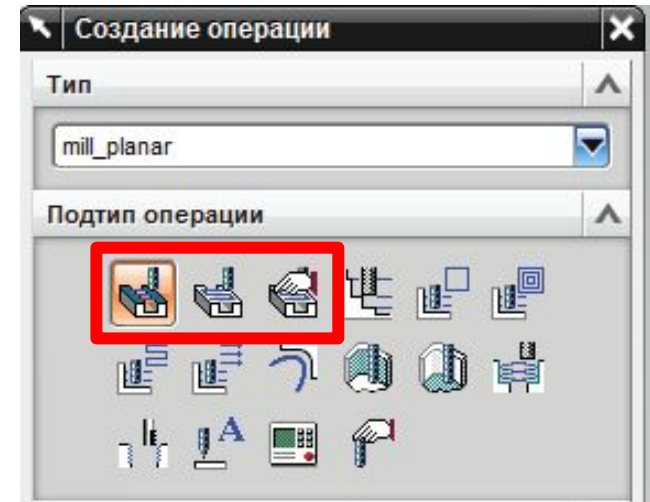
- Основные команды фрезерной обработки плоских граней сгруппированы в категории:
- **MILL\_PLANAR** – обработка плоских граней на основе контуров без учета тела;
- **2,5D\_MILLING** – обработка плоских граней с учетом заготовки в процессе обработки на нескольких установках.



# MILL\_PLANAR

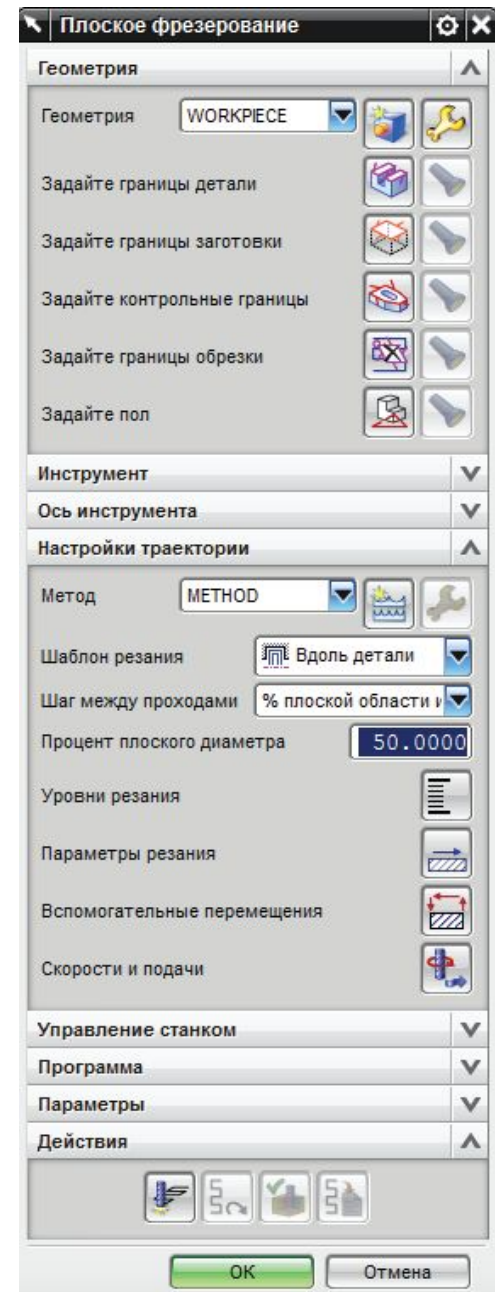
Группа команд Face\_Milling реализует чистовую обработку плоских граней:

- **FACE\_MILLING\_AREA** – обработка граней, заданных областью резания;
- **FACE\_MILLING** – обработка граней, заданных с использованием границ;
- **FACE\_MILLING\_MANUAL** – обработка граней с возможностью задания различных шаблонов резания для различных граней.



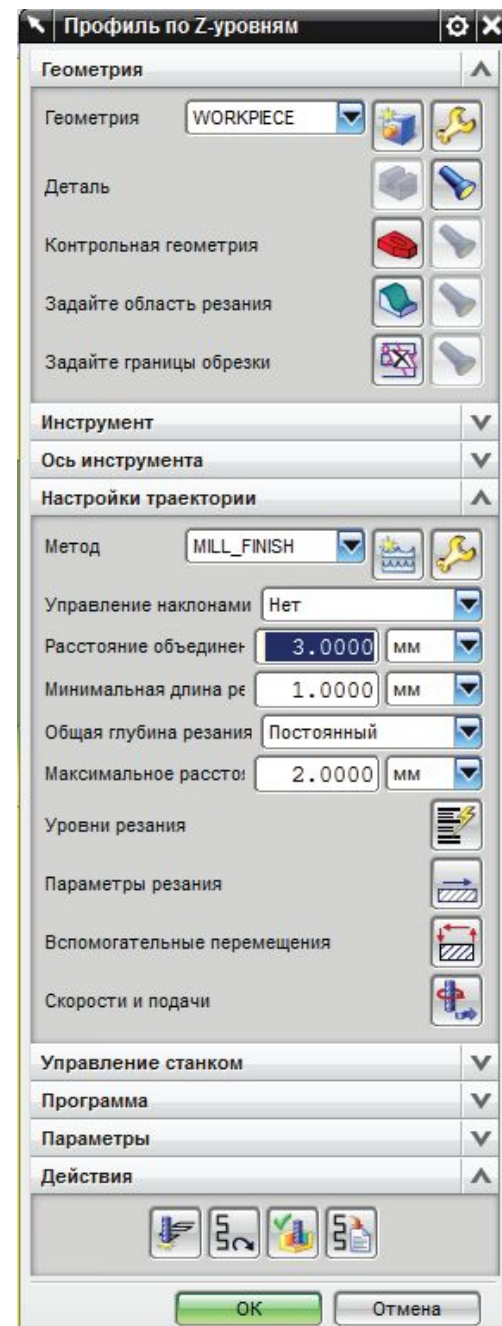
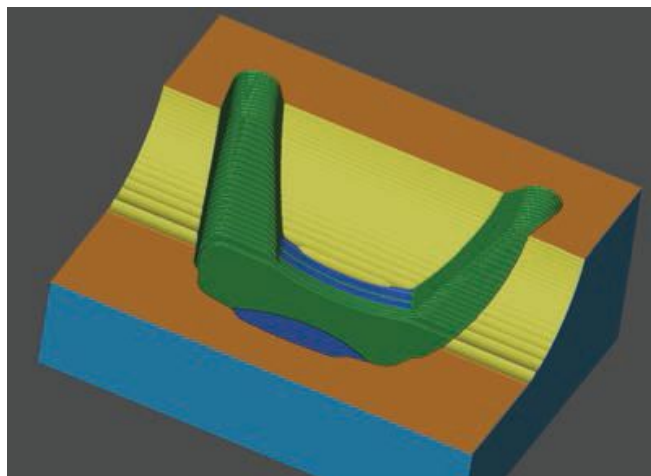
# PLANAR\_MILL

- Работает с границами вместо граней твердого тела;
- Задается сторона обрабатываемого материала и глубина обработки;



