

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет

Д.Г. Левашкин
А.А. Козлов

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ В ПАКЕТЕ ADEM

Электронное
учебное пособие

© Левашкин Д.Г., Козлов А.А., 2024

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 2024

ISBN 978-5-8259-1675-0

УДК 004.896(075.8)+621.91-529(075.8)
ББК 30.2-5-05я73+34.630.2-52-056.73я73

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент, начальник
конструкторско-технологического отдела ООО «Научно-
производственное предприятие «Авис» *Д.Е. Салабаев*;
канд. техн. наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии
машиностроительных производств» Тольяттинского
государственного университета *Д.А. Расторгуев*.

Левашкин, Д.Г. Автоматизированное проектирование технологических процессов. Разработка технологии изготовления деталей в пакете ADEM / электронное учебное пособие / Д.Г. Левашкин, А.А. Козлов. – Тольятти : Издательство ТГУ, 2024. – 1 оптический диск. – ISBN 978-5-8259-1675-0.

В пособии изложены основы автоматизированной разработки технологических процессов обработки деталей на примере работы в пакете ADEM.

Предназначено для изучения дисциплины «Автоматизированное проектирование технологических процессов» студентами, обучающимися по направлению подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», профиль «Технология машиностроения» (форма обучения очная и заочная, в том числе с использованием дистанционных образовательных технологий).

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8/10; PIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader; интернет-браузер.

© Левашкин Д.Г., Козлов А.А., 2024

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2024

Учебное издание

Левашкин Денис Геннадьевич

Козлов Антон Александрович

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ
В ПАКЕТЕ ADEM

Редактор *О.И. Елисеева*

Технический редактор *Н.П. Крюкова*

Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*

Художественное оформление,

компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*

В оформлении пособия использовано изображение
от freepik на сайте ru.freepik.com

Дата подписания к использованию 16.12.2024.

Объем издания 38 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.

Тираж 50 экз. Заказ № 1-41-24.

Издательство Тольяттинского государственного университета
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,
тел. 8 (8482) 44-91-47, www.tltsu.ru

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ	6
ВВЕДЕНИЕ	8
Раздел 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА	11
Тема 1.1. Программирование обработки деталей в пакете T-FLEX CNC	11
Тема 1.2. Программирование обработки деталей в пакете ADEM CAM	15
Тема 1.3. Программирование обработки деталей в пакете GeMMa-3D	17
Тема 1.4. Программирование обработки деталей в пакете «Техтран»	20
Тема 1.5. Программирование обработки деталей в пакете СПРУТКАМ	23
Тема 1.6. Программирование обработки деталей в пакете САПУС.РLМ	25
Выводы по разделу 1	28
Контрольные вопросы по разделу 1	29
Раздел 2. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ	
В ADEM CAM	31
Тема 2.1. Общий обзор интерфейса	31
Тема 2.2. Программирование обработки деталей в режиме «Фрезерование 2.5х»	32
Тема 2.3. Программирование обработки деталей в режиме «Фрезерование 3х»	43
Тема 2.4. Программирование обработки деталей в режиме «Сверление»	44
Тема 2.5. Программирование обработки деталей в режиме точения	45
Выводы по разделу 2	49
Контрольные вопросы по разделу 2	50
Раздел 3. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ «ЗВЕЗДА» В ADEM CAM	52
Тема 3.1. Определение тела заготовки для детали	52
Тема 3.2. Задание начальной точки обработки	57
Тема 3.3. Выбор параметров плоскости холостых ходов	59
Тема 3.4. Создание режущего инструмента	60
Тема 3.5. Настройка отображения заготовки в дереве ADEM CAM	61

Тема 3.6. Выбор параметров фрезерования припуска заготовки с помощью контура «Плоскость»	62
Тема 3.7. Выбор параметров фрезерования внутренних поверхностей с помощью КЭ «Колодец»	69
Тема 3.8. Выбор параметров фрезерования внешних контуров с помощью КЭ «Стенка»	78
Тема 3.9. Выбор параметров фрезерования с помощью КЭ «Уступ»	83
Тема 3.10. Выбор параметров фрезерования фасок заготовки	86
Тема 3.11. Выбор параметров обработки отверстий	90
Выводы по разделу 3	95
Контрольные вопросы по разделу 3	96
Раздел 4. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ	
ДЕТАЛИ «КРЕПЁЖ» В АДЕМ	98
Тема 4.1. Выбор параметров позиционирования заготовки	98
Тема 4.2. Выбор параметров точения торца	102
Тема 4.3. Выбор параметров точения контура детали	106
Тема 4.4. Выбор параметров фрезеровки лыски и фрезеровки отверстия	111
Тема 4.5. Обработка отверстия с помощью КЭ «Колодец»	113
Тема 4.6. Выбор параметров проточки уступа с помощью операции «Расточить»	116
Тема 4.7. Обработка уступа с помощью операции «Расточить»	120
Выводы по разделу 4	124
Контрольные вопросы по разделу 4	125
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	127
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	128
ГЛОССАРИЙ	132
Приложение А	138
Приложение Б	145
Приложение В	146
Приложение Г	147

ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Автоматизированное проектирование технологических процессов» входит в блок 1 программы бакалавриата по направлению подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение автоматизированных машиностроительных производств» (профиль «Технология машиностроения»). Цель её изучения – формирование у обучающихся комплекса специальных знаний и умений, необходимых для организации высокоэффективных автоматизированных технологических процессов в машиностроении. Изучение дисциплины требует знания основных положений таких дисциплин, как «Технология конструкционных материалов», «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки». Изучение дисциплины поможет студенту подготовить и защитить выпускную квалификационную работу.

В качестве планируемых результатов обучения рассматривается способность обучающихся:

- внедрять средства автоматизации и механизации технологических процессов механосборочного производства;
- определить исходные данные для проведения проектных и опытно-конструкторских работ, изготовления средств автоматизации и механизации технологических процессов гибких автоматизированных производств;
- подготавливать технико-экономическое обоснование эффективности внедрения средств автоматизации и механизации технологических процессов с применением комбинированных и гибридных технологий.

В результате обучения студент должен:

- знать состав и назначение основных элементов типовых средств автоматизации и механизации технологических процессов гибкого автоматизированного производства;

- уметь составить техническое задание на разработку гибридных и комбинированных процессов изготовления изделий машиностроительных производств, средств их технологического оснащения и автоматизации;

- овладеть навыками составления программных процессов обработки и изготовления изделий машиностроительных производств, средств их технологического оснащения и автоматизации.

В учебном пособии по дисциплине «Автоматизированное проектирование технологических процессов» подробно и пошагово рассматривается процесс разработки технологии изготовления деталей в пакете ADEM. Пособие предназначено для ознакомления с базовыми понятиями моделирования процессов обработки деталей и программирования станков с ЧПУ, применяемых в производстве.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях производства спрос на отечественные САМ-пакеты сильно возрос. Множество организаций самых разных направлений долгое время отдавали предпочтение зарубежным пакетам САМ-систем, что привело к стагнации рынка российских продуктов в этой области. В текущих условиях применение зарубежных пакетов и отсутствие лицензии ограничивают возможности производства. Переход на глобальную систему инжиниринга включает не только покупку программного обеспечения (ПО), но и перевод всех процессов производства на новые стандарты проектирования, переквалификацию персонала для работы с новыми программами. К сожалению, в отличие от локальных продуктов в области САМ-систем и их аналогов, в русском сегменте отсутствует поэтапное внедрение глобальных систем инжиниринга производственных процессов. Информация о технологии изготовления объектов производства представляет собой фрагменты данных или блок данных, вшитых в программу, и не даёт полной картины проекта. Это затрудняет проектирование новых технологических процессов в новой среде в короткое время.

Цель данного пособия – обучить студента навыкам моделирования и проектирования производственных процессов на отечественном программном обеспечении и составить инструкцию, которая отразит основы работы в глобальной САМ-системе. После изучения пособия у обучаемого будет сформирован алгоритм действий для самостоятельного проектирования производственных процессов и управляющих программ оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ).

Компьютерное производство и проектирование (CAD/CAM) – это два виртуальных процесса, которые позволяют произвести тон-

кую настройку токарной и фрезерной обработки. Конечная геометрия обрабатываемой детали может быть предсказана с помощью цифровых инструментов проектирования и производства, которые моделируют процесс резания после определения исходной детали, выбора инструмента, расчета относительного движения детали и инструмента (траектории) и условий резания. Благодаря широкому применению этих передовых технологий обработки данный процесс резания стал одним из самых распространенных в промышленности. Станки с ЧПУ — это обрабатывающие станки, содержащие программируемую автоматику, которая управляет относительно перемещениями инструмента и заготовки с точки зрения положения и скорости. В сочетании с соответствующей геометрией активной части инструмента, которая становится всё более высокопроизводительной (материалы, острота кромок), это позволяет изготавливать геометрически очень сложные детали, которые невозможно было бы изготовить на обычном станке. С другой стороны, ЧПУ позволило увеличить производительность труда благодаря автоматическому выполнению последовательностей обработки, полученных с помощью автоматизированного производства. САМ предоставляет файл, который может быть выполнен станком с ЧПУ на основе изготовления детали с помощью инструмента моделирования. Этот файл содержит точки траектории движения инструмента, множество задач обработки и различные смены инструмента, необходимые для получения детали, спроектированной в системе автоматизированного проектирования (САД). Благодаря такой совместимости значительно сократилось время выполнения последовательности операций обработки.

Для реализации этих процедур требуется цифровая поддержка с целью упрощения задачи программиста и экономии времени. Поэтому создатели ПО для автоматизированного производства (САМ) вынуждены предлагать всё более эффективные решения для программирования траекторий обработки, предлагая базы данных для моделирования станков с числовым программным управлением (НСМТ), инструментов и элементов держателей заготовок, а также постпроцессоры и квазиавтоматические решения для управления сложными траекториями. Чтобы оставаться конкурентоспо-

собными, компании должны разрабатывать инновационные и эффективные стратегии для удовлетворения растущих потребностей своих клиентов.

Эти потребности включают интерес к ПО, которое удовлетворяет следующим критериям:

- простой интерфейс, который даёт возможность большему количеству компаний и обычных пользователей сразу начать пользоваться САМ-системой;

- степень автоматизации в программе: тем меньше времени компании могут тратить на написание технических процессов. Кроме того, программисты ожидают от разработчиков САМ-решений интуитивно понятных и эффективных функций генерации траекторий, которые требуют как можно меньше вмешательства пользователя, чтобы сократить время, необходимое для настройки производственных маршрутов, а, как известно, время – самый ценный ресурс;

- глубина настроек, предлагающая вариативность в написании техпроцессов, даёт возможность тонкой настройки программы, что позволяет бережливо использовать режущий инструмент;

- совместимость с САД-системой или полная интеграция в неё – ключевой критерий интеграции в САД-систему. Она даёт возможность работы в одной среде: моделирование, расчётная часть, построение траекторий, сборка и т. д. находятся в одной связке. При изменении одного параметра на одном из этапов проектирования происходит перерасчёт остальных параметров на последующих этапах.

Раздел 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

Долгое время инженерия CAD/CAM оставалась высокотехнической, передовой областью, использующей аппаратные (компьютеры) и программные ресурсы, которые в то время были очень дорогими. До конца 60-х годов компьютерным проектированием и производством (CAD/CAM) занимался ограниченный круг компаний: Lockheed Martin, Boeing, McDonnell Douglas и General Motors. Рынок российских САМ-систем представлен несколькими компаниями, предлагающими свои программные решения.

Тема 1.1. Программирование обработки деталей в пакете T-FLEX CNC

T-FLEX CNC – это программа, разработанная московской компанией «Топ Системы». Эта компания известна несколькими продуктами: T-FLEX CAD, надежной платформой T-FLEX PLM, объединяющей различные инженерные приложения, в том числе для подготовки технологического производства, – а также участием в создании российского геометрического ядра.

Приложение T-FLEX CNC доступно в двух версиях: 2D и 3D. Версия 2D включает базовый модуль, модуль EDM, модуль токарной обработки, модуль сверления, лазерный модуль и модуль проектирования фрезерных переходов 2,5D. Кроме того, система может создавать программы для плазменной и гидроабразивной резки. 3D-версия состоит из 3-осевого и 5-осевого фрезерных модулей.

В текущей 3D-конфигурации раздел «Обработка» включает всего несколько команд для создания 3D- и 5D-траекторий, сверления и фрезерования кулачка. Простой редактор позволяет создавать и редактировать типичный режущий инструмент, но, похоже, не поддерживает сборки инструментов [9].

Операции обработки предлагают довольно скромное количество настроек и опций. Пользователь может управлять подачами и отводами, регулировать скорость и подачу, а также определять количество шагов по глубине. Есть возможность обрезать траекторию, преобразовать ее в плунжерную или получить высокоскоростную петлевую траекторию. Однако в целом функциональность T-FLEX CNC кажется ограниченной по сравнению с зарубежными САМ-системами среднего уровня [9].

Верификации обработки в T-FLEX CNC немного не хватает. Она начинается с кнопки «Симулятор обработки», открывающей дополнительную панель управления процессом. Пользователь может задать тип верификации: либо бэкплот, на котором отображается 3D-модель детали и траектория движения инструмента, либо верификация со снятием материала [9].

В верификаторе T-FLEX CNC нет опций для контроля зазубрин и столкновений, сравнения полученной симуляции с целевой 3D-моделью детали или задействования цифрового двойника станка. Симуляция обработки синхронизируется с G-кодом, который появляется при запуске процесса на левой вкладке. Происхождение этого кода неясно, но, по-видимому, он генерируется универсальным постпроцессором (УП) в зависимости от типа обработки [9].

Функция «Редактор постпроцессоров» в T-FLEX CNC не позволяет углубленно разрабатывать или редактировать логику вывода УП, но дает возможность базовой настройки циклов и кодов (рис. 1–4). Это может быть удобно для начинающих технологов и программистов, работающих с менее сложным оборудованием [9].

Кроме универсальных постпроцессоров в систему входит множество готовых постпроцессоров для различных станков и устройств с ЧПУ. Папка «Библиотека постпроцессоров» содержит 400 пост-файлов, большинство из которых имеют расширение .exe. Удобству поиска способствует список постпроцессоров в одной папке, в котором даже указаны названия предприятий, для которых они были созданы [9].

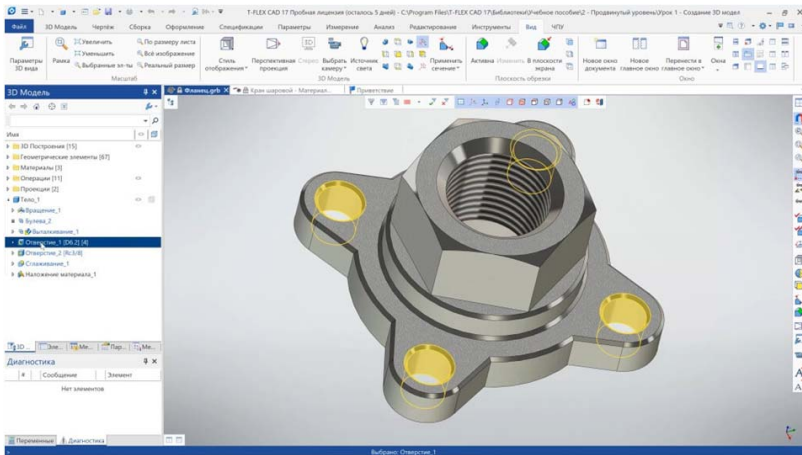


Рис. 1. Редактор постпроцессоров обработки внутренней поверхности [9]

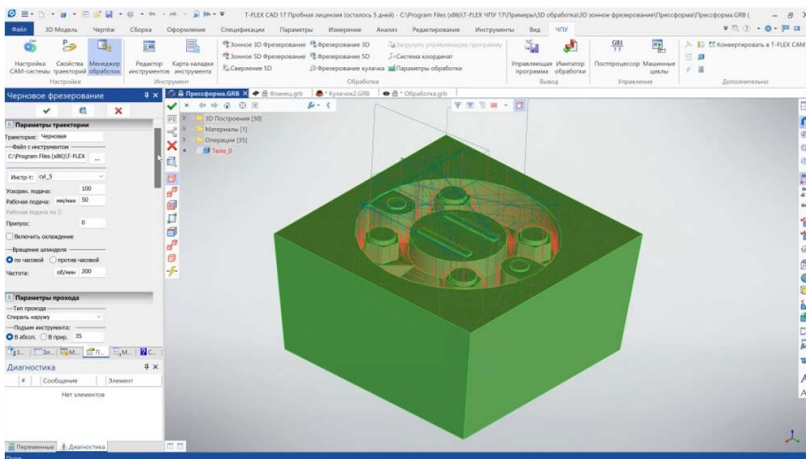


Рис. 2. Редактор постпроцессоров обработки массива внутренней поверхности [9]

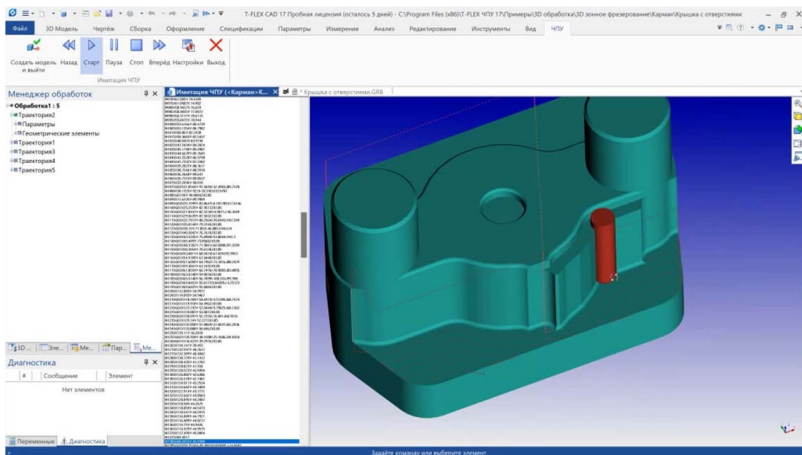


Рис. 3. Редактор постпроцессоров обработки фасонных поверхностей [9]

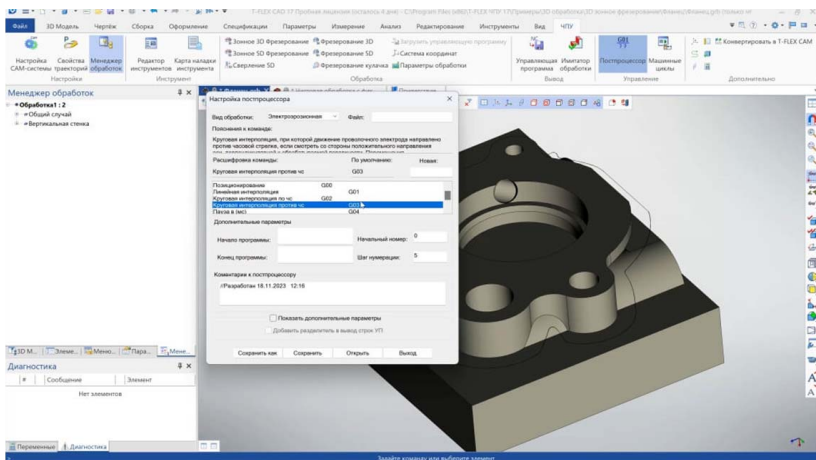


Рис. 4. Меню редактора постпроцессоров [9]

Тема 1.2. Программирование обработки деталей в пакете ADEM CAM

Система ADEM CAM для Компас-3D не создана с нуля, в ней использованы технологии, код и опыт, накопленные в ходе длительной работы над флагманской системой ADEM. ADEM CAM плавно интегрируется в интерфейс Компас-3D, добавляя лишь вкладку для технологического маршрута и лаконичное меню с командами обработки. Система охватывает фрезерование от 2 до 5 осей, токарную обработку, электроэрозию, гравировку и, что уникально среди отечественных CAM, предлагает автоматическую обработку с распознаванием конструктивных элементов детали, выбором инструмента и режимов резания [9].