# ZLEVEL\_PROFILE

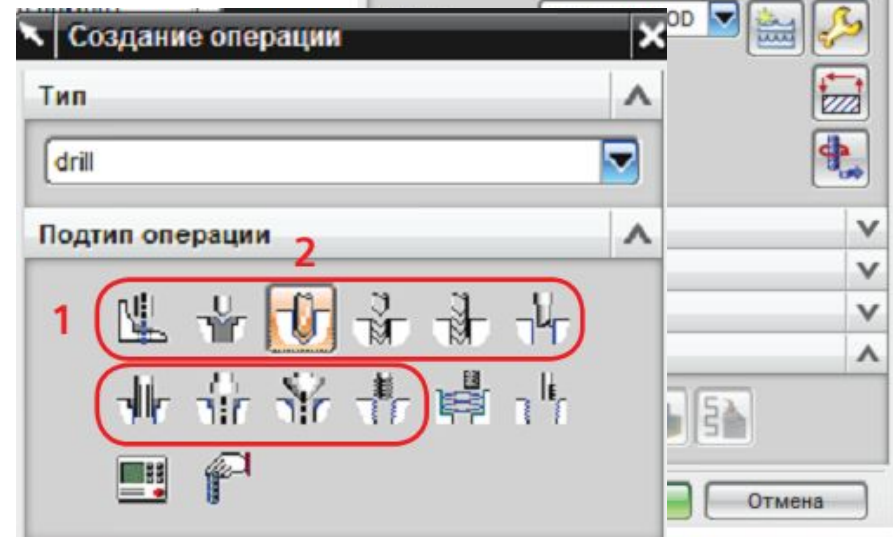
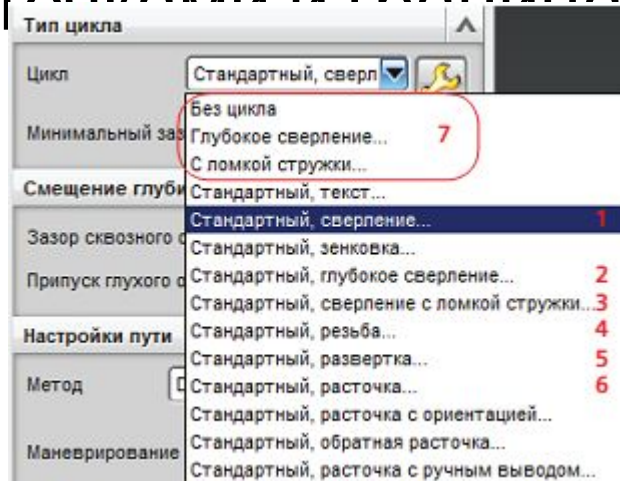
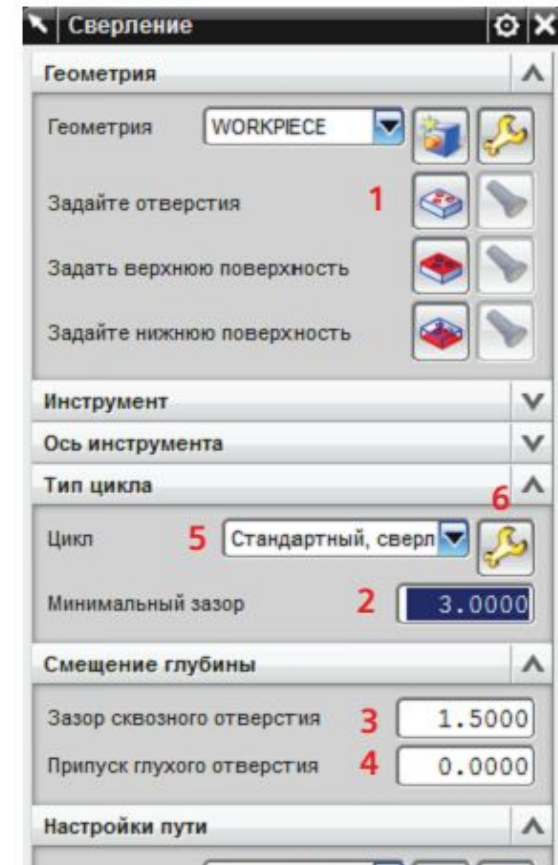
- Команды ZLEVEL\_PROFILE и ZLEVEL\_CORNER из группы MILL\_CONTUR используется для получистовой и чистовой обработки наклонных поверхностей.



# Обработка отверстий

# Осевые операции

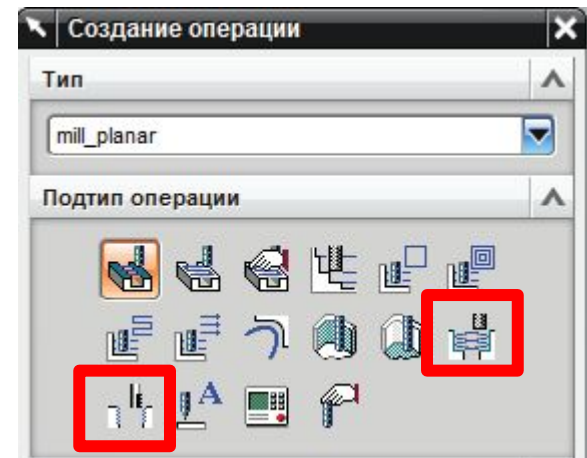
- Тип операций: **Drill**.
- Базовая операция – **сверление**, остальные получаются выводом различных циклов (5).
- Отверстие определяется точками и размерами.



# Фрезерная обработка ОТВЕРСТИЙ

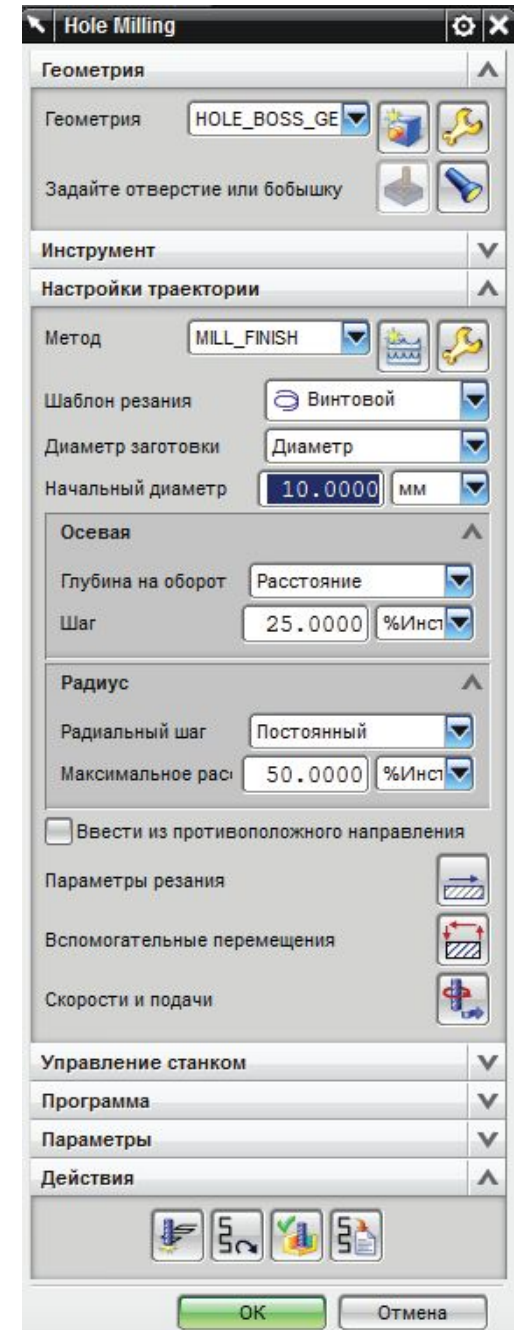
Для обработки отверстий  
используются две  
фрезерные операции:

- **HOLE\_MILLING** –  
фрезерная обработка  
отверстия;
- **THREAD\_MILL** –  
фрезерование резьбы в  
отверстии;



# HOLE\_MILLING

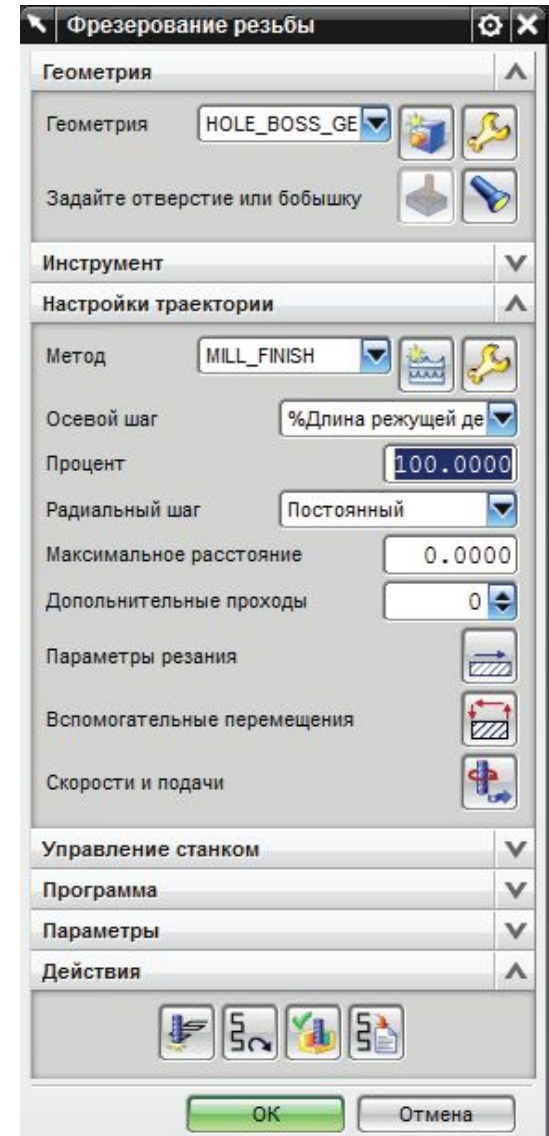
- Для задания операции требуется определение геометрической группы **HOLE\_BOSS\_GEOM**;
- Используются спиральный и винтовой шаблоны резания;
- Моделирование выполняется без учета геометрии заготовки.





# THREAD\_MILL

- Для задания операции требуется определение геометрической группы **HOLE\_BOSS\_GEOM**;
- Моделирование выполняется на основе параметров символической резьбы указанной в CAD модели или заданных в явном виде;



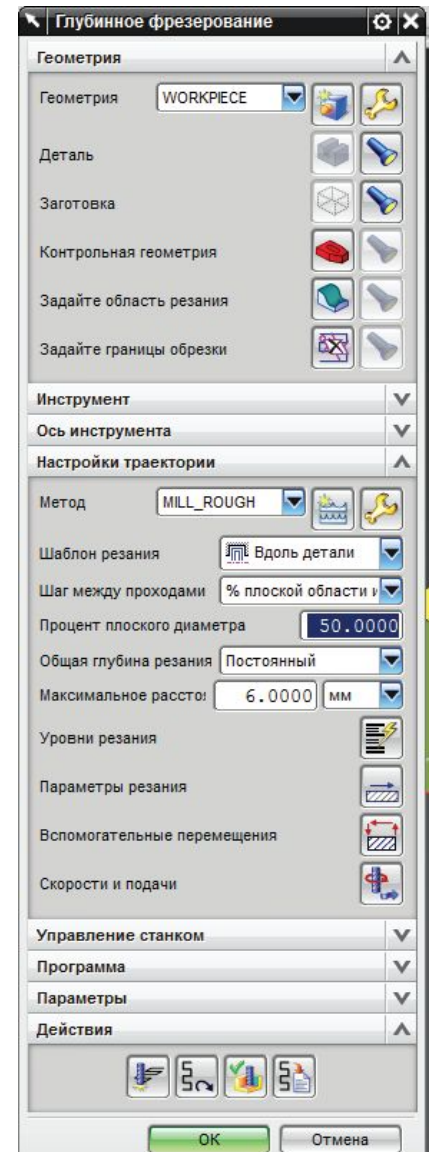
# **3D ФРЕЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА**

# Обработка криволинейных граней

- Основные команды фрезерной обработки криволинейных граней сгруппированы в категории:
- **MILL\_CONTUR** – фрезерная обработка криволинейных граней на основе геометрии твердого тела;

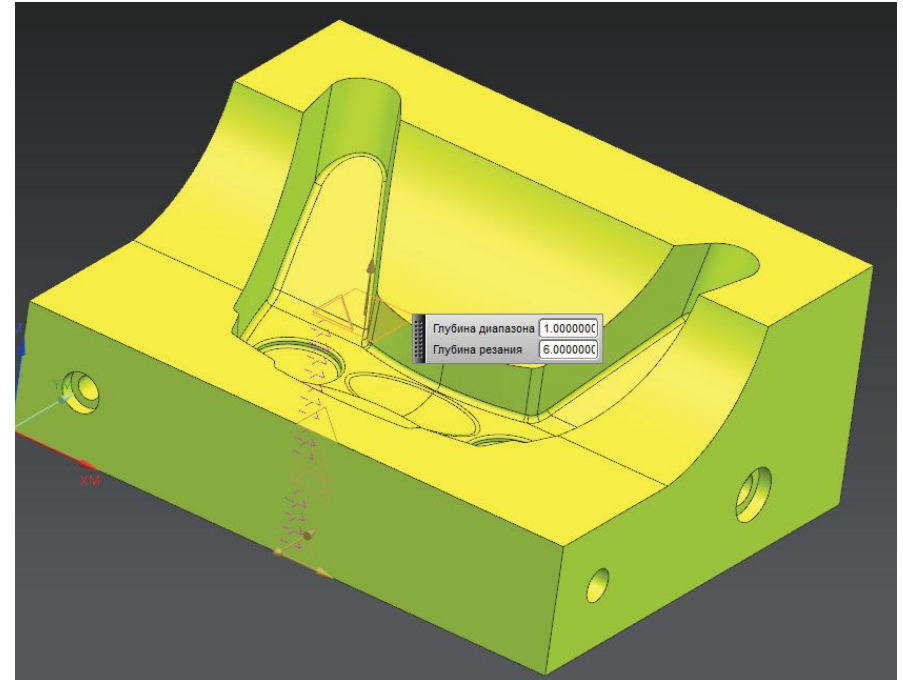
# Черновая обработка CAVITY\_MILL

- Используется для удаления большого количества материала.
- Задействует 2,5 оси – обработка по плоским уровням.
- В группе геометрии обязательно задание детали и заготовки, опционально – области резания, границ обрезки и контрольной геометрии.
- В настройках траектории задаются методы, шаблоны, уровни и параметры перемещения инструмента



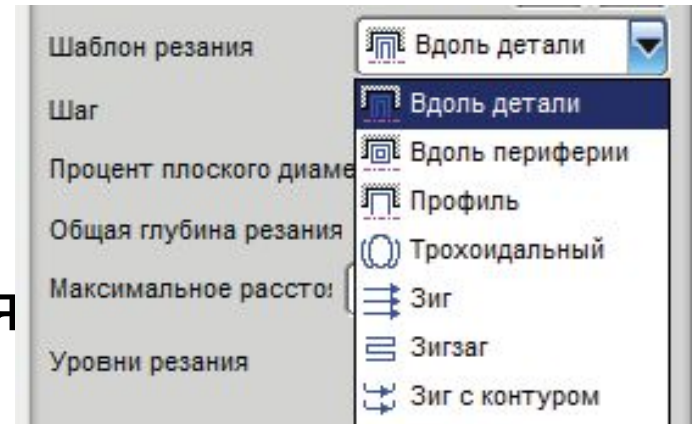
# Уровни резания

- Определяют плоскости движения инструмента.
- Уровни резания могут быть разбиты на диапазоны по границам геометрических зон или координатам Z.



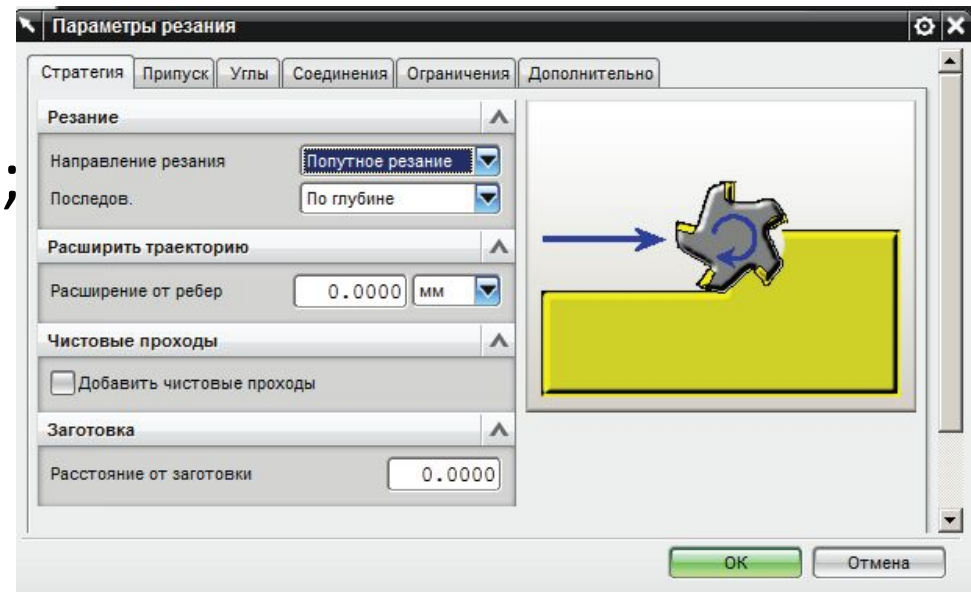
# Шаблоны резания

- Определяют закон перемещения в пределах плоскости.
- Шаблон **«Вдоль детали»** наиболее часто используется для открытых областей.
- **«Вдоль периферии»** – для закрытых областей.
- **«Профиль»** - для чистовой контурной обработки.
- **«Зиг»** и его вариации – для плоских участков.
- **«Трохоидальный»** - при высокоскоростной обработке



# Параметры резания

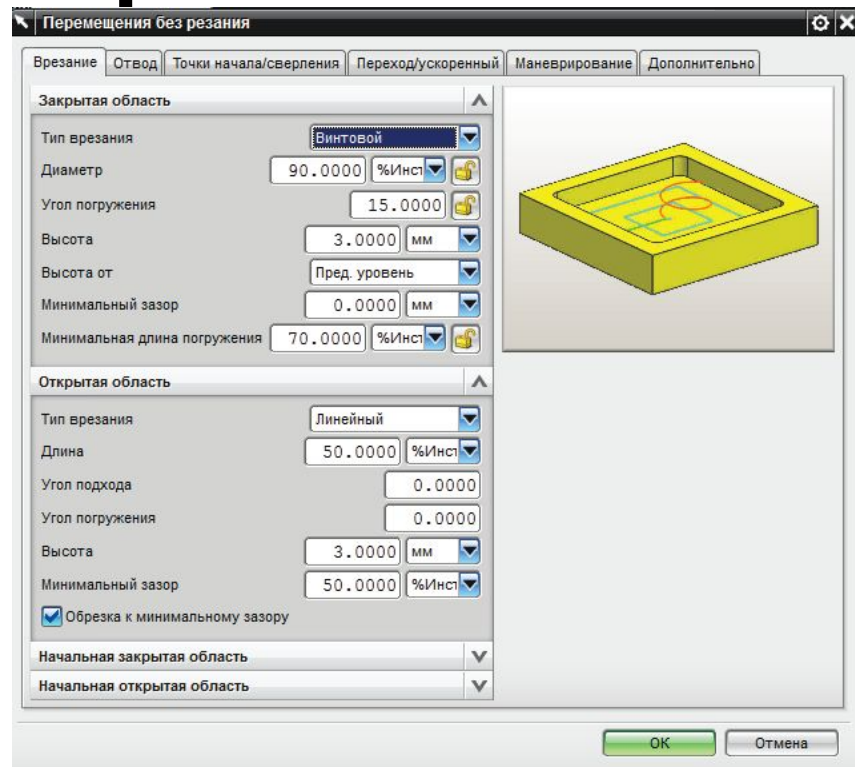
- Применяются только к рабочим ходам – когда инструмент контактирует с материалом заготовки (голубые участки траектории).
- Позволяет влиять на направление резания, припуски к профилю; обход углов; переходы между областями резания; контроль резания по воздуху и столкновений





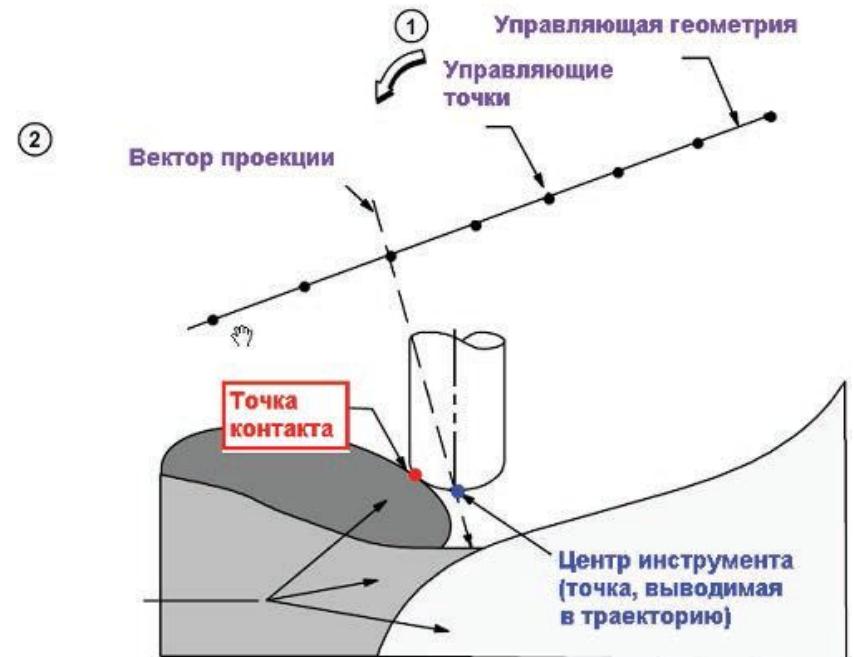
# Вспомогательные перемещения

- Определяют траекторию и параметры перемещения инструмента без резания (белый и желтый участки траектории), переходы между участками траектории и опции маневрирования.