Ассоциативность между CAD и CAM реализована хорошо: тесты показывают, что пересчет траекторий после изменения геометрических размеров не вызывает затруднений. В то время как оригинальный ADEM позволяет моделировать удаление материала, версия Компас-3D предлагает только 2D-симуляцию обработки, исключая станок и оснастку. Полноценное 3D-симулирование возможно только с помощью внешнего симулятора, например от ADEM (рис. 5–8) [9].

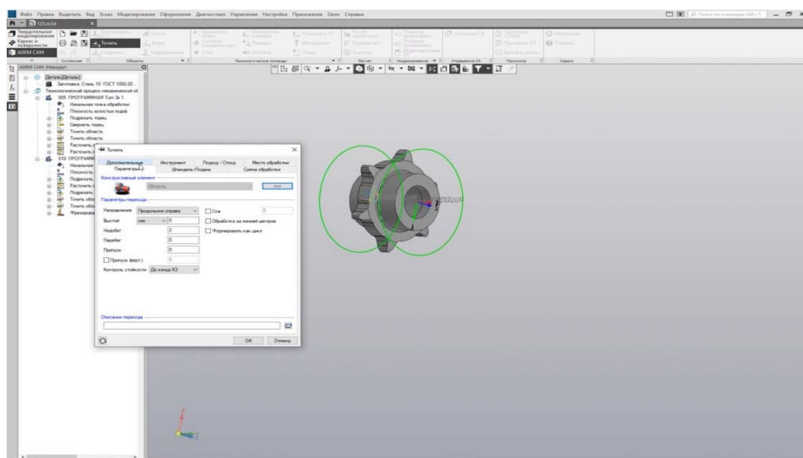


Рис. 5. Модуль ЧПУ. Токарная обработка цилиндрических поверхностей [9]

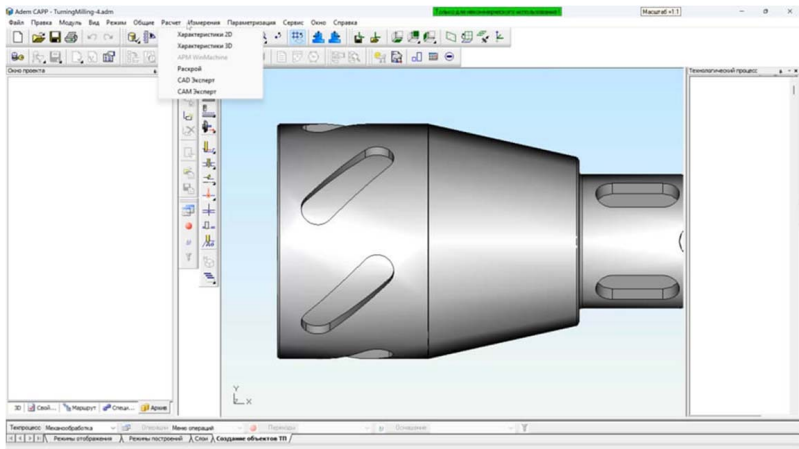


Рис. 6. Модуль ЧПУ. Точарная обработка массива [9]

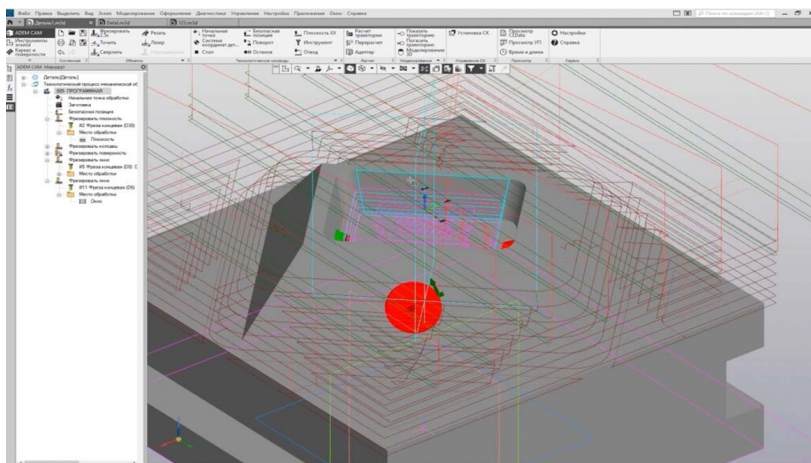


Рис. 7. Модуль ЧПУ. Фрезеровка [9]

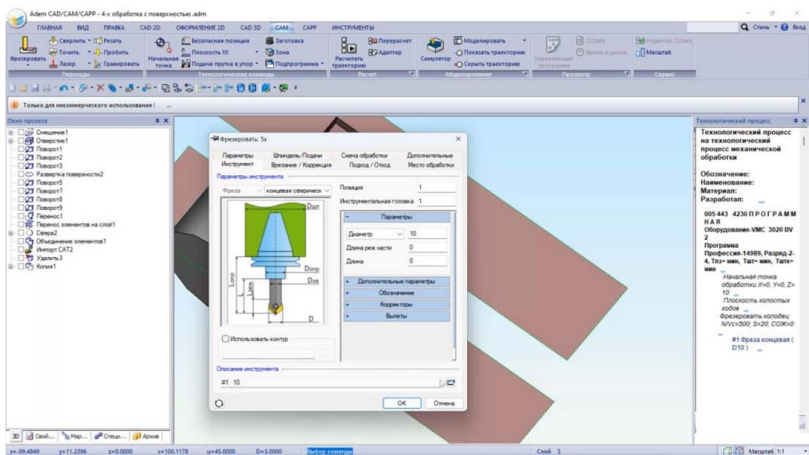


Рис. 8. Модуль ЧПУ. Меню фрезеровки [9]

Оригинальная система ADEM CAM отличается интерфейсом, собственной САПР, дополнительными технологическими возможностями и 3D-симуляцией обработки со снятием материала. Внутри операций большинство функций одинаковы. В целом функционал CAM достаточен для обработки деталей средней и высокой сложности с хорошим выбором настроек для 5-осевого фрезерования [9].

Тема 1.3. Программирование обработки деталей в пакете GeMMA-3D

Основанная в 2000 году в подмосковном городе Жуковском – сердце авиационной науки – компания «НТЦ ГеММа» была создана ведущими специалистами по САПР в области авиастроения, а ее флагманская система GeMMA-3D была разработана десятилетием ранее группой разработчиков и широко внедрена на отечественных предприятиях» [9].

GeMMA-3D позволяет составлять управляющие программы для различных видов обработки: фрезерной (от 2 до 5 осей), токарной, токарно-фрезерной, обработки отверстий, гравировки, электроэрозионной, гидроабразивной, лазерной, плазменной резки и штамповки листового материала [9].

Несмотря на впечатляющий набор функций и опций, интерфейс и рабочий процесс GeMMA-3D отражают старую парадигму проектирования. Выполнение таких действий, как выбор геометрии или назначение параметров операции, требует навигации по многочисленным панелям инструментов и кнопкам, что напоминает программное обеспечение начала 2000-х годов [9].

Чтобы компенсировать этот недостаток, GeMMA-3D предлагает множество специализированных команд для построения вспомогательной геометрии, трансформации, управления слоями и измерений (рис. 9 и 10) [9].

Верификация обработки отсутствует. Основной метод включает гипотетическую симуляцию траектории движения инструмента по векторам траектории, а 3D-симуляция съема материала осуществляется с помощью внешнего приложения G-Mill (рис. 11 и 12) [9].

GeMMA-3D имеет тонкую настройку для обработки, но устаревший интерфейс и отсутствие собственной верификации накладывают большие ограничения на работу с ПО [2].

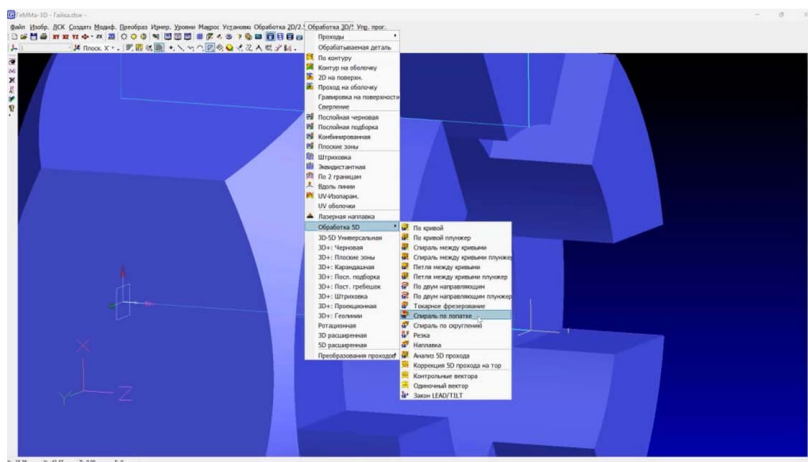


Рис. 9. Меню программы GeMMA-3D

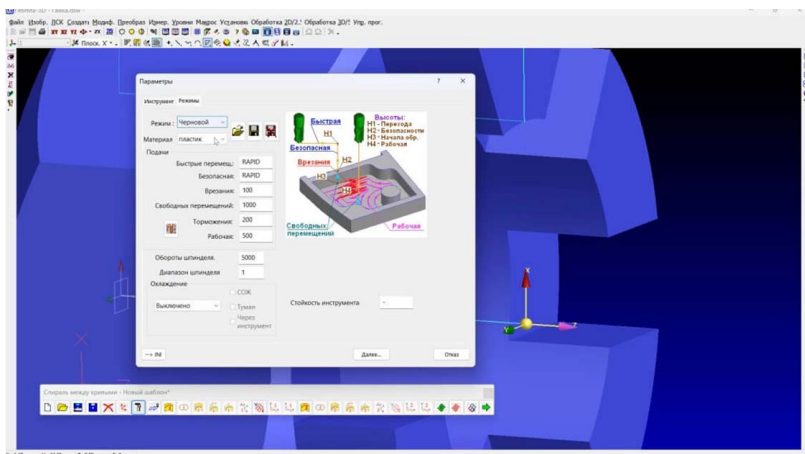


Рис. 10. Современный интерфейс программы ГеММа-3D [9]

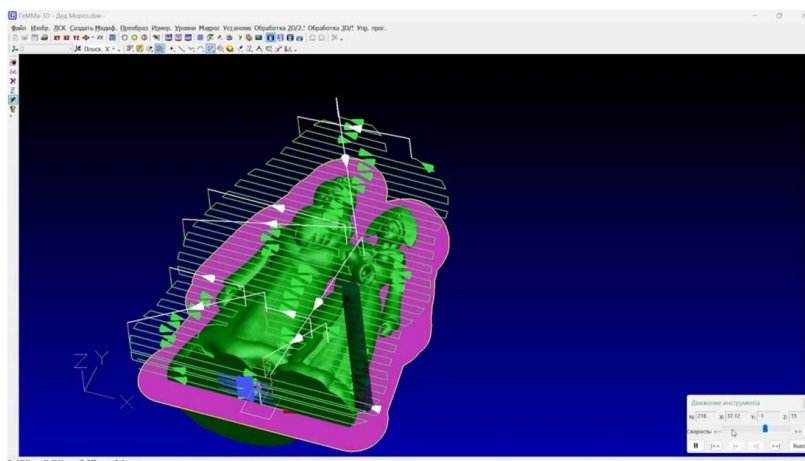


Рис. 11. Траектория инструмента в программе ГеММа-3D [9]

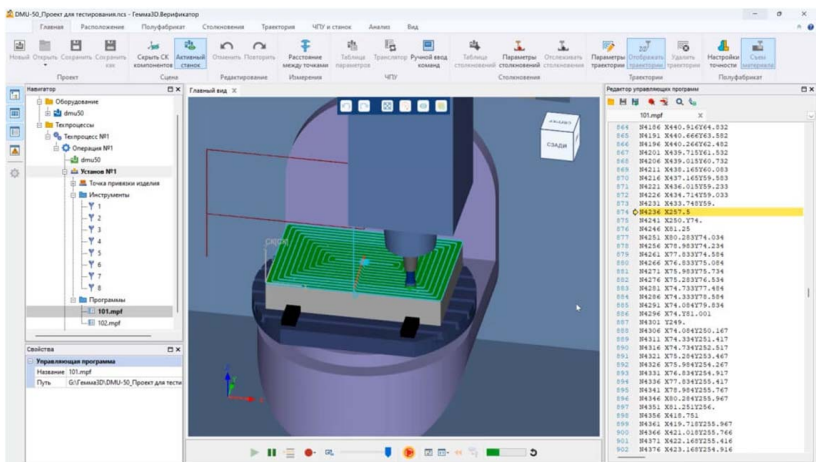


Рис. 12. Готовая программа GeMma-3D [9]

Тема 1.4. Программирование обработки деталей в пакете «Техтран»

Система «Техтран» создана компанией «НИП-Информатика» в Санкт-Петербурге, история деятельности которой насчитывает более четверти века. Она активно используется на многих предприятиях различных отраслей промышленности.

Система решает широкий спектр производственных задач, включая фрезерование, токарную обработку, токарно-фрезерную обработку, электроэрозионную обработку, штамповку листового металла и многошпиндельное сверление.

Отличительной чертой семейства «Техтран» является решение для резки листового материала [3]. Не углубляясь в модули обработки, следует отметить, что технологически «Техтран» имеет ряд преимуществ в программировании токарной и токарно-фрезерной обработки. Пакет отличается широким набором готовых постпроцессоров, рассчитанных как на старые отечественные станки, так и на современные устройства с ЧПУ. Однако есть острая необходимость в модернизации создания рабочих процессов, моделирования обработки и несколько традиционного интерфейса (рис. 13–16).

Что касается модуля раскроя, то по основным параметрам Техтран выгодно отличается от зарубежных программных комплексов ProNest, сncKad, SigmaNEST, Lantek и Columbus. Он легко интегрирует подготовку управляющих программ с функциями организации производственного процесса.

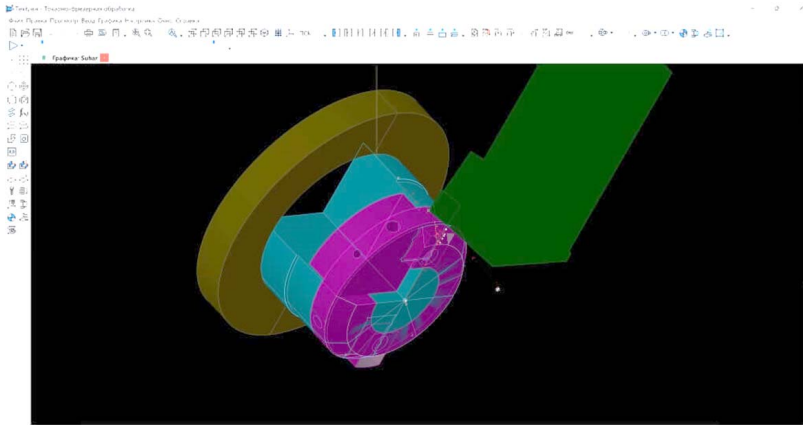


Рис. 13. Дополнительная опция, воздуховод [9]

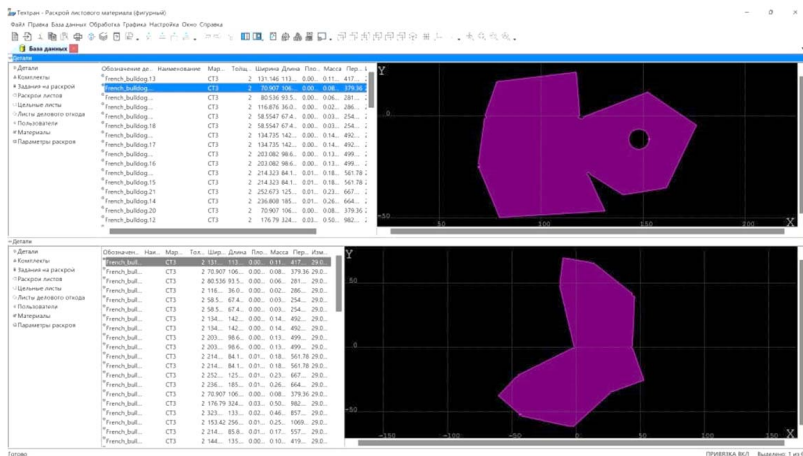


Рис. 14. Дополнительная опция, резка фасок [9]

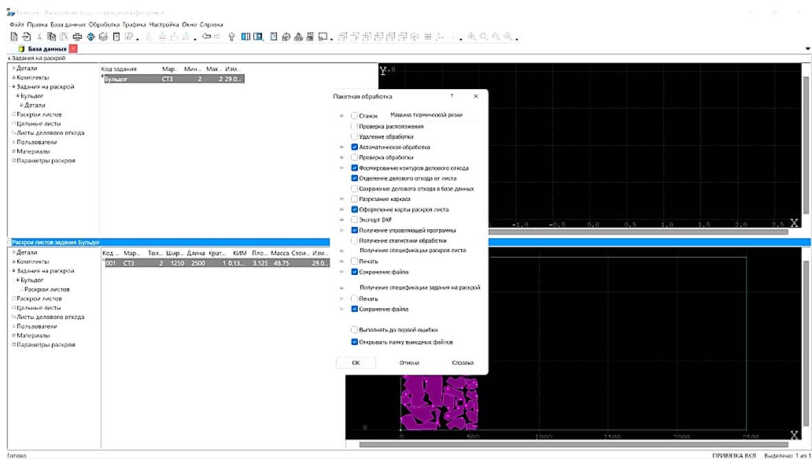


Рис. 15. Дополнительная опция, зональная обработка листа

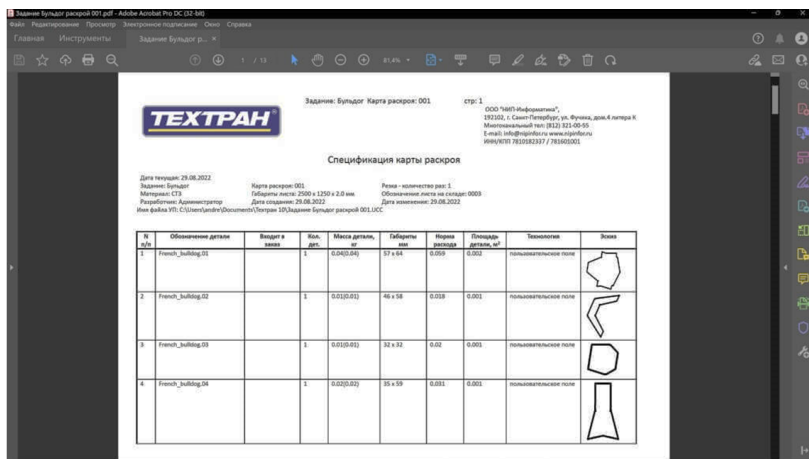


Рис. 16. Дополнительная опция, импорт целых деталей

Тема 1.5. Программирование обработки деталей в пакете СПРУТКАМ

СПРУТКАМ решает широкий спектр задач автоматизации программирования обработки на станках с ЧПУ, включая фрезерование от 2 до 5 осей, высокоскоростную обработку по собственной технологии Adaptive SC, токарную и фрезерную обработку с поддержкой многоканальных и автоматических продольных станков, электроэрозию, резку, аддитивное производство и измерительные циклы. СПРУТКАМ не только превосходит отечественные аналоги, но и конкурирует с мировыми лидерами рынка САМ [4].

Система СПРУТКАМ – одна из первых в мире САМ-систем, реализовавшая принцип программирования со знанием станка. Такой подход позволяет системе быстро рассчитывать траектории с учетом кинематики станка и выполнять их фоновую проверку на начальном этапе, еще до начала верификации и постобработки. Кроме того, СПРУТКАМ может предоставить исключительное моделирование обработки. Моделирование происходит в цифровом двойнике станка с учетом приспособлений и текущего состояния заготовки [5]. При этом используется твердотельное моделирование наряду с воксельным, что обеспечивает высочайшее качество графики. Кроме того, проверка обработки может быть выполнена с помощью G-кода. Примеры работы в интерфейсе представлены на рис. 17–20.

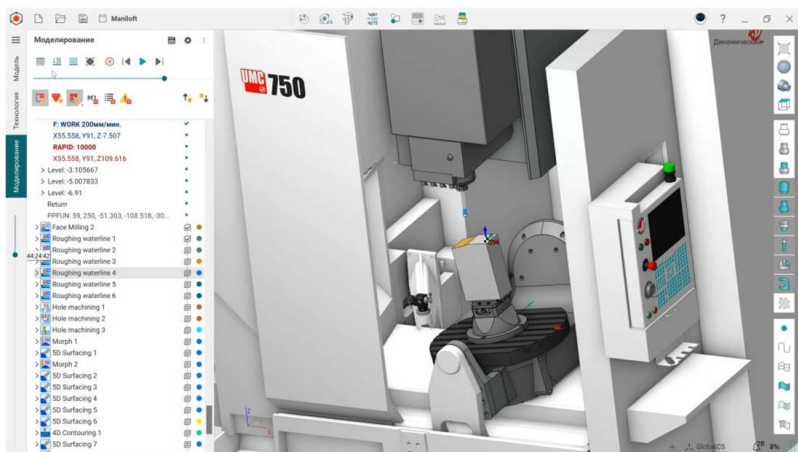


Рис. 17. Автономное программирование промышленных роботов [9]

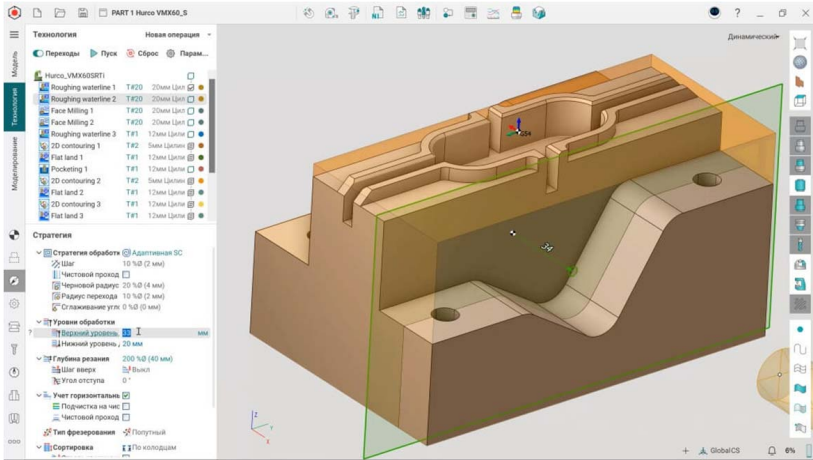


Рис. 18. Интерактивная сборка цифровых двойников [9]

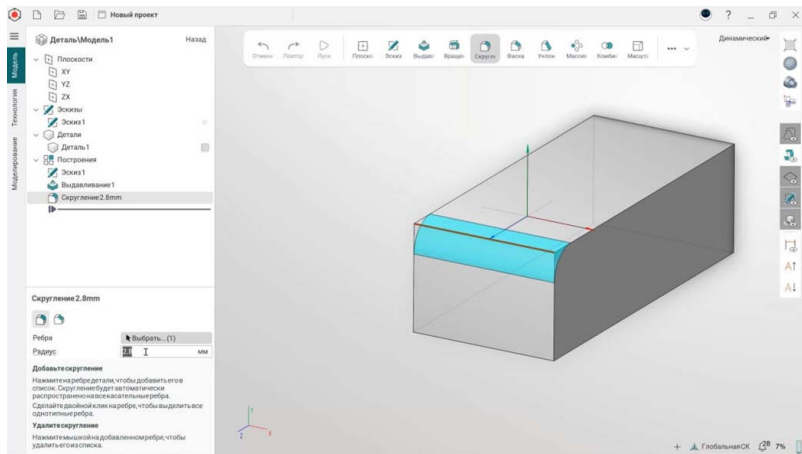


Рис. 19. Онлайн-библиотека проектов [9]

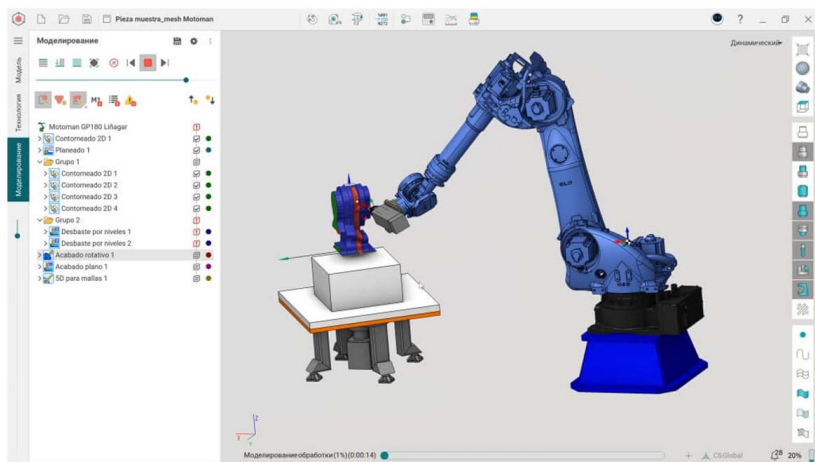


Рис. 20. Генератор постпроцессоров [9]

Следует отметить высокую степень автоматизации и интерактивности функций СПРУТКАМ. Многие действия динамичны, используется метод drag-and-drop вместо ручного выделения контуров или захвата координат. СПРУТКАМ также поддерживает автономное программирование промышленных роботов, интерактивную сборку цифровых двойников в приложении MachineMaker, онлайн-библиотеку проектов, генератор постпроцессоров, многооконные функции и Ency [6].

Тема 1.6. Программирование обработки деталей в пакете CAPUS.PLM

CAPUS.PLM – это технологически независимая система управления полным жизненным циклом изделия, предназначенная для промышленных предприятий. Она разрабатывалась в течение пяти лет на предприятии госкорпорации «Росатом» РФЯЦ – ВНИИЭФ в г. Сарове Нижегородской области (рис. 21).

Эта система, предназначенная для атомной и оборонной промышленности, является моноплатформенным решением, не зависящим от зарубежных технологий, и работает как под управлением Windows, так и под управлением российской операционной системы Astra Linux. CAPUS.PLM включает версии для коммерческого

рынка и защищенную версию, предназначенную для предприятий оборонно-промышленного комплекса [7]. Примечательно, что для работы с 3D-объектами и интеграции с другими CAD-системами в CAPUS.PLM используется российское ПО.



Рис. 21. Структурная схема технологической платформы CAPUS

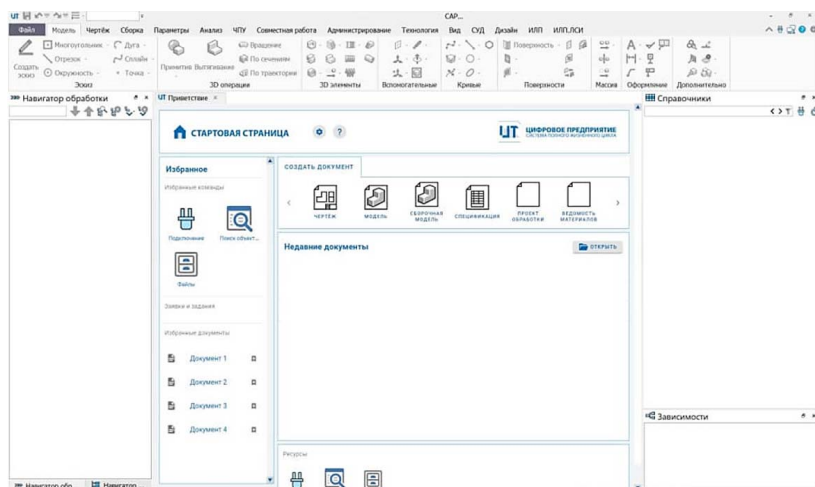


Рис. 22. Интерфейс программы в системе CAPUS.PLM

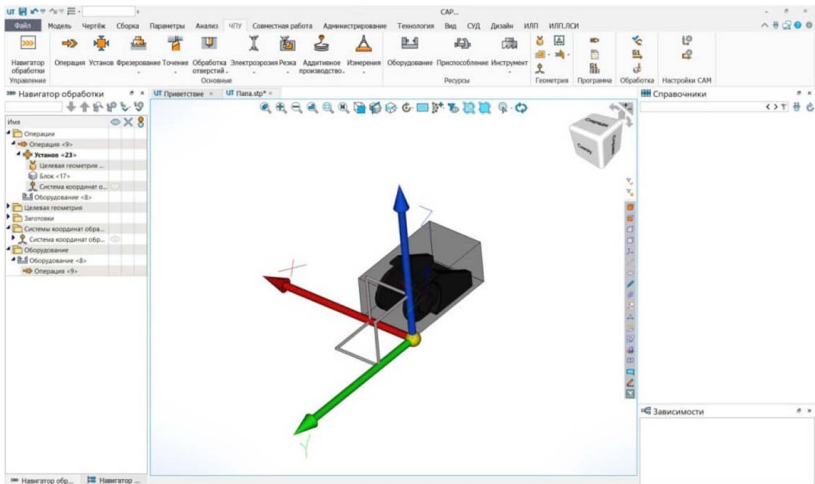


Рис. 23. Осевое моделирование [9]

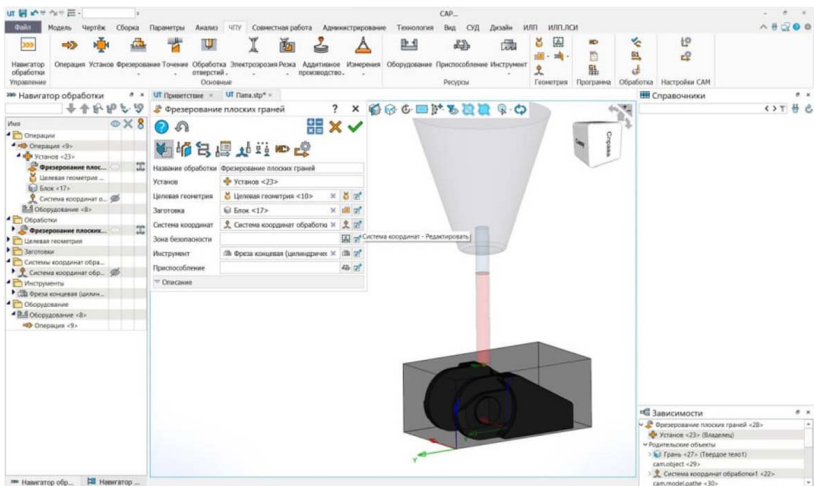


Рис. 24. Многооконные функции и Epsu [9]

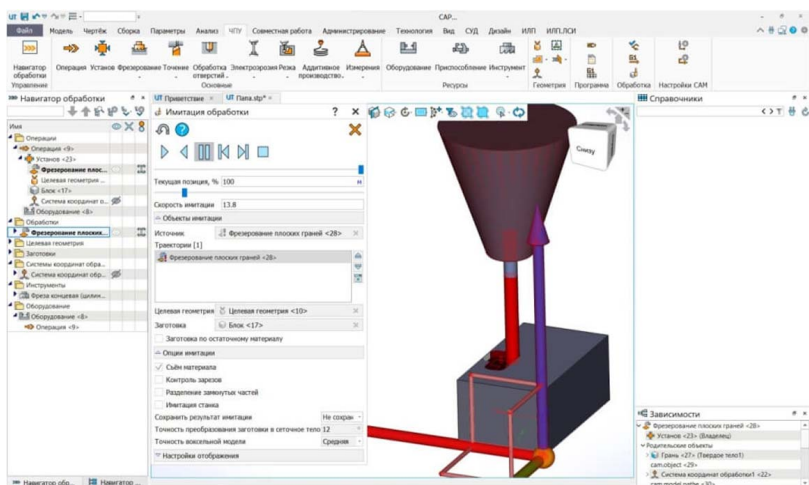


Рис. 25. Автономное программирование промышленных роботов, геометрическое ядро RGK [9]

Что касается CAM-функционала, то его интерфейс современен и удобен (рис. 22– 25). Вкладка CNC открывает доступ к обширному набору технологических операций, включая автоматизацию фрезерования, точения, обработки отверстий, электроэрозии, резки, измерения и аддитивных процессов. Один только раздел фрезерования показывает 15 различных операций, рассчитанных в том числе на 5-осевые станки [8].

Выводы по разделу 1

Анализ и обработка деталей с использованием пакета ADEM (Advanced Design and Engineering for Manufacturing) имеют несколько ключевых преимуществ:

1. Интеграция CAD/CAM/CAE. ADEM обеспечивает бесшовную интеграцию функций проектирования, изготовления и анализа, что упрощает процесс разработки и сокращает время на переход между различными этапами.

2. Возможность автоматизировать рутинные задачи, такие как генерация траекторий обработки и оптимизация параметров резания, что повышает эффективность работы.

3. Высокая точность в создании траекторий обработки, минимизация ошибок, которые могут возникнуть на этапах проектирования или программирования.

4. Возможность оптимизировать использование материалов и инструментов, что способствует снижению затрат на производство.

5. Гибкость в настройках. Широкий спектр настроек и параметров позволяет адаптировать процесс обработки под специфические требования различных деталей и технологий.

6. Наличие инструментов для анализа и симуляции обработки позволяет заранее увидеть возможные проблемы и оптимизировать процесс еще до его запуска.

7. Современный и интуитивно понятный интерфейс облегчает обучение новых пользователей и ускоряет освоение программного обеспечения.

8. Совместимость с различными типами CNC-станков и оборудованием делает его универсальным инструментом для множества производств.