# 3-осевое контурное фрезерование

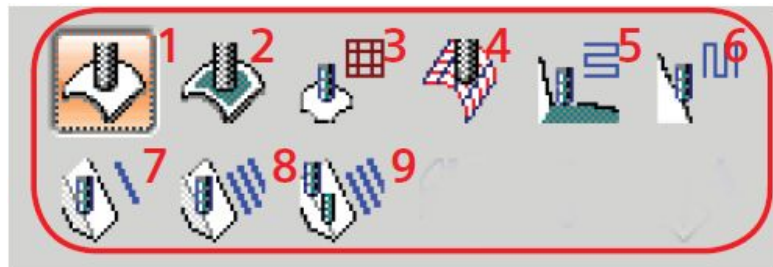
- На основе управляющей геометрии из модели создается **Управляющий шаблон**
- Инструмент помещается в управляющую точку и осуществляется поиск **точки контакта**.
- Точка контакта и точка центра инструмента



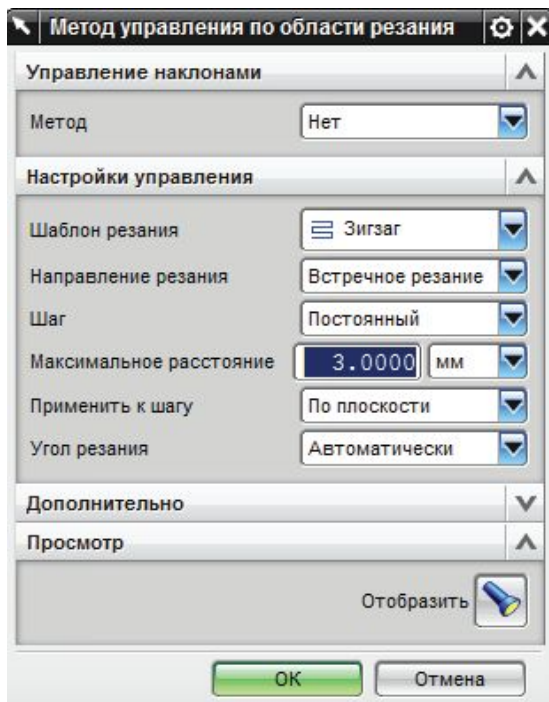
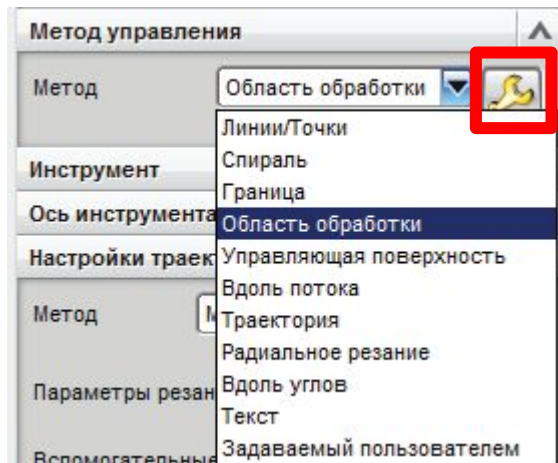
# Контурные операции

## MILL\_CONTUR

- 1 – **FIXED\_CONTOUR** – базовая контурная операция с фиксированной осью инструмента;
- 2, 3 – **CONTOUR\_AREA, CONTOUR\_SURFACE\_AREA** – вариант операции, где управляющая геометрия задается областью обработки или управляющими поверхностями;
- 4 – **STREAMLINE** – вариант операции, где управляющая геометрия обычно также является областью обработки, но на основе этой геометрии формируются так называемые линии потока;
- 5, 6 – **CONTOUR\_AREA\_NON\_STEEP, CONTOUR\_AREA\_DIR\_STEEP**, операция **CONTOUR\_AREA** с включенным функционалом выделения ненаклонных и наклонных участков соответственно;
- 7, 8, 9 – **FLOWCUT\_SINGLE, FLOWCUT\_MULTIPLE, FLOWCUT\_REF\_TOOL** – операции поиска и доработки вогнутых углов на детали.



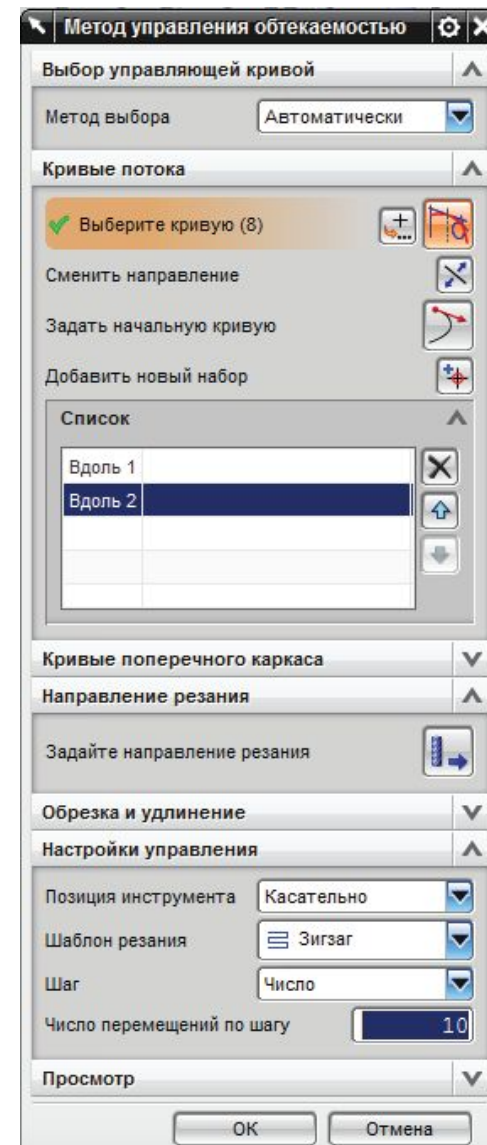
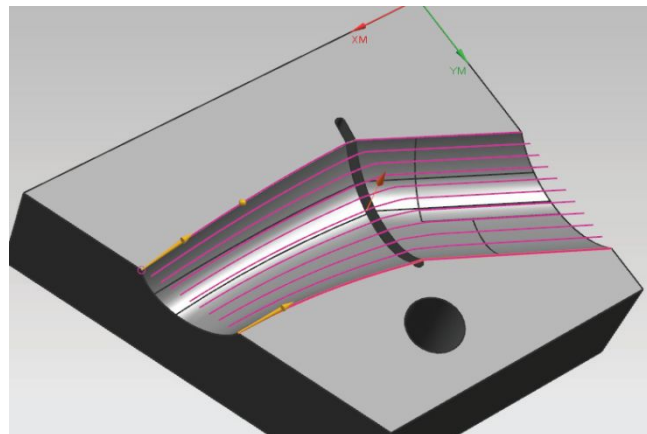
# Методы обработки: область резания



- Настройки метода управления «Область обработки» соответствуют ранее изученным, например для CAVITY\_MILL
- Используются дополнительные шаблоны резания и варианты врезания.
- Допускается использовать фиксированную наклонную ось инструмента.