9. Наличие обширной библиотеки технологических процессов и материалов позволяет быстро находить решения для конкретных задач.

10. Возможность использования в команде: несколько пользователей могут работать над одним проектом одновременно, улучшая взаимодействие и ускоряя процесс разработки.

Эти преимущества делают ADEM мощным инструментом для специалистов в области обработки деталей, позволяя повышать качество и скорость производства.

Контрольные вопросы по разделу 1

1. Какие ключевые преимущества предлагает ADEM в области интеграции CAD, CAM и CAE?
2. Как ADEM упрощает процесс разработки между этапами проектирования, изготовления и анализа?
3. Какие рутинные задачи автоматизирует ADEM и как это влияет на общую эффективность производства?

4. Как ADEM обеспечивает высокую точность в создании траекторий обработки?
5. Что происходит с вероятностью ошибок на этапах проектирования и программирования при использовании ADEM?
6. Как ADEM способствует оптимизации использования материалов и инструментов?
7. Какие типы настроек и параметров предлагает ADEM для гибкой адаптации процессов обработки?
8. Как инструменты анализа и симуляции в ADEM помогают выявить проблемы до начала производства?
9. В чём заключаются преимущества современного и интуитивно понятного интерфейса ADEM для новых пользователей?
10. Как совместимость ADEM с различными типами CNC-станков влияет на его универсальность?
11. Как обширная библиотека технологических процессов и материалов ADEM упрощает решение конкретных задач?
12. В каком формате ADEM поддерживает совместную работу нескольких пользователей над одним проектом?
13. Как интеграция CAD/CAM/CAE в ADEM сокращает общее время разработки?
14. Какие рутинные задачи могут быть автоматизированы с помощью ADEM? Приведите примеры.
15. Как ADEM помогает снизить затраты на производство за счет оптимизации процессов?
16. Какие характеристики интерфейса ADEM делают его удобным для обучения и использования?
17. Какие дополнительные функции предоставляет ADEM для анализа и симуляции обработки?
18. В каком виде ADEM предоставляет доступ к библиотекам технологических процессов?
19. Какое оборудование ADEM поддерживает и какие преимущества это дает предприятиям?
20. Как ADEM способствует улучшению взаимодействия в команде при работе над проектами?

Раздел 2. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ В ADEM CAM

Тема 2.1. Общий обзор интерфейса

Чтобы зайти в ADEM CAM, после запуска Компас-3D переходим в раздел «Модули» и выбираем ADEM CAM, после чего откроется интерфейс ADEM CAM (рис. 26).

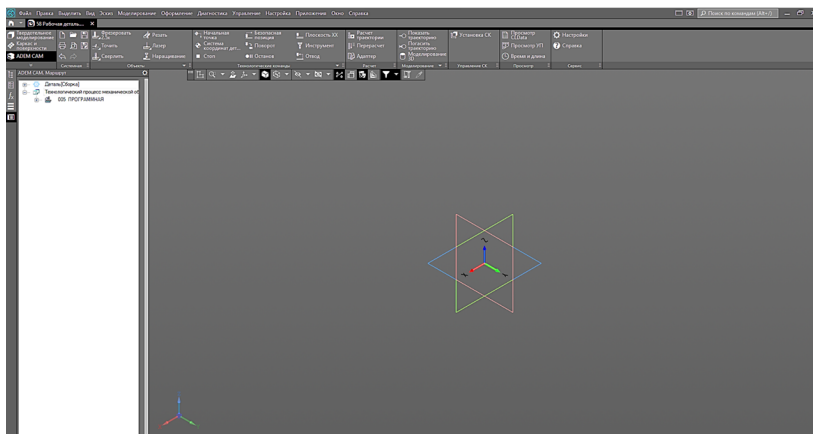


Рис. 26. Интерфейс программы ADEM CAM

Интерфейс содержит четыре основных раздела для работы:

1) *объекты*. Это контекстное меню, включающее основные технологические переходы: фрезеровать, резать, точить, лазер, сверлить, наращивание и пробить. Каждый из этих пунктов содержит свои подразделы необходимые для конкретных операций;

2) *технологические команды* – технологические объекты, не связанные с непосредственной обработкой (снятием металла). При помощи технологических команд можно задать общие особенности процесса обработки, такие как начальная или конечная точка движения инструмента, плоскость холостых ходов и др. [11];

3) *расчёт* – этот раздел отвечает за расчёт траектории. Он содержит функции для расчёта и перерасчёта движения инструмента. Расчёт используется после задания программы с целью построить маршрут движения режущего инструмента;

4) *моделирование* позволяет отобразить траектории движения инструмента либо же погасить их, а также симулировать движения инструмента по заготовке.

Слева по умолчанию в столбце отображается дерево построения маршрутов. В данном разделе можно выставить заготовку, инструмент, последовательность операций, начальную точку, безопасную позицию и многое другое (рис. 27).

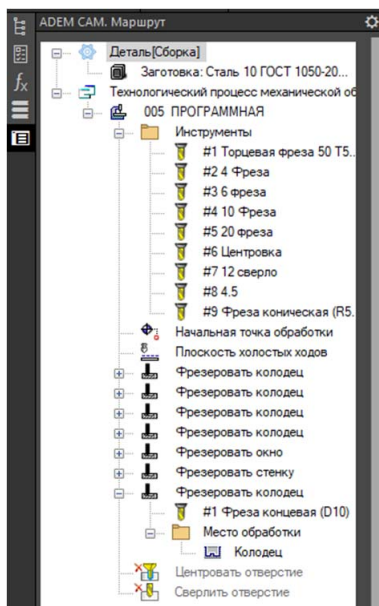


Рис. 27. Дерево маршрутов с параметрами

Также в дереве будут представлены все элементы, с которыми ведётся работа.

Тема 2.2. Программирование обработки деталей в режиме «Фрезерование 2.5х»

Рассмотрим подробнее раздел «Объект». В данном разделе есть функционал для работы с 3-осевыми станками в виде 2.5х-обработки и 3х-обработки, так и операции для работы с 4- и 5-осевыми станками. В пособии будут рассмотрены функции 2.5х- и 3х-обработки [12].

При выборе «Фрезеровать 2.5х» откроется контекстное меню «Параметры» (рис. 28), в котором есть 10 меню параметров для тонкого программирования и настройки обрабатываемой программы. Стоит сразу отметить что данные параметры присущи всем разделам обработки, в разделе «3х-обработка» данные параметры останутся такими же, за небольшим исключением [13].

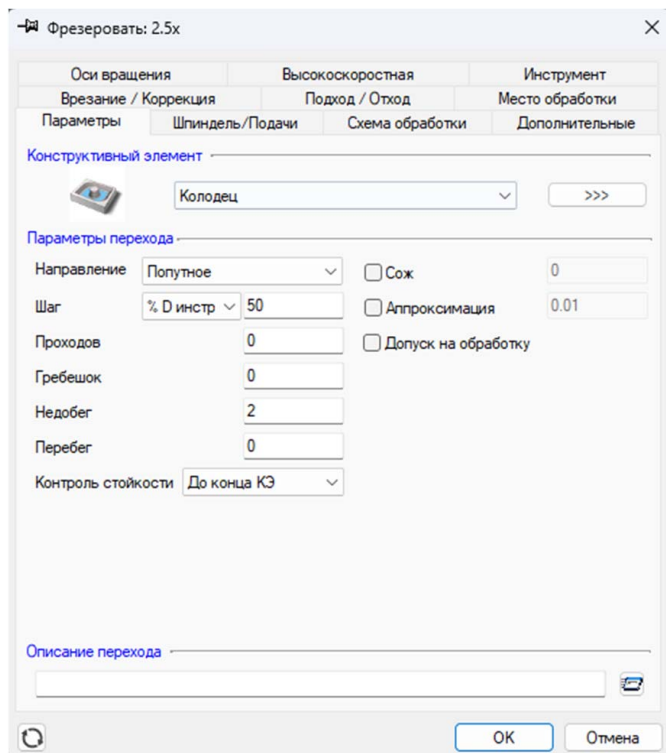


Рис. 28. Контекстное меню «Фрезеровать: 2.5х»

Для создания траекторий всех 2.5х-операций выбирается контур или контуры, вдоль которых будет строиться маршрут обработки. Контуры могут быть как закрытые, так и открытые, в зависимости от контура выбирается стратегия обработки, например, где вести обработку – внутри или снаружи.

Общими чертами для любой операции являются следующие параметры:

- режимы обработки в виде скорости вращения шпинделя и подачи станка;
- припуск, возможность ПО рассчитывать траекторию движения с учётом припуска для дальнейшей чистовой обработки деталей;
- выбор глубины резания. Этот параметр представлен в ADEM SAM как настройка «Многопроходная обработка по Z» во вкладке «Схема обработки». Позволяет выставлять высоту обработки режущим инструментом.

Эти параметры всегда необходимо учитывать при проектировании технологического процесса обработки. Параметры настраиваются индивидуально для каждой операции, но в пособии рассматривается только принцип построения маршрутов. Поэтому ниже настройки подачи и вращения будут выставляться стандартные, припуск будет равен 0 миллиметров, а глубина резания всегда будет равняться 1 мм.

Определение исходных параметров обработки

Данный раздел включает конструктивные элементы, параметры перехода, а также описание перехода.

Конструктивный элемент – это элемент детали, обрабатываемый за один технологический переход:

- «колодец» позволяет обрабатывать внутренние объёмы детали. Контур данного элемента всегда замкнут, а обработка происходит внутри контура. Все внутренние контуры – это острова, обрабатываемые только снаружи;

- «стенка»: контур может быть замкнут или незамкнут. Стенка лучше всего подходит, когда надо обработать деталь вдоль какого-то контура. Если контур замкнут, обработка происходит с внешней стороны [14];

- «окно» может иметь замкнутый или незамкнутый контур. По функционалу элемент похож на «стенку»; если контур замкнут, обработка происходит с внутренней стороны;

- «паз» может иметь замкнутый или незамкнутый ограничивающий контур. Обработка контуров производится всегда с учётом

положения материалов. У паза не может быть внутренних необрабатываемых элементов (островов) [15];

– «плоскость» не имеет глубины; внешний контур определяет свободную поверхность. Внешний контур плоскости всегда замкнут. Чаще всего используется для фрезерования больших поверхностей, для выравнивания [16];

– «уступ»: плоскости небольших размеров, пересекающиеся под некоторым углом, внешняя граница задается незамкнутыми контурами. Первый контур в списке контуров определяет часть уступа, ограниченную стенкой. Второй контур определяет открытую часть уступа. Применяется, когда необходимо сделать какой-нибудь уступ на детали [17];

– «плита»: внешний контур определяет стенку плиты, а внутренние контуры определяют окна в плите. Все контуры, определяющие плиту, должны быть замкнуты. У плиты не может быть внутренних необрабатываемых элементов и обрабатываемых контролируемых поверхностей [18].

Каждый из этих элементов используется для определенных операций.

Среди параметров перехода выделяют (рис. 28):

– направление фрезерования (может быть попутным либо встречным);

– «Шаг» (определяет, какая часть диаметра или радиуса инструмента будет задействована для обработки);

– «Проходов» – указывается количество проходов, которое необходимо при обработке конструктивного элемента;

– «Гребешок» ограничивает максимальную высоту выступа (ступеньки) при обработке плоскости под углом;

– «Недобег» определяет состояние, при котором подача переходит с холостого хода на рабочую подачу [19];

– «Перебег» – сдвиг инструмента относительно обрабатываемого уровня Z; может быть как положительный, так и отрицательный;

– СОЖ, отвечающий за добавление в код команды, которая включает подачу смазочно-охлаждающей жидкости.

Определение режима работы шпинделя и привода его подачи

Вкладка «Шпиндель» — это панель, в которой задаются параметры скорости вращения инструмента, а также рабочих подач (рис. 29).

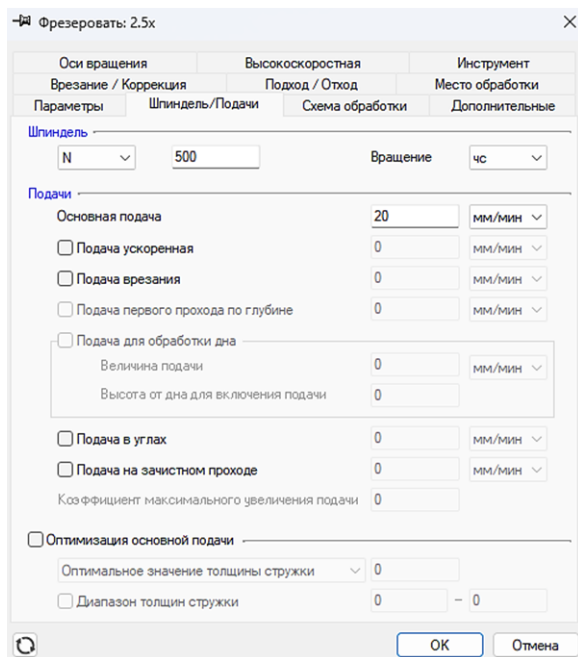


Рис. 29. Интерфейс раздела «Шпиндель/Поддачи»

В данном разделе также можно задать настройки для ускоренных подач, врезания, подач для глубины первого прохода, подач для обработки дна и подач для чистового прохода.

Определение схемы обработки детали

На вкладке «Схема обработки» (рис. 30) есть множество режимов обработки (эквидистанта, эквидистантная комбинированная, петля эквидистантная, петля поперечная, петля продольная, зигзаг, зигзаг эквидистантный, зигзаг поперечный, зигзаг продольный, спираль, спираль обратная, спираль по двум контурам, спираль комбинированная), каждый из которых хорош в определённых ситуациях. Например, схема обработки «Зигзаг» хорошо подходит для обработки плоскостей и является самой простой операцией с точки зрения кода.

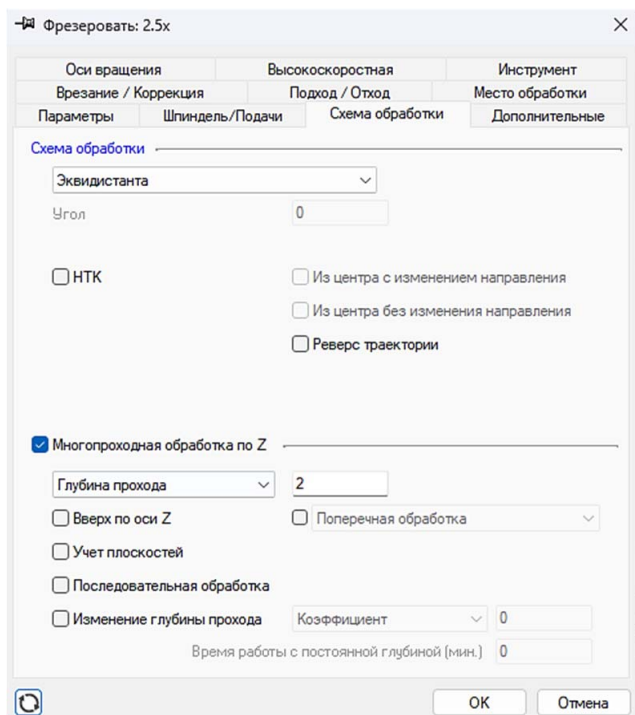


Рис. 30. Интерфейс вкладки «Схема обработки»

В этом же разделе предусмотрена многопроходная обработка по Z, с помощью которой задаётся значение глубины или количества проходов по высоте обрабатываемого элемента.

Определение стратегии врезания и коррекций к нему

Во вкладке «Врезание/Коррекция» задаётся способ захода инструмента в материал. Это может быть вертикальное врезание по нормали, когда фреза входит в вертикально в заготовку, или линейное, когда фреза под углом заходит в заготовку, но не несёт функцию сверла (рис. 31) [20].

Обычно используется спиральное врезание для предотвращения износа инструментов путём равномерного распределения нагрузки [21]. В данном меню можно задать следующие параметры:

- шаг (определяет высоту врезания инструмента при врезании за один цикл);

- угол (определяет угол врезания инструмента за один цикл);
- длину – расстояние, которое проходит инструмент за один цикл врезания.

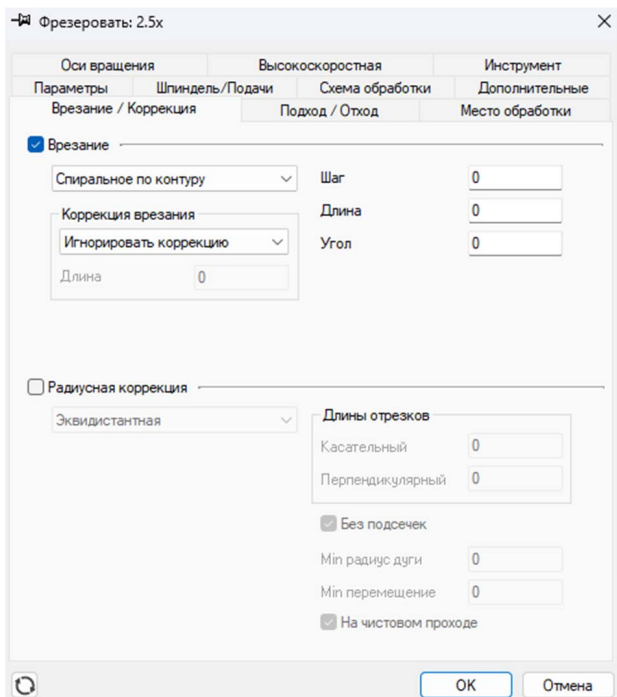


Рис. 31. Интерфейс вкладки «Врезание/Коррекция»

Определение стратегии подвода и отвода инструмента

На вкладке «Подход/Отход» можно задать подход инструмента к заготовке и отход от нее, а также угол входа и расстояние, с которого инструмент будет входить в обрабатываемую поверхность [22]. В данном меню есть возможность настроить скорость подачи при врезании в заготовку в мм/мин (рис. 32).