# Методы обработки: STREAMLINE

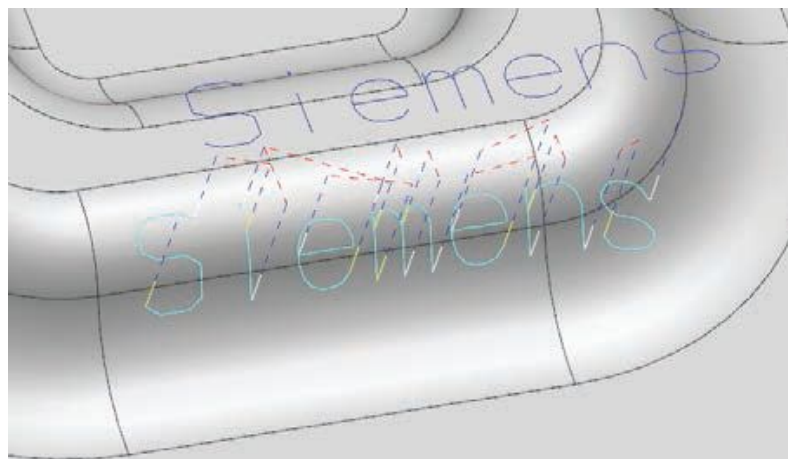
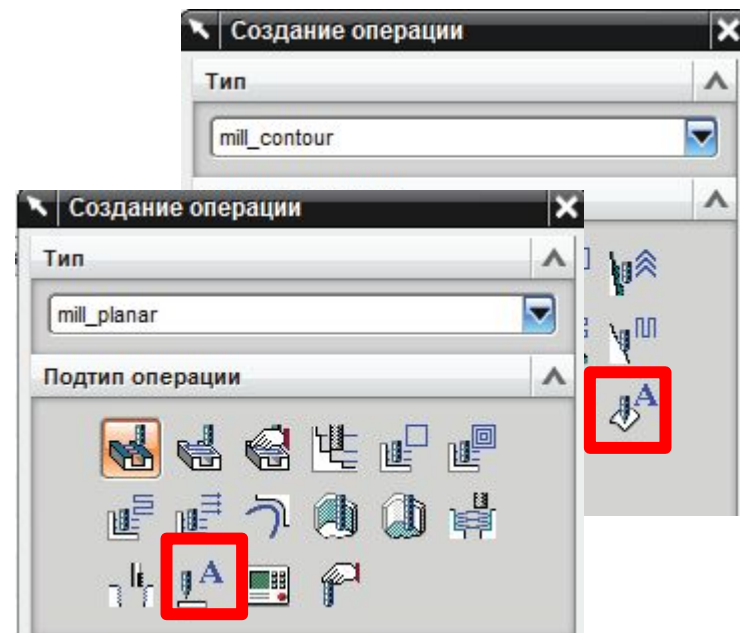
- Шаблон резания определяется **линиями потока** по граничным ребрам граней или кривым, выбранным вручную.
- Используется для высокоскоростной 3х и 5ти осевой обработки.



# Гравировка текста

Есть 3 способа гравировки текста:

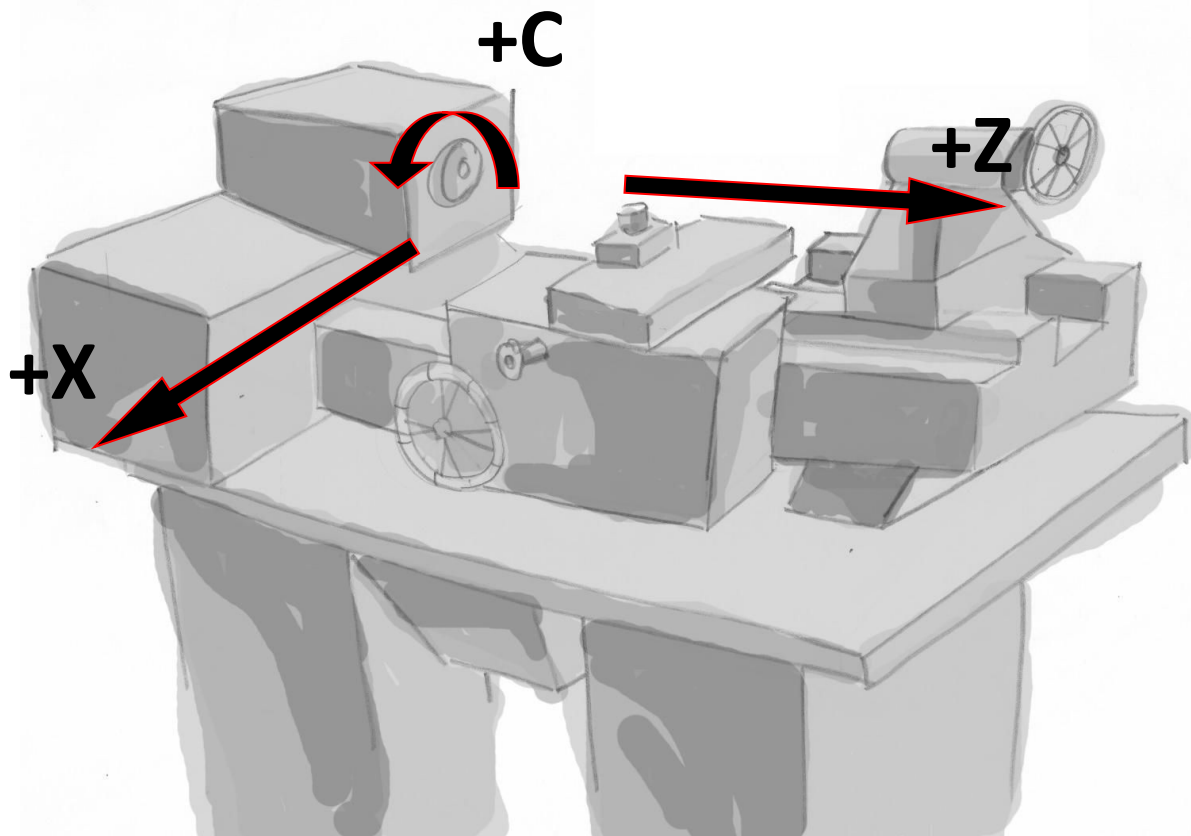
- Контурный – **CONTOUR\_TEXT**
- Плоский – **PLANAR\_TEXT**
- **FIXED\_CONTOUR** с методом управления «**Линии/точки**».
- Модель смещается на глубину текста.



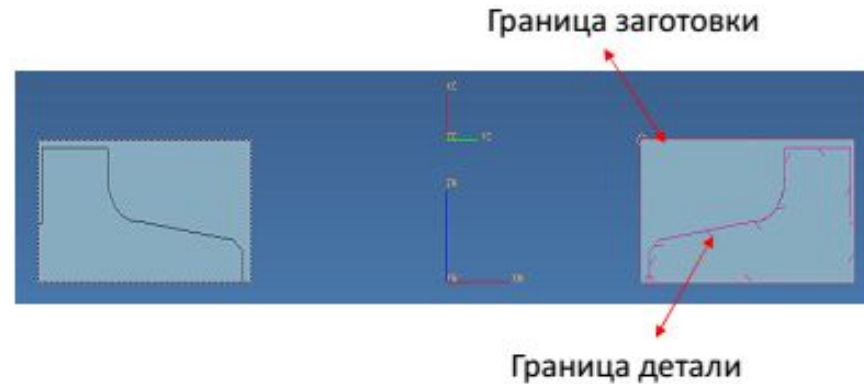
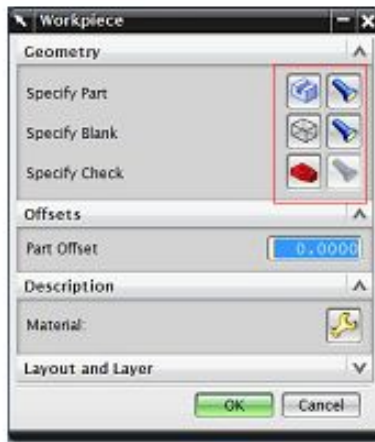
# **ТОКАРНАЯ ОБРАБОТКА**



# Токарная система координат

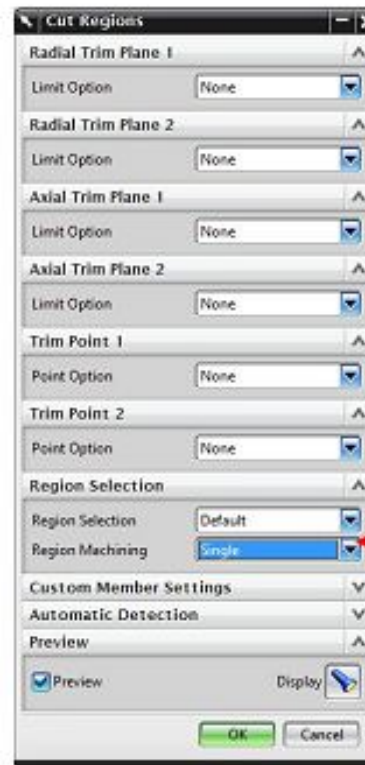
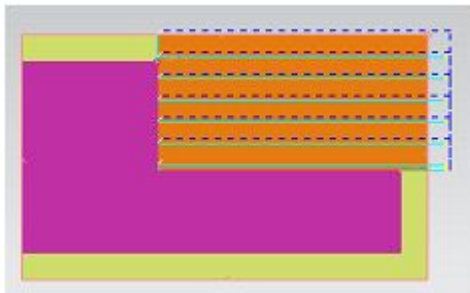
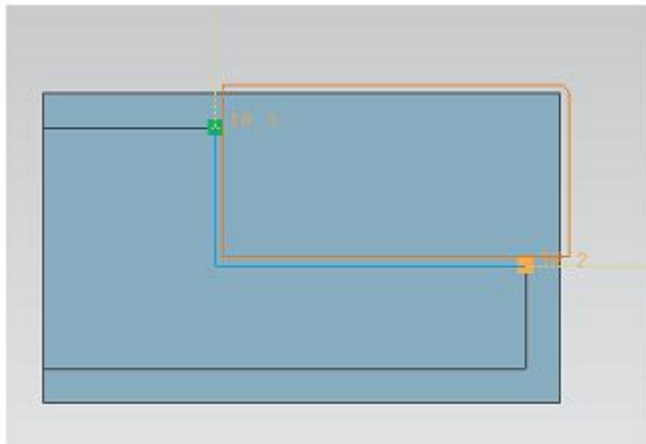


# Рабочая геометрия WORKPIECE



Основывается на применении границ в плоскости, а не твердых тел.  
Является 2D обработкой.

# Определение области обработки



Плоскости  
обрезки

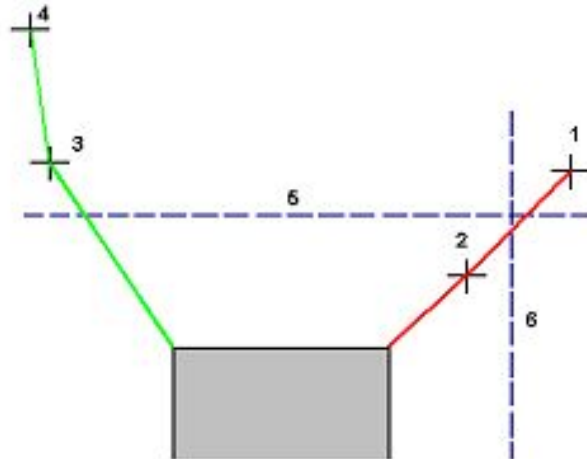
Точки  
обрезки

Выбор региона  
обрезки

Можно также задавать  
обработку отдельно  
конкретного региона,  
либо нескольких сразу

# Геометрия маневрирования

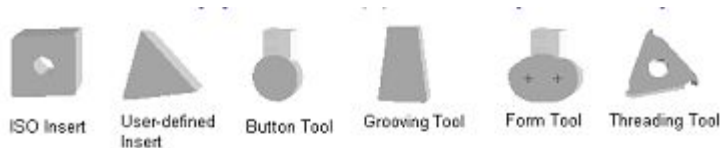
Для перемещений **без резания** до или после траектории инструмента, чтобы избежать столкновений с деталью или прижимами



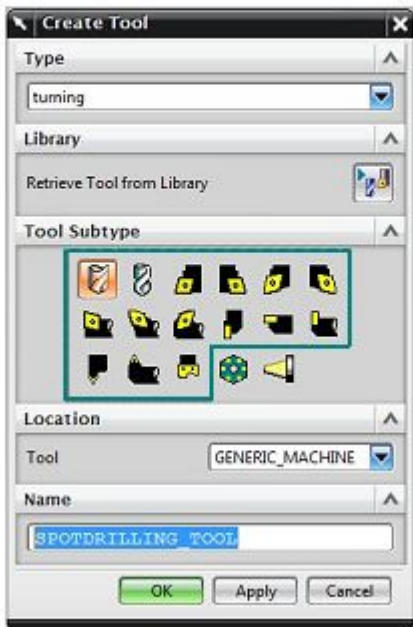
Перемещения маневрирования, где: 1 - Точка From; 2 - Начальная точка; 3 - Точка возврата; 4 - Точка GoHome; 5 - Радиальная плоскость безопасности; 6 - Осевая плоскость безопасности



# Токарный инструмент

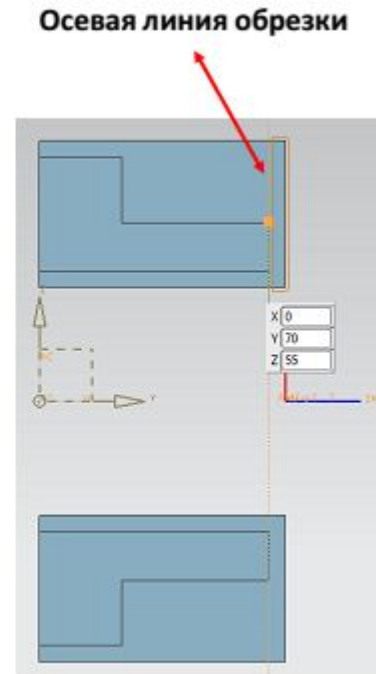
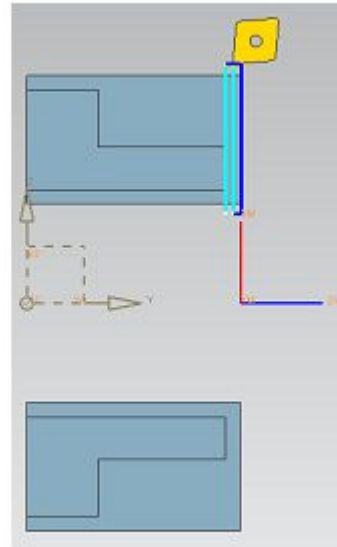