Реализованы следующие способы подхода и отхода: эквидистантный, линейно-касательный, линейный по нормали, линейный, радиальный 1/4 окружности, радиальный 1/2, радиальный, с приращением, радиальный в точке врезания.

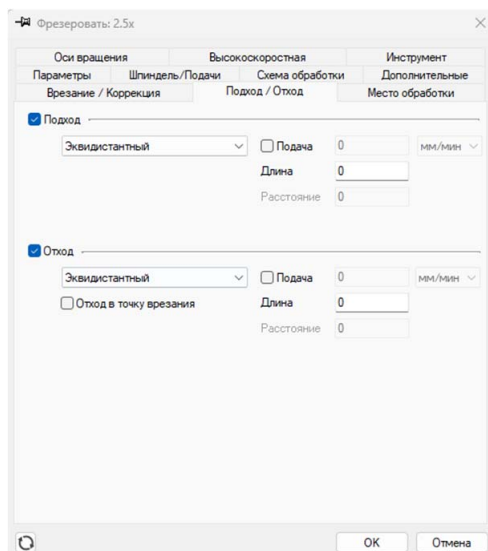


Рис. 32. Интерфейс вкладки «Подход/Отход»

Выбор параметров рабочей зоны обработки

Во вкладке «Место обработки» осуществляется выбор зон для обработки. Для этого во вкладке «Добавить» выбирается обрабатываемый контур или же группа отрезков, образующих контур.

Система координат конструктивного элемента (СК КЭ) определяет положение КЭ в пространстве относительно системы координат детали (СК детали). Для того чтобы указать новое положение системы координат:

- 1) нажмите кнопку «Фрезеровать 2.5х», затем кнопку «Добавить»;
- 2) в контекстном окне нажмите кнопку «Система координат КЭ».

Система свернет окно диалога технологического перехода;

- 3) выберите в появившемся меню один из способов определения положения системы координат (рис. 33) [1].

После того как будет указано новое положение СК, меню появится вновь, чтобы вы могли конкретизировать её положение. Если этого не требуется, нажмите сочетание клавиш Ctrl + Enter. Система развернет окно диалога технологического перехода. Также возможно указать новое положение системы координат средствами систе-

мы «Компас» (начиная с абсолютной СК либо с текущей СК) [24].

В контекстном меню «Место обработки» на вкладке «Глубина» указывается значение глубины обработки контура.

Глубина может рассчитываться в зависимости от указанной системы координат КЭ, на выбор есть два режима:

- 1) значение от плоскости КЭ – расчёт траектории идет от значения указанного уровня системы координат КЭ, ориентированного в низ детали;
- 2) значение от плоскости дна КЭ – расчёт траектории происходит от значения системы координат КЭ и направлен в верх детали (рис. 34).

На вкладке «Безопасные перемещения» можно дополнительно указать плоскость безопасности, над которой инструмент сможет перемещаться на быстрых подачах.

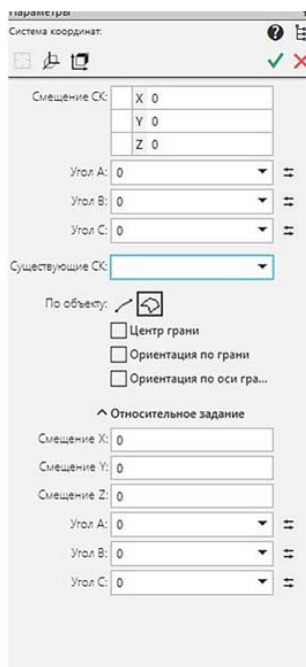


Рис. 33. Меню выбора способа определения положения СК КЭ

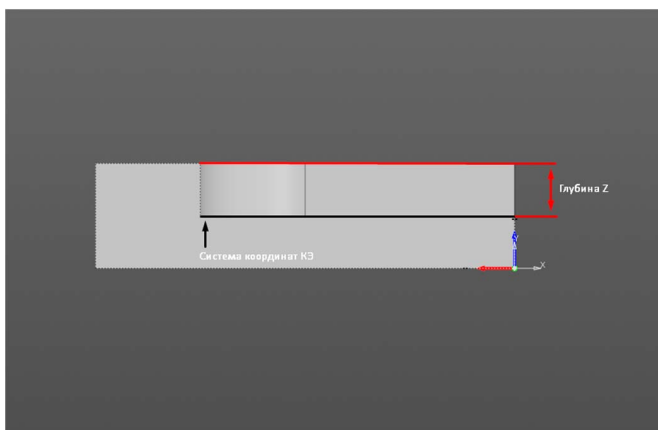


Рис. 34. Пример значения от плоскости дна КЭ

Выбор параметров инструмента

Диалог «Инструмент» дублирует инструмент в технологических командах. С помощью данного контекстного меню можно сформировать любой режущий инструмент. На выбор предлагаются фрезы, свёрла, центровки, развёртки, метчики и так далее. Для каждого из этих разделов существуют дополнительные подразделы [25]. Например, можно обозначить геометрию фрезы: концевую, сферическую или угловую (рис. 35).

В данном контекстном меню мы можем выбрать позицию инструмента, а также задать его диаметр, длину режущей части и общую длину инструмента. В дополнительных параметрах можно задать точные размеры режущего инструмента вместе с державкой, а также указать, например, количество зубьев [26].

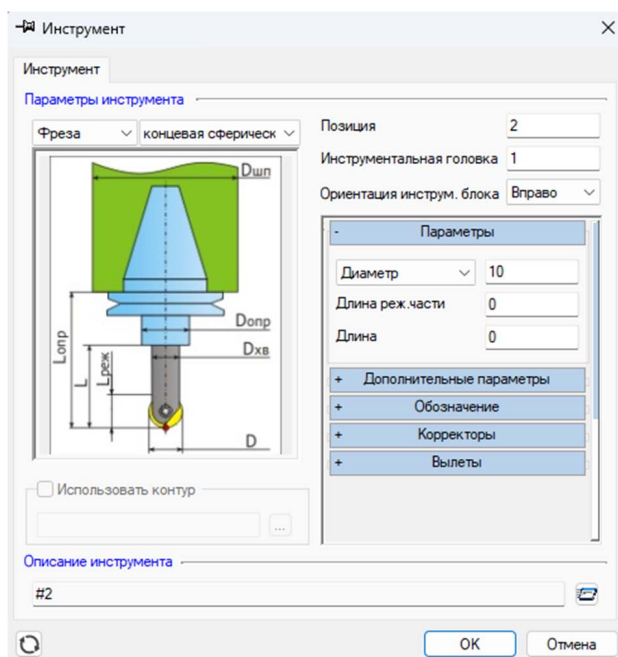


Рис. 35. Интерфейс вкладки «Инструмент»

Дополнительные настройки

Вкладка «Дополнительные» (рис. 36) отвечает за задание припуска на заготовке. В данном контекстном меню можно выставить припуск внешний, внутренний и на дно.

Также в этой вкладке можно задать удаление огранки и предусмотреть чистовые проходы.

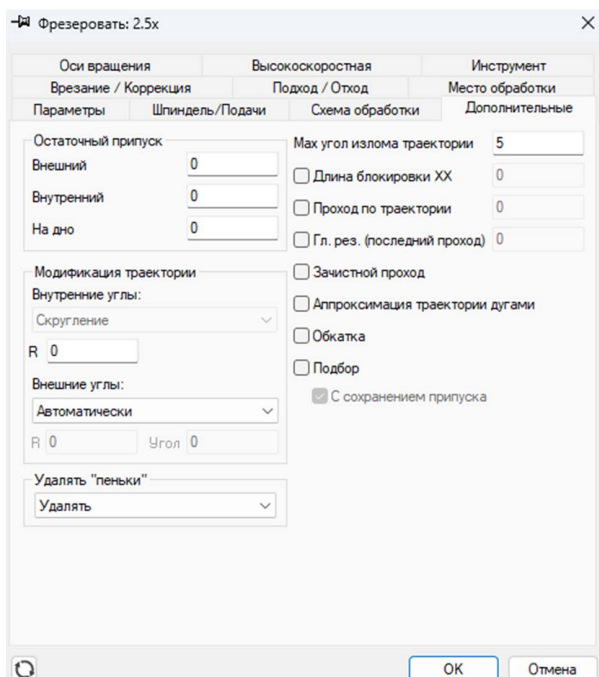


Рис. 36. Интерфейс вкладки «Дополнительные»

Определение исходных параметров при точении

В диалоге «Точить» (рис. 37) интерфейс схож с интерфейсом «Фрезеровать: 2,5х», за исключением некоторых параметров.

Для начала процесса точения необходимо выбрать контур детали, вдоль которого пройдёт режущий инструмент. Также есть возможность увеличить или уменьшить длину зоны точения в точке обработки.

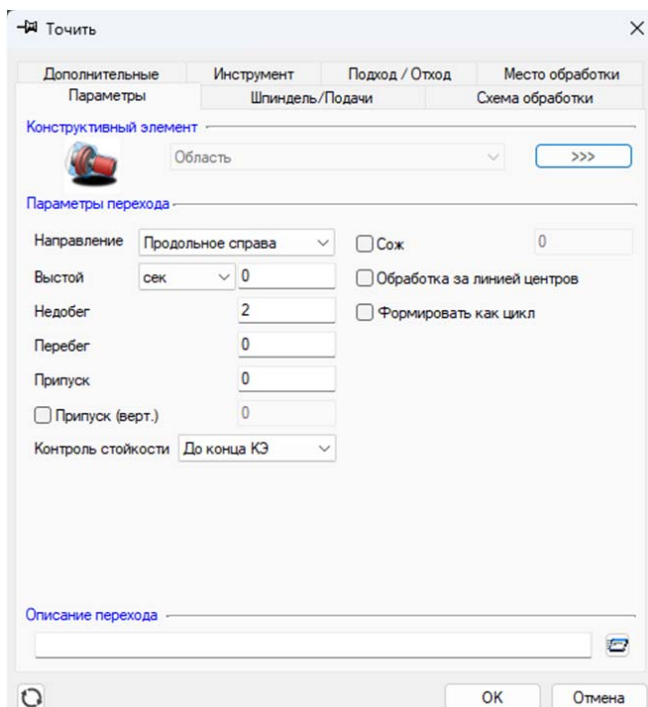


Рис. 37. Интерфейс диалога «Точить»

Тема 2.3. Программирование обработки деталей в режиме «Фрезерование: 3х»

Раздел «Фрезеровать: 3х» (рис. 38) нужен для создания чистовых траекторий для сложных трёхмерных поверхностей [27].

Интерфейс схож с интерфейсом раздела «Фрезеровать: 2.5х», за исключением конструктивных элементов. Для данной обработки конструктивными элементами являются поверхность и кривая [28]. Базовыми элементами для построения траектории являются контур, поверхность и контрольная поверхность.

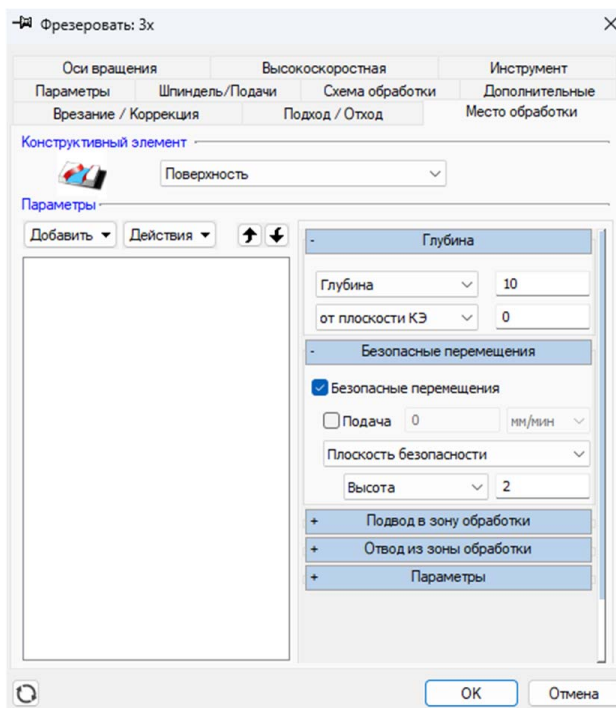


Рис. 38. Интерфейс раздела «Фрезеровать: 3х»

Тема 2.4. Программирование обработки деталей в режиме «Сверление»

В разделе «Сверлить» задаётся траектория движения для сверления, центровки, зенковки и развёртки. Интерфейс (рис. 39) схож с интерфейсом раздела «Фрезеровать: 2.5х», за исключением нескольких пунктов.

Во вкладке «Место обработки» ключевым элементом является отверстие. После выбора отверстия и системы координат КЭ выставляется глубина сверления [9].

Технически алгоритм построения маршрутов для центровки, развёртки, зенковки и развёртки схож со стандартным циклом сверления.

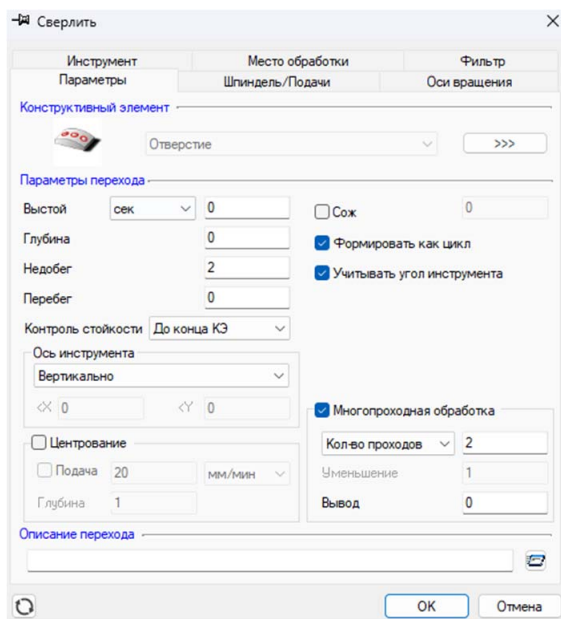


Рис. 39. Интерфейс раздела «Сверлить»

Чтобы во время цикла сверления сверло не забивалось выходящей стружкой, предусмотрена многопроходная обработка, которая позволяет после определённого цикла выводить сверло из отверстия для удаления стружки.

Тема 2.5. Программирование обработки деталей в режиме точения

В диалоге «Точить» представлены базовые операции для токарной обработки: точить, расточить, подрезать, отрезать, нарезать резьбу, — а также операции, связанные со сверлением: сверлить, центровать, зенковать, развернуть, нарезать резьбу метчиком.

Определение исходных параметров при растачивании

Во диалоге «Расточить» (рис. 40) представлена возможность обрабатывать внутренние контуры детали.

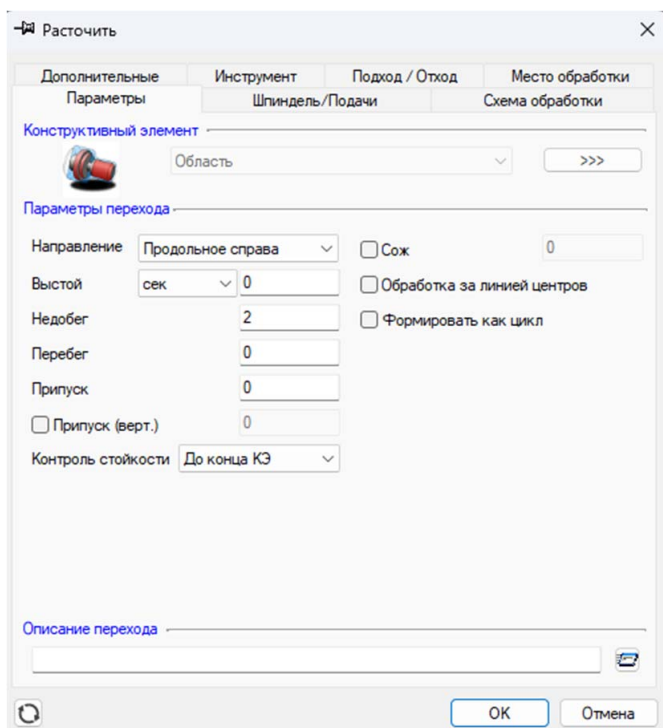


Рис. 40. Интерфейс раздела «Расточить»

Для этого необходимо, как и ранее, выбрать контур, по которому будет происходить точение, а также настроить подходы к внутренним частям обработки и отходы от них.

Определение исходных параметров для подрезки торцов

Технологический переход «Подрезать» позволяет обрабатывать торец заготовки (рис. 41).

Перед началом операции указывается обрабатываемый торец. Торец – это КЭ, над которым выполняются токарные и сверлильно-расточные переходы. Сначала указываются параметры токарного перехода. Задаются значения в полях «Недобор», «Перебег», «Припуск».

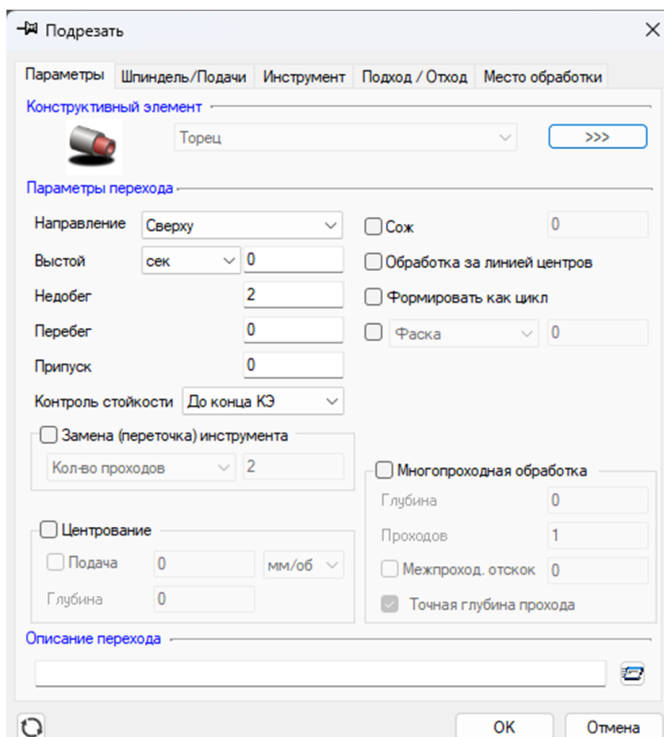


Рис. 41. Интерфейс раздела «Подрезать»

Определение исходных параметров при осевом сверлении

Функционал вкладок «Сверлить», «Центровать», «Зенковать», «Развернуть», «Нарезать резьбу метчиком» позволяет делать операции сверлением в телах вращения. Для создания операции необходимо на панели «Переход» выбрать диалог «Сверлить» (рис. 42).

В нём указывается торец, в котором строится траектория обработки. Все операции схожи с функциями сверления, описанными выше, за исключением некоторых пунктов, необходимых для обработки 2.5х.

Определение параметров технологической наладки станка

Маршрут обработки может содержать специальные технологические команды – технологические объекты, не связанные с непосредственной обработкой (снятием металла). При помощи технологиче-

ских команд можно задать общие особенности процесса обработки, такие как начальная или конечная точка движения инструмента, плоскость холостых ходов и др. Технологическая команда может быть задана в любой момент проектирования обработки [1].

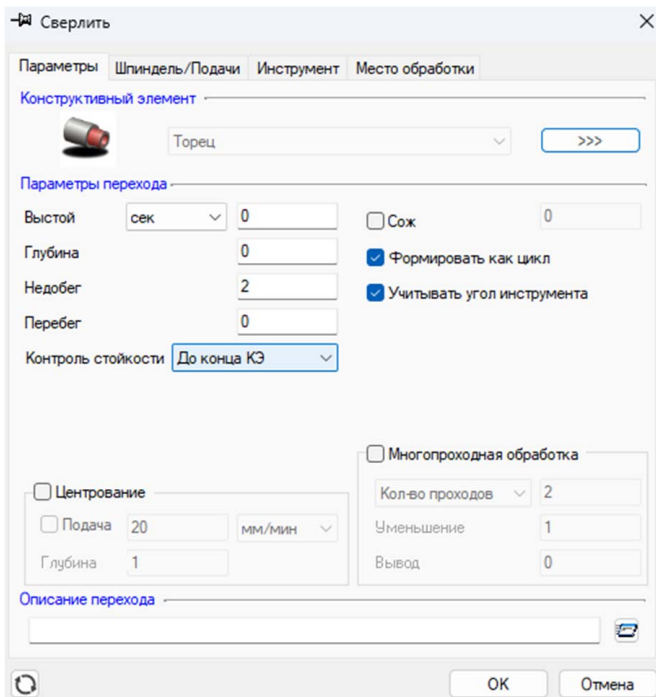


Рис. 42. Интерфейс диалога «Сверлить»

Выбор параметров для определения начальной точки

Технологическая команда «Начальная точка обработки» определяет положение начала цикла (настроечной точки инструмента) в системе координат детали или зоны. За настроечную точку инструмента принимают либо базовую точку шпинделя или резцедержателя, либо вершину какого-либо участвующего в обработке или фиктивного инструмента. Определить положение начальной точки обработки можно, задав её координаты в соответствующих полях диалогового окна или указав её курсором на экране.

Выбор параметров для определения безопасной позиции

Технологическая команда «Безопасная позиция» определяет точку или плоскость, куда отводится инструмент перед сменой, перед поворотом детали в рабочем пространстве станка, перед сменой стола-спутника, а также по команде. Если безопасная позиция не определена, то за безопасную позицию принимается начальная точка обработки [1].

Выбор параметров для определения плоскости ХХ

Технологическая команда «Плоскость холостых ходов» определяет плоскость, в которой должны выполняться ускоренные перемещения инструмента при переходе от одного конструктивного элемента к другому.

Выбор параметров для определения инструмента

Технологическая команда «Инструмент» устанавливает параметры инструмента, который будет использован в последующих технологических переходах. Как правило, команда «Инструмент» используется перед вызовом подпрограмм или станочных циклов [1].

Инструмент можно перемещать в древе ADEM CAM.

Выбор параметров для определения заготовки

Технологическая команда «Заготовка» предназначена для определения в маршруте обработки заготовки, из которой будет изготавливаться проектируемая деталь. Наличие этой команды в маршруте обработки необязательно. Заготовка, определенная в маршруте обработки, будет отображаться при верификации обработки. Кроме того, заготовка учитывается при проектировании токарных операций [1].

Выводы по разделу 2

Программирование обработки деталей в режиме фрезерования, сверления и точения в ADEM позволяет значительно унифицировать процесс подготовки производства деталей в машиностроении. Вот основные выводы по этому направлению.

1. ADEM предоставляет мощные инструменты создания программ обработки для различных типов операций. Это позволяет инженерам и операторам быстро адаптироваться к изменениям в проекте и производственных задачах.

2. Использование ADEM для фрезерования, сверления и точения позволяет сократить время подготовки и обработки деталей за счет автоматизации процессов, что, в свою очередь, повышает общую производительность предприятия.

3. Программирование в ADEM предусматривает использование высокоточных технологий, что позволяет минимизировать отклонения и повышает качество готовых изделий, снижая процент брака.

4. Программное обеспечение ADEM позволяет анализировать различные параметры обработки и подбирать оптимальные режимы работы инструментов, что снижает износ оборудования и увеличивает срок службы инструментов.

5. ADEM обеспечивает интеграцию с различными CAD/CAM-системами, что позволяет облегчить процесс подготовки данных для обработки, повышая эффективность взаимодействия между проектированием и производством.

6. ADEM предлагает широкие возможности для настройки параметров обработки, позволяя адаптировать процесс под конкретные условия работы и требования к деталям.

7. Для эффективного использования ADEM важно обеспечить должное обучение пользователей, а также доступ к технической поддержке, что поможет повысить уровень компетентности сотрудников и обеспечить правильное использование инструментов.

В целом программирование обработки деталей в режиме фрезерования, сверления и точения в ADEM является важным инструментом для повышения эффективности производства, повышения качества продукции и оптимизации производственных процессов на предприятиях.

Контрольные вопросы по разделу 2

1. Какие типы операций обработки поддерживает программное обеспечение ADEM?
2. Как ADEM помогает адаптироваться к изменениям в проекте?
3. В каких случаях автоматизация процессов в ADEM особенно актуальна?

4. Как сокращение времени подготовки и обработки деталей влияет на общую производительность предприятия?
5. Какие технологии обеспечивают высокую точность при программировании в АДЕМ?
6. Как минимизация отклонений при обработке деталей с использованием АДЕМ влияет на качество готовой продукции?
7. Какие параметры обработки можно анализировать с помощью АДЕМ для оптимизации процессов?
8. Как АДЕМ помогает снизить износ оборудования и увеличить срок службы инструментов?
9. Какова роль интеграции АДЕМ с CAD/CAM-системами в процессе подготовки данных для обработки?
10. Какие преимущества предоставляет возможность настройки параметров обработки в АДЕМ?
11. Какие факторы следует учитывать при обучении пользователей АДЕМ для повышения их компетентности?
12. Как техническая поддержка влияет на эффективность использования АДЕМ в производственном процессе?
13. Какие примеры успешного использования АДЕМ в машиностроении вы можете привести?
14. Как АДЕМ помогает в снижении процента брака при производстве деталей?
15. Какие сложности могут возникнуть при внедрении АДЕМ на предприятии?
16. Как АДЕМ позволяет улучшить взаимодействие между проектированием и производством деталей?
17. Какие существуют альтернативные программные решения для обработки деталей и чем АДЕМ выделяется среди них?
18. Какие современные требования к качеству продукции влияют на использование АДЕМ на производстве?
19. Как можно оценить рентабельность использования АДЕМ в обработке деталей?
20. Каковы дальнейшие перспективы развития программного обеспечения АДЕМ в контексте обработки деталей в машиностроении?

Раздел 3. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ «ЗВЕЗДА» В АДЕМ САМ

В данном разделе будут рассмотрены технологические процессы фрезеровки детали «звезда» (прил. Б).

Тема 3.1. Определение тела заготовки для детали

Перед обработкой создаем заготовку, в которую будет вписана деталь. Для этого необходимо создать еще одно тело поверх нашей детали. Нажимаем на кнопку «Создать эскиз» (рис. 43).

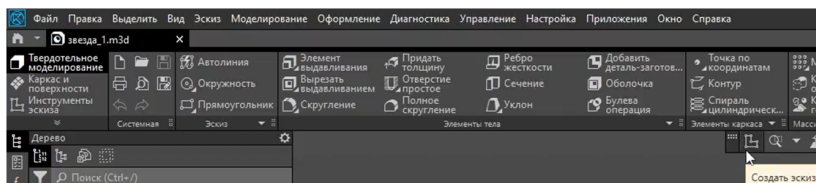


Рис. 43. Интерфейс программы

Далее выбираем на панели деталь, в «Инструментах эскиза» выбираем «Окружность», как наиболее подходящую форму для детали «звезда» (рис. 44).

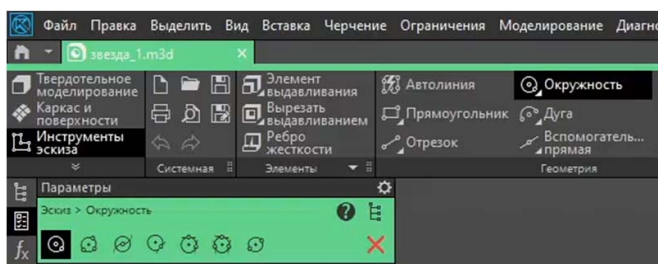


Рис. 44. Выбор эскиза

Из центра детали задаем диаметр тела заготовки 460 мм (рис. 45).

Далее нажимаем инструмент «Элемент выдавливания» (рис. 46) и получаем заготовку, которой в дальнейшем необходимо будет задать дополнительные параметры.

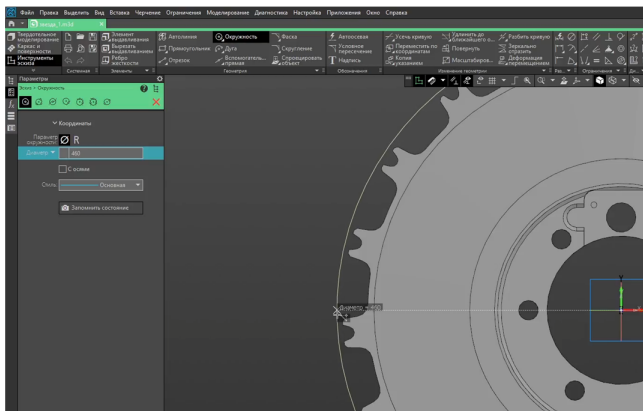


Рис. 45. Тело заготовки

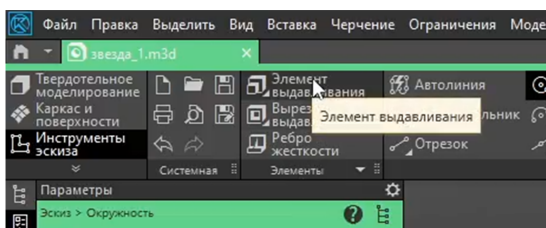


Рис. 46. Выбор операции «Элемент выдавливания»

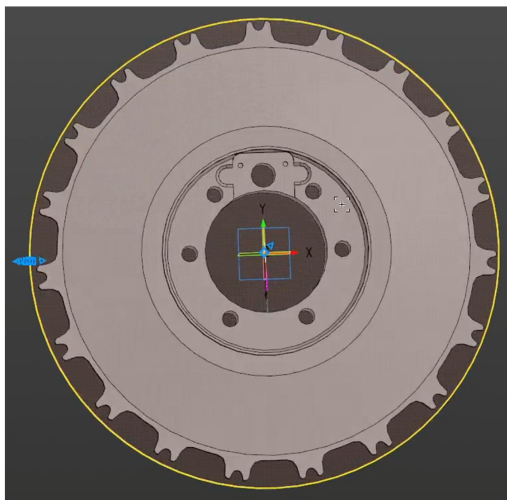


Рис. 47. Рабочая деталь

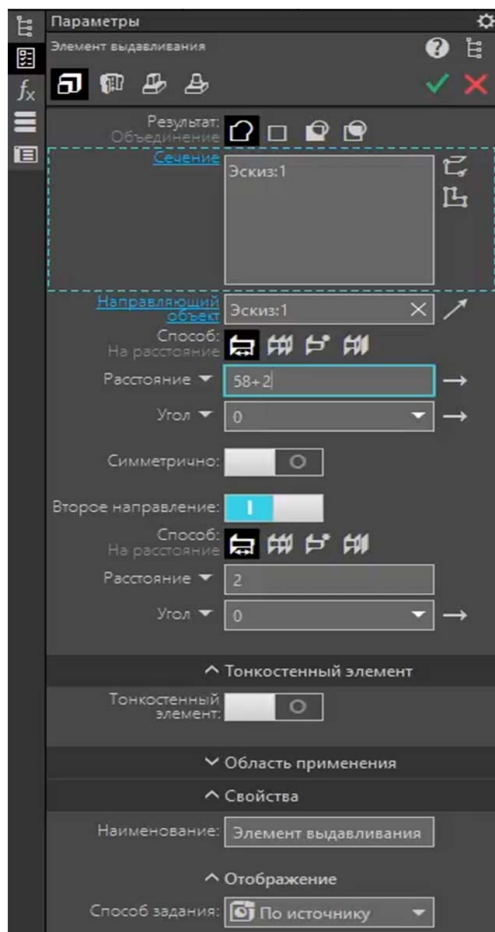


Рис. 48. Поле «Второе направление»

Деталь имеет высоту 58 мм (рис. 47). Нам необходимо сделать припуск 2 мм сверху и снизу. Для этого двигаем ползунок в поле «Второе направление» (рис. 48), в нижнем поле «Расстояние» задаем значение 2 мм, а в основном поле «Расстояние» указываем $58 + 2$ мм. Заготовка задана.

Далее для удобства сделаем заготовку полупрозрачной. Для этого в поле «Отображение» (рис. 49) в пункте «Способ задания» выбираем «Вручную», после чего в открывшемся меню задаем параметр «Прозрачность» и выставляем значение 50 (рис. 50).

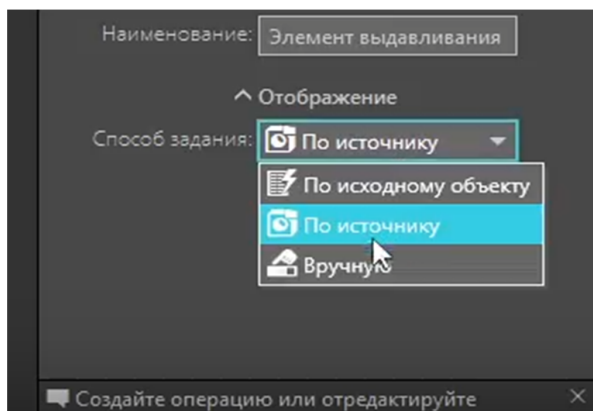


Рис. 49. Рабочее поле «Отображение»

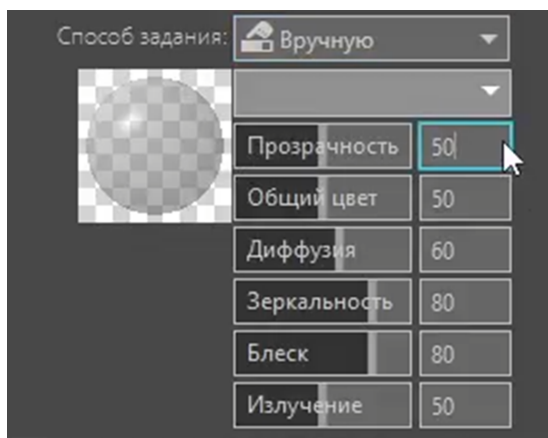


Рис. 50. Рабочее поле «Способ задания»

Для применения всех настроек кликаем по зеленой галочке (рис. 51).

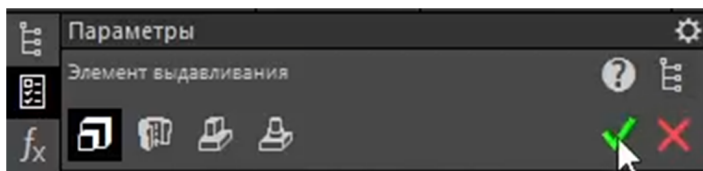


Рис. 51. Команда «Применить настройки»

Для удобства через меню «Свойства» (рис. 52) можем переименовать заготовку и деталь.

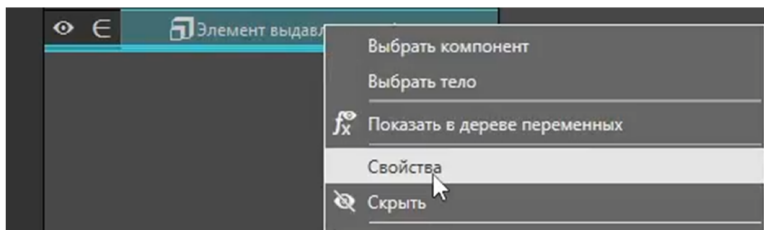


Рис. 52. Меню «Свойства»

В меню отображается список элементов и вид заготовки (рис. 53).