Поддерживаемые типы токарных инструментов



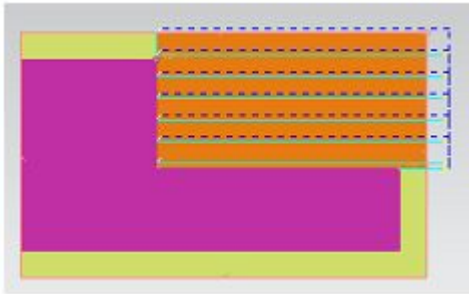
- Проходные резцы с различными углами пластины:  
внутренние и наружные
- Канавочные резцы
- Резьбовые резцы
- Фасонные резцы
- Сверла

# Торцевая обработка



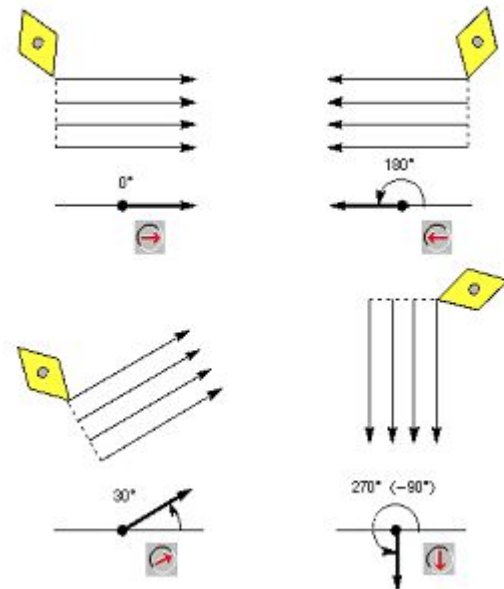
Выполняется для удаления материала по линиям, перпендикулярным оси вращения заготовки.

# Черновая обработка



Состоит из простых прямолинейных проходов по определенной координате диаметра. Обычно осуществляется в несколько проходов.

Может быть приближена к форме чистовой геометрии за счет угла наклона траектории






# Профильная обработка

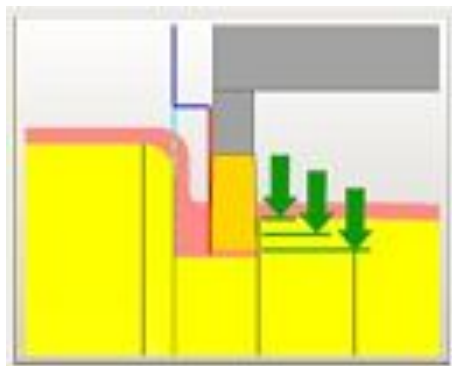
- Чистовая обработка с возможным перемещением инструмента по двум осям одновременно.
- Может выполняться непрерывно или по одному из шаблонов, определяющих последовательность проходов.



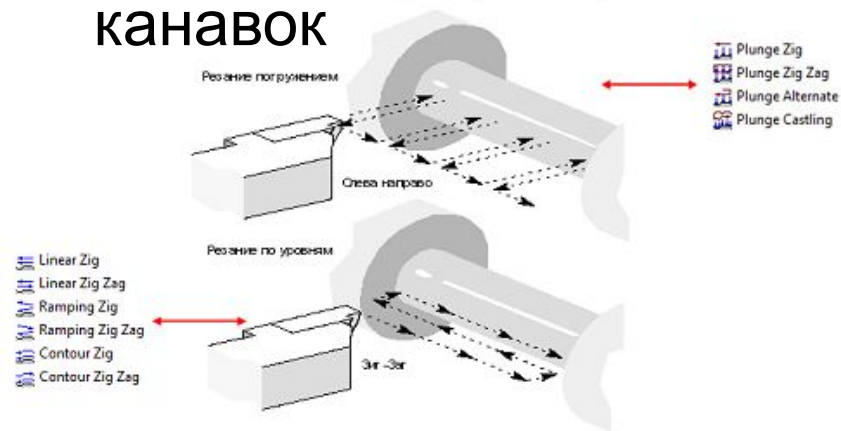
-  Finish All
-  Down Only
-  Diameters Only
-  Faces Only
-  Diameters First, Then Faces
-  Faces First, Then Diameters
-  Towards Corner
-  Away from Corner

# Обработка канавок (проточек)

Обработка углублений на профиле детали специальным инструментом

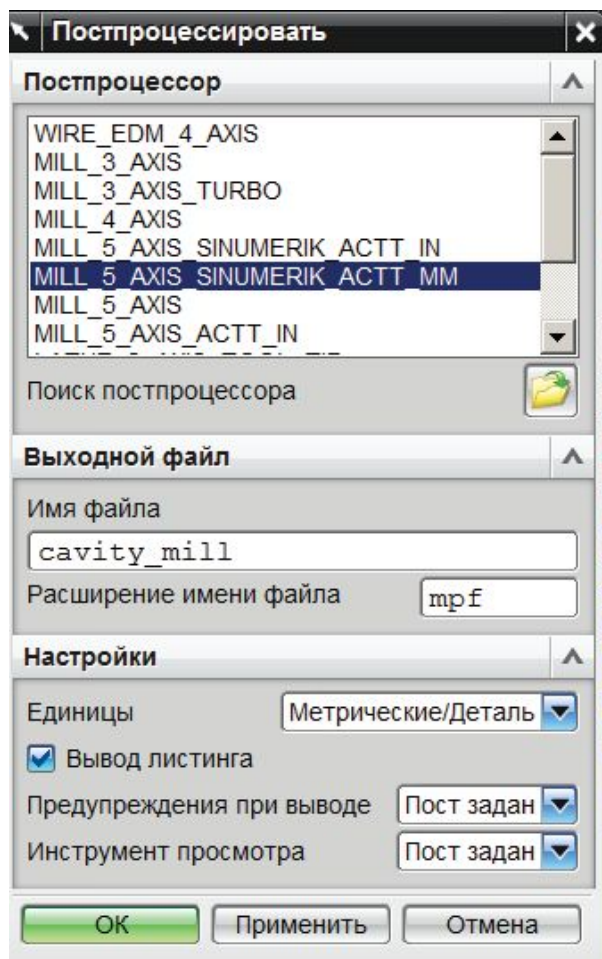


Шаблоны резания канавок



Частным случаем обработки канавок является отрезка – завершающая операция для отделения детали от прутка.

# Постпроцессирование



- Получение полного текста управляющей программы для обработки детали на станке с ЧПУ на основе модели обработки выполняется с помощью специального транслятора – постпроцессора, определяющего соответствие между командами в модели и кодами управления

# Тенденции развития САМ систем

- Гибкое управление осью инструмента при многоосевой обработке деталей сложной формы (лопатки, крыльчатки, блиски, шнеки и др)
- Автоматическое распознавание типовых элементов простых моделей и оптимизация времени их обработки