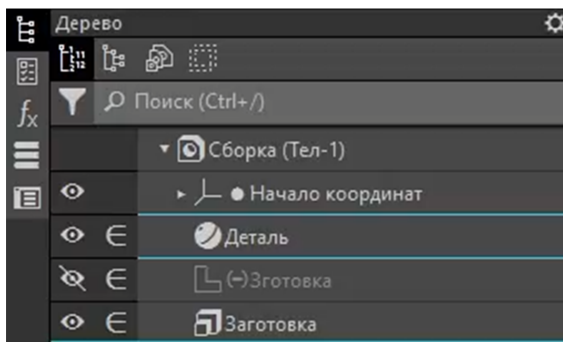


Рис. 53. Меню «Деталь»

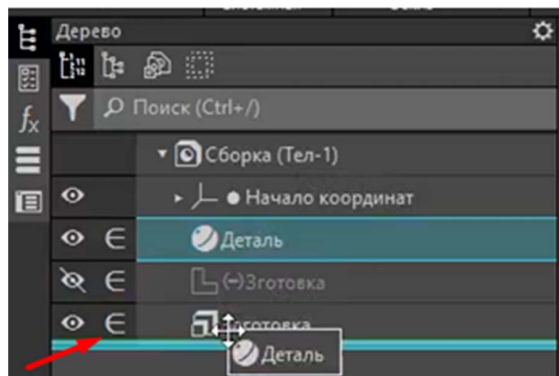


Рис. 54. Выбор детали

Теперь нам необходимо отобразить деталь внутри тела заготовки. Для этого нужно перетащить «Деталь» (рис. 54) на слой ниже «Заготовки» и дважды нажать «Исключить из расчетов» (исключаем и возвращаем к исходным настройкам).

После проделанных манипуляций деталь проявится внутри заготовки (рис. 55).

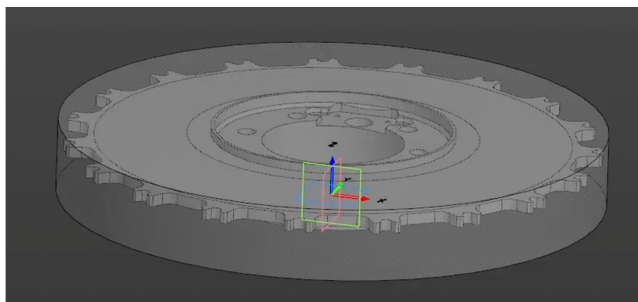


Рис. 55. Вид детали внутри заготовки

Тема 3.2. Задание начальной точки обработки

Теперь необходимо разобраться с начальной точкой – той, с которой машина начинает обработку заготовки. Для этого переходим в библиотеку: раскрываем список «Инструменты эскиза» и выбираем ADEM CAM (рис. 56).

В меню управления (рис. 57) нажимаем пункт «Начальная точка» (рис. 58) и выставим желаемые параметры. В нашем случае требуется начать обработку детали ровно по центру детали, поэтому в графе «Координата Z» мы выставляем значение 60, поднимая ее на уровень заготовки. Также начальную точку можно задать с экрана, для этого нажимаем «С экрана», выделяем нашу поверхность и точно так же задаем желаемые параметры.

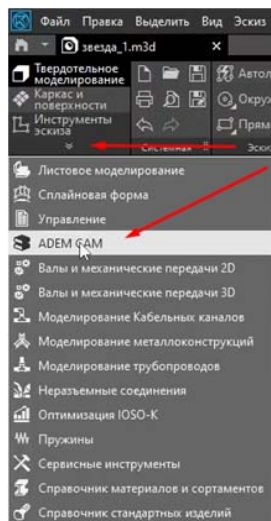


Рис. 56. Выбор начальной точки

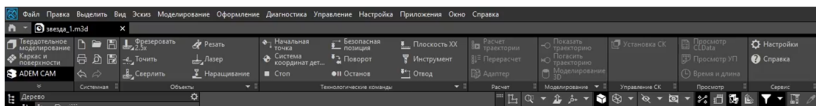


Рис. 57. Меню управления

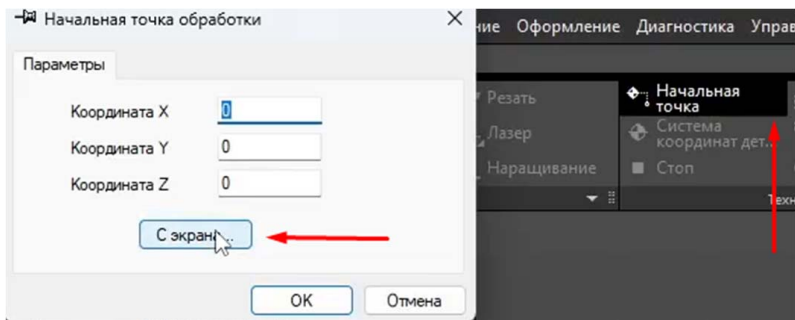


Рис. 58. Начальная точка обработки

Созданная начальная точка обработки отобразилась в маршруте (рис. 59).

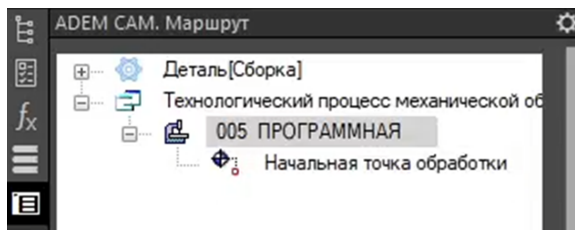


Рис. 59. Отображение начальной точки в маршруте

Теперь нам необходимо задать безопасную позицию (рис. 60). Безопасная позиция – это позиция, куда инструмент будет выходить и будет там безопасно двигаться, не задевая прочие инструменты, например, прижимы для заготовки. Важно брать во внимание размеры самих прижимов. Поэтому безопасная позиция задается не по самой детали, а немного выше, с учетом дополнительного оборудования.

Для этого в меню выбираем соответствующий пункт и задаем координаты, в нашем случае – 80, в соответствии с размерами прижимов. Для сохранения настроек нажимаем «ОК».

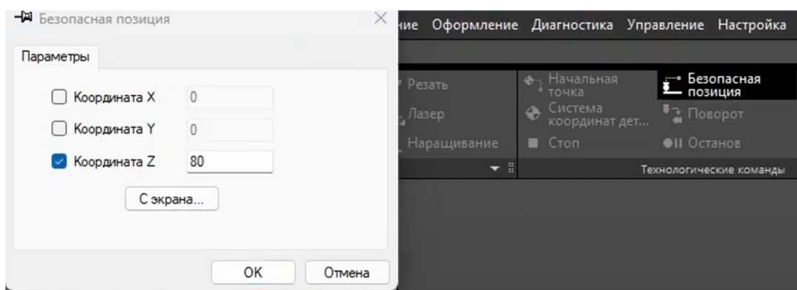


Рис. 60. Безопасная позиция

Задание правильной начальной точки позволит предохранить инструмент от столкновений и последующей поломки.

Тема 3.3. Выбор параметров плоскости холостых ходов

Плоскость холостых ходов (XX) – это плоскость, где подача инструмента будет ускоренной. Допустимо задавать плоскость XX и безопасную подачу в одной плоскости, в нашем случае – 80 по координате Z (рис. 61).

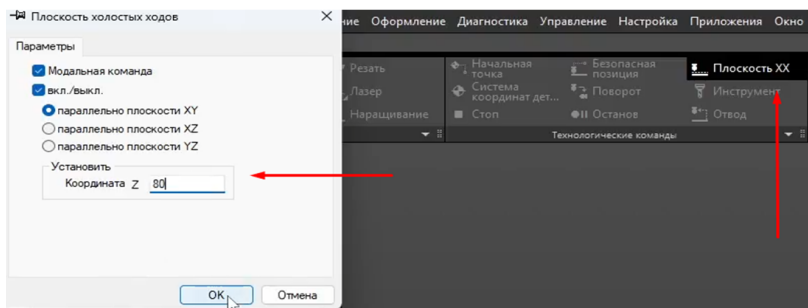


Рис. 61. Задание плоскости холостых ходов

Плоскость XX позволяет осуществлять быстрые подачи на безопасном расстоянии, что значительно сокращает вспомогательное время работы станка.

Тема 3.4. Создание режущего инструмента

После этого задаем параметры инструмента. Для этого сверху нажимаем на «Инструмент» (рис. 62), откроется меню настройки инструмента. Во вкладке «Параметры» выставляем размеры фрезы: диаметр 50, длина режущей части 5, длина фрезы 30. На вкладке «Дополнительные параметры» можно указать количество зубьев и другие настройки.

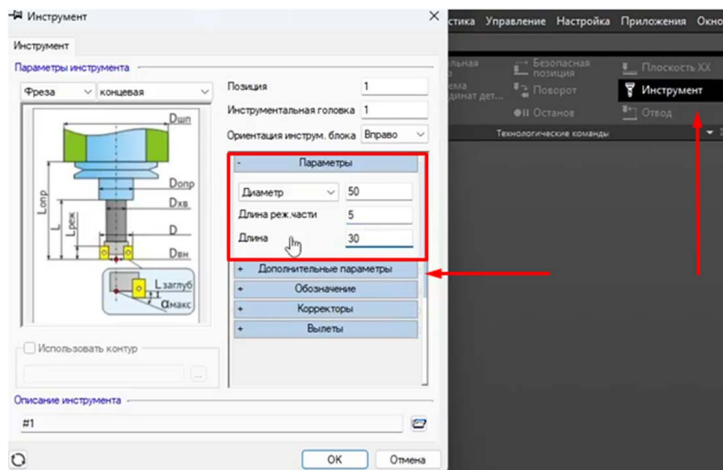


Рис. 62. Задание параметров инструмента

В меню «Дополнительные параметры» задаем количество зубьев 7 (рис. 63).

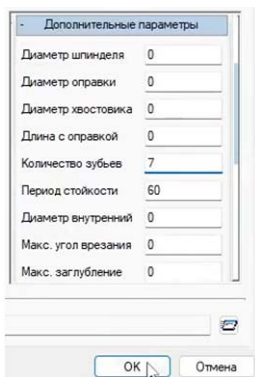


Рис. 63. Меню «Дополнительные параметры»

После этого необходимо в маршруте нажать на знак «плюс» (+) слева от пункта «Деталь [Сборка]», откроется заготовка (рис. 64).

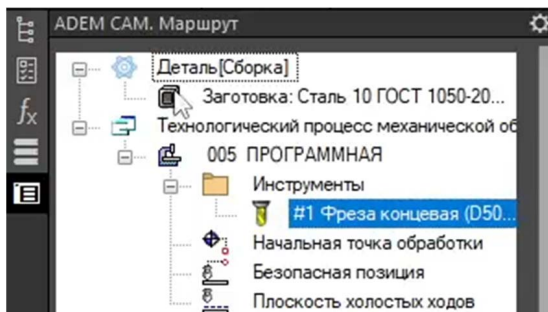


Рис. 64. Открытие заготовки

Если понадобилось изменить инструмент, всегда можно изменить характеристики существующего либо же создать новый и скопировать в дерево.

Тема 3.5. Настройка отображения заготовки в дереве ADEM CAM

Нажимаем правой кнопкой мыши (ПКМ) на нашу заготовку и выбираем пункт «Выбрать тело для заготовки» (рис. 65).

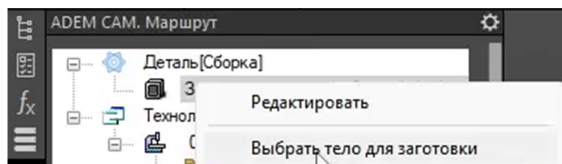


Рис. 65. Выбор тела для заготовки

Далее выбираем всю заготовку и нажимаем на зеленую галочку (рис. 66).



Рис. 66. Выбор всей заготовки

Заготовка сформирована (рис. 67).

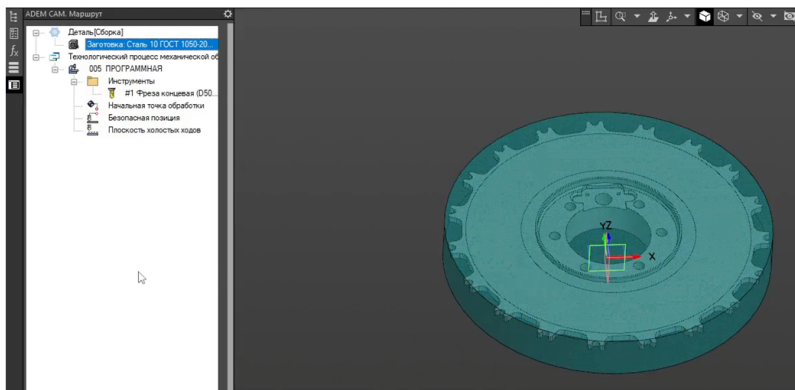


Рис. 67. Заготовка

Настройка интерфейса под себя позволяет значительно ускорить работу оператора. На примере заготовки можно упростить понимание положения детали внутри.

Тема 3.6. Выбор параметров фрезерования припуска заготовки с помощью контура «Плоскость»

Приступаем к построению маршрута. Нажимаем на «Фрезеровать 2.5» (рис. 68).

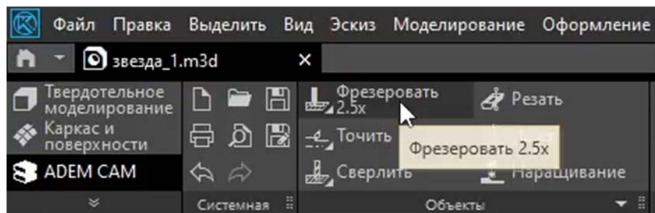


Рис. 68. Начало построения маршрута

Далее в открывшемся меню выбираем «Плоскость», оставим стандартный диаметр инструмента (50) и перейдем дальше. В меню доступны для редактирования и другие параметры. Далее нажимаем на три стрелочки право. В открывшемся меню изменим параметр

«Глубина» на 2. Это расстояние наглядно видно – между фиолетовой и оранжевой линиями (рис. 69).

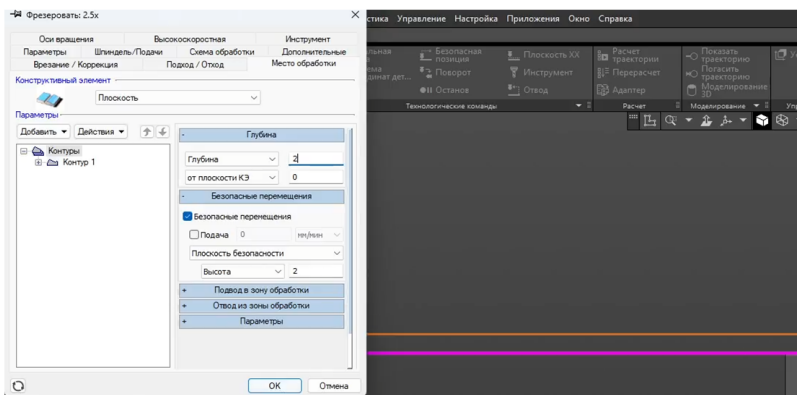


Рис. 69. Изменение параметра «Глубина»

Далее выбираем контур заготовки, которую будем фрезеровать, и нажимаем зеленую галочку для подтверждения. Нажимаем на кнопку «Добавить» и выбираем «Контур» (рис. 70).

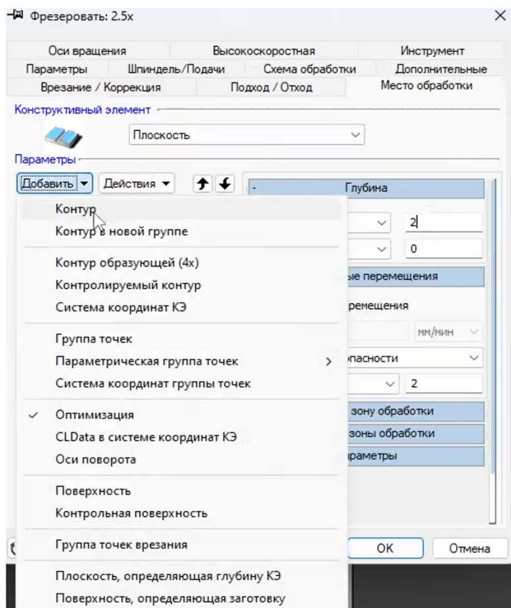


Рис. 70. Выбор контура

Также мы добавим систему координат – это уровень по оси Z, от которого будут строиться глубины наших операций. Для этого снова нажимаем на кнопку «Добавить» и выбираем «Система координат КЭ» (рис. 71).

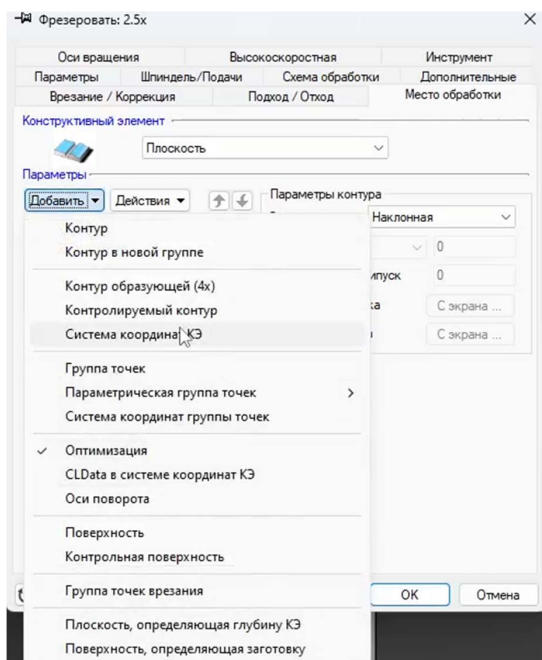


Рис. 71. Выбор системы координат КЭ

Конечный результат должен совпадать с рис. 72.

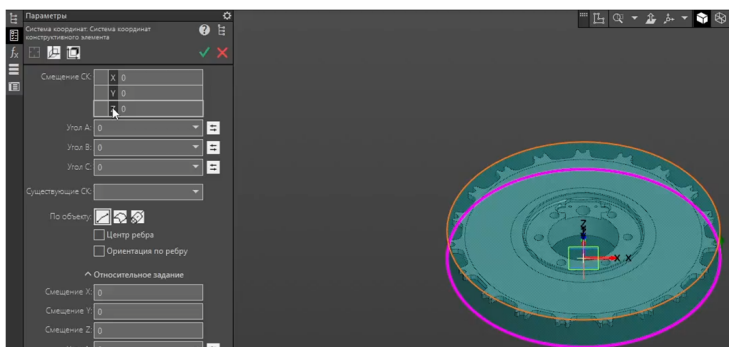


Рис. 72. Заготовка с деталью внутри

Переходим обратно в дерево (рис. 73).

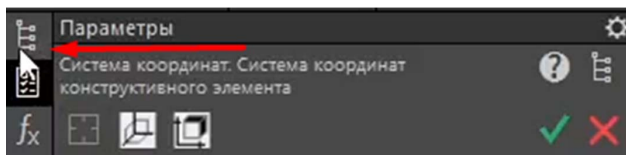


Рис. 73. Возвращение в дерево проекта

Скроем отображение заготовки (рис. 74), чтобы отображалась только деталь (рис. 75).

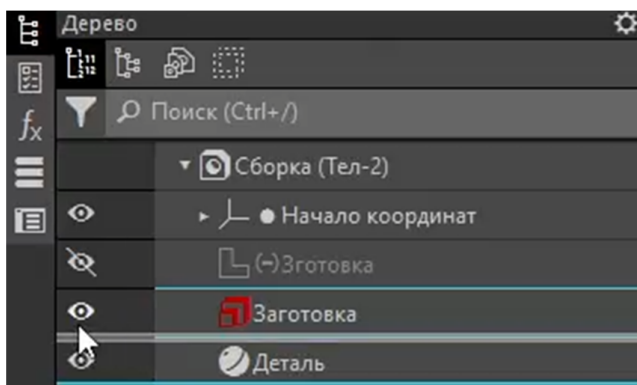


Рис. 74. Выбор «скрыть заготовку»

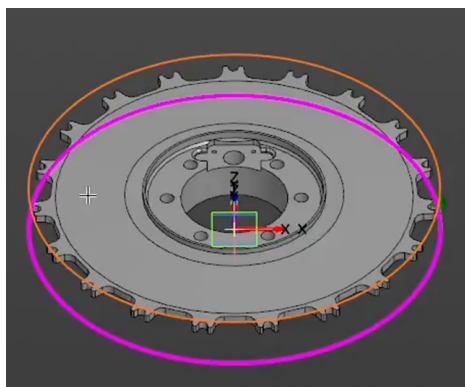


Рис. 75. Деталь

Выбираем необходимую точку и нажимаем на зеленую галочку (рис. 76).

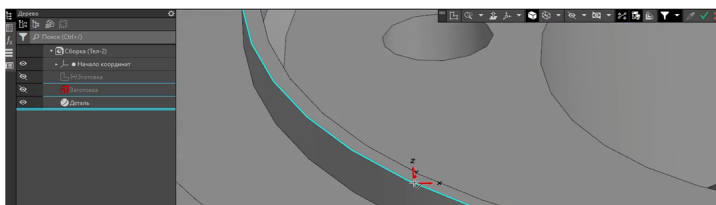


Рис. 76. Выбор точки

Плоскость сформирована. Теперь необходимо перейти на вкладку «Схема обработки» (рис. 77). Здесь выберем схему обработки «Зигзаг» и выставим угол обработки 90° , чтобы обработка шла не по плоскости Y , а по плоскости X .

Также поставим галочку на пункте «Многопроходная обработка по Z». Сразу под пунктом «Многопроходная обработка по Z» раскрываем список доступных вариантов, выбираем «Глубина прохода» и выставляем необходимое нам значение 1 – это значение отвечает за глубину фрезеровки за один проход.

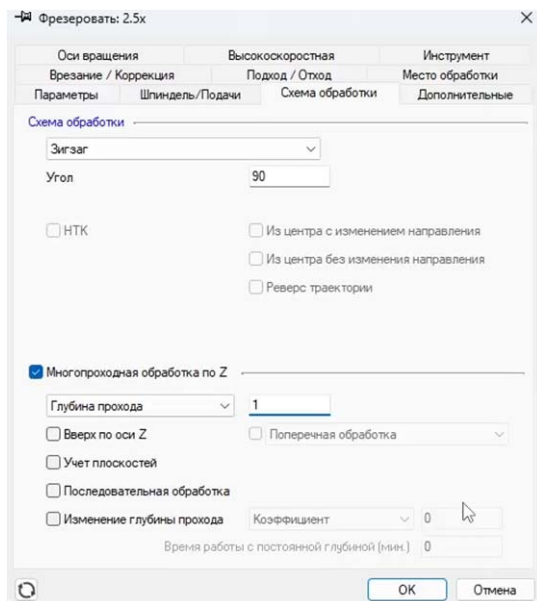


Рис. 77. Задание значения глубины прохода

Во вкладке «Шпиндель/Подачи» можно настроить скорость и подачу шпинделя (рис. 78). Данные настройки, как правило, выставляются опытным путем. На расчетах режущего инструмента подробно останавливаться не будем.

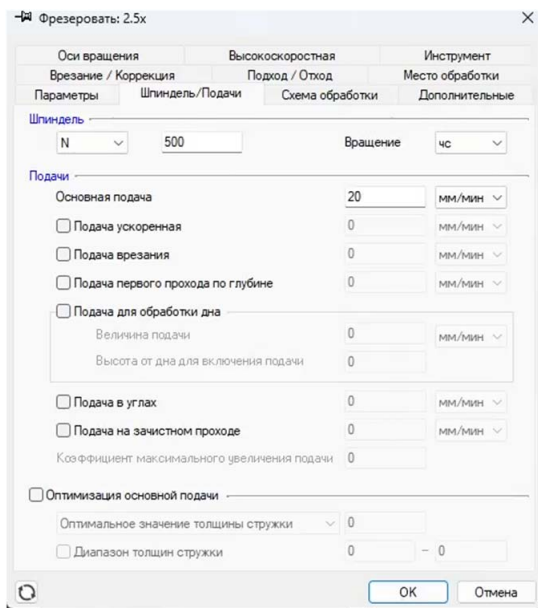


Рис. 78. Вкладка «Шпиндель/Подачи»

Во вкладке «Подход/Отход» (рис. 79) мы оставим стандартные настройки, но длину укажем 100, чтобы инструмент с диаметром 50 не врезался в заготовку.

Для расчета траектории сверху нажимаем на соответствующую кнопку «Расчет траектории» (рис. 80).

После ввода всех необходимых значений получаем конечный результат (рис. 81).

Функция «Плоскость» удобна своей мягкой привязкой к контурам, что делает её идеальным вариантом для операций, требующих выравнивания поверхностей.

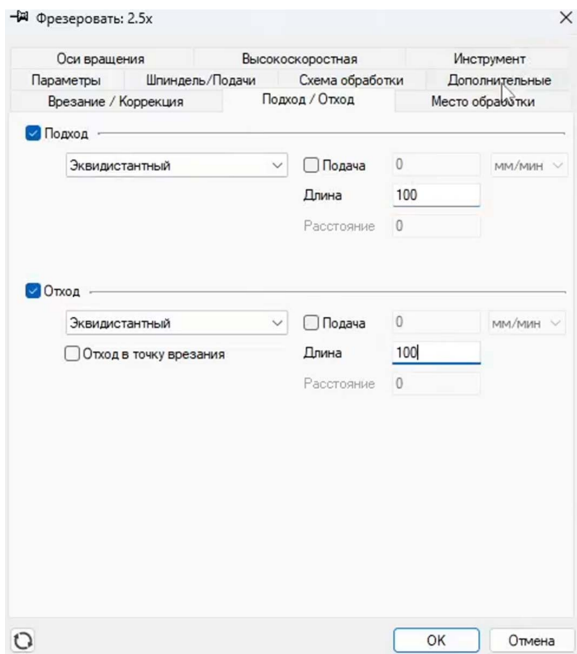


Рис. 79. Вкладка «Подход/Отход»

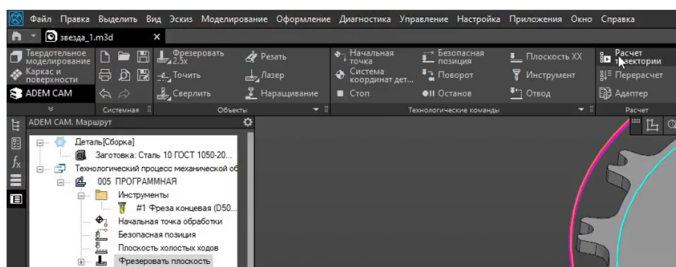


Рис. 80. Раздел «Расчет траектории»

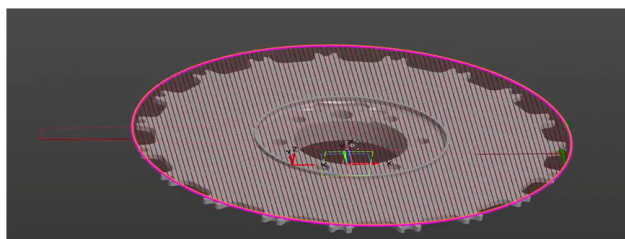


Рис. 81. Конечный результат

Тема 3.7. Выбор параметров фрезерования внутренних поверхностей с помощью КЭ «колодец»

Рассмотрим функцию «колодец». Нам необходимо выполнить фрезеровку поверхности, по аналогии с которой будут выполнены следующие подобные операции (рис. 82).

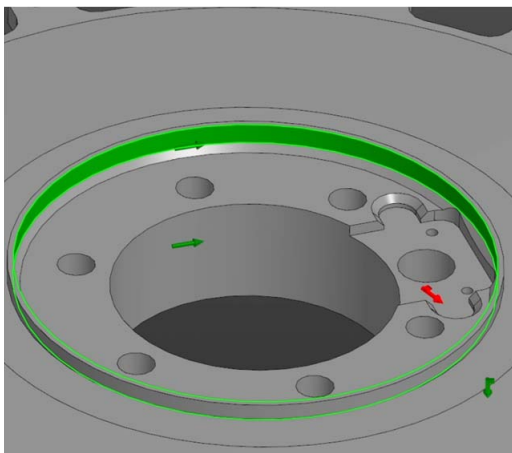


Рис. 82. Зона обработки

Первое, что необходимо сделать, – узнать высоту фрезеруемой поверхности. Для этого нужно зайти в «Твердотельное моделирование» (рис. 83).

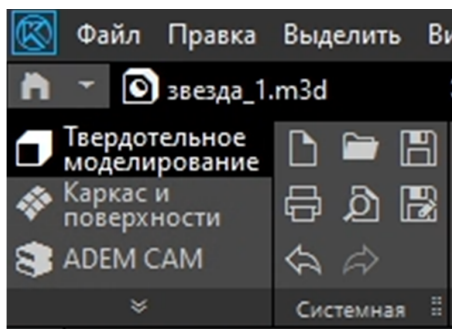


Рис. 83. Твердотельное моделирование

Далее выбираем «Расстояние и угол» (рис. 84).

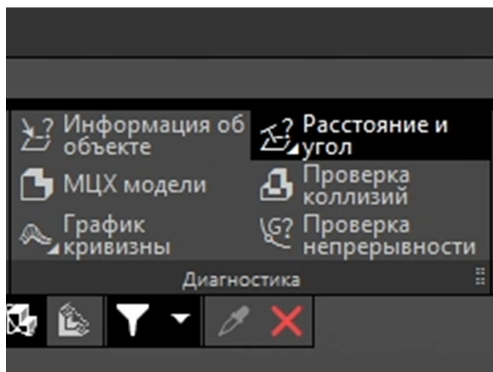


Рис. 84. Расстояние и угол

После этого откроется контекстное меню справа (рис. 85).

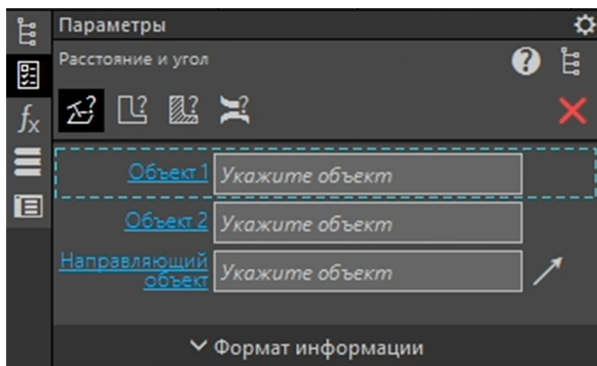


Рис. 85. Параметры «Расстояние и угол»

Выделяем две необходимые плоскости (они будут подсвечены) (рис. 86).

В меню слева, которое было показано ранее, отобразятся выбранные нами объекты (рис. 87). А также внизу будет указана искомая высота (рис. 88).

Затем переходим в ADEM CAM, выбираем пункт «Фрезеровать 2.5х» и в открывшемся списке вариантов также выбираем «Фрезеровать 2.5х» (рис. 89).

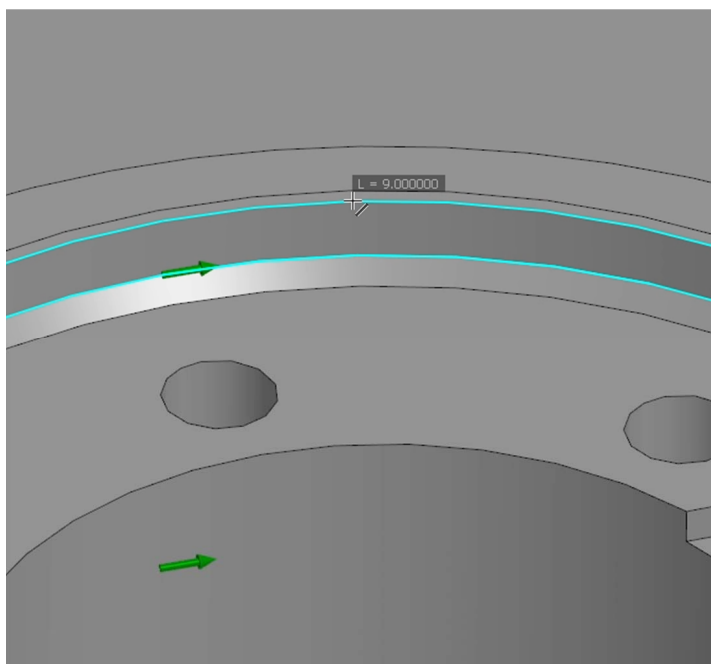


Рис. 86. Выбор плоскостей

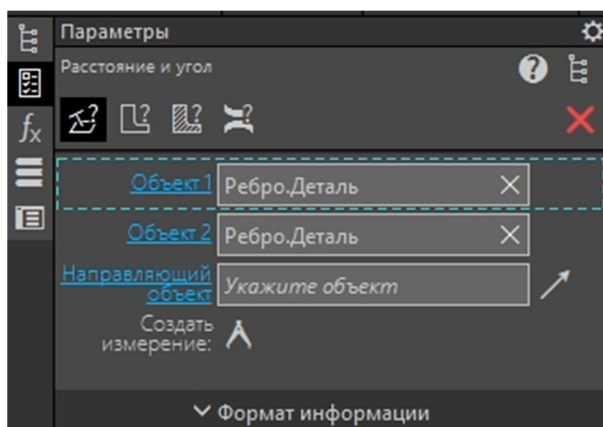


Рис. 87. Выбор объектов

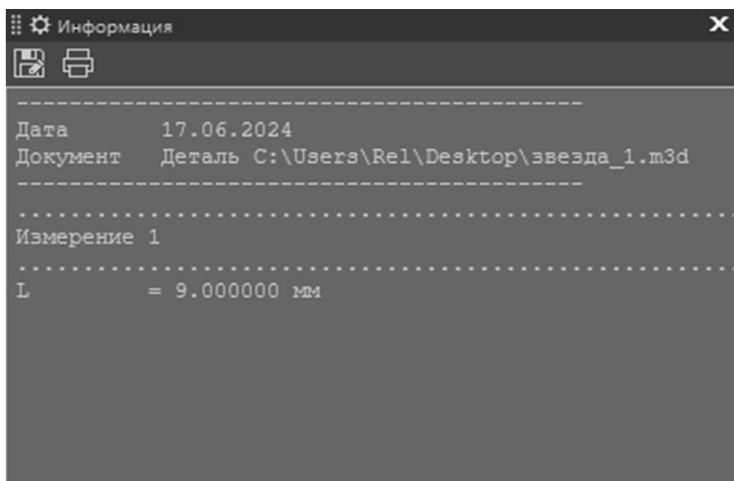


Рис. 88. Значения измерений

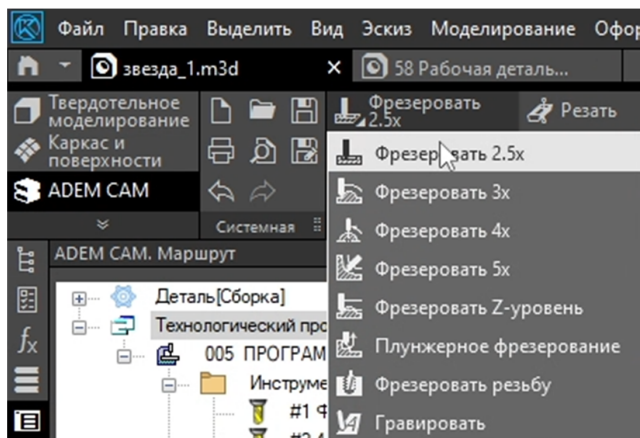


Рис. 89. Выбор операции

В открывшемся меню настроек выставляем необходимые параметры. Глубина – 9, фрезеровать будем от плоскости дна КЭ и значение глубины от него выставляем 0 (рис. 90).

Добавляем контур, который мы будем фрезеровать. Выделяем его курсором, он будет подсвечен желтым цветом. После чего нажимаем на зеленую галочку, сохраняем (рис. 91).

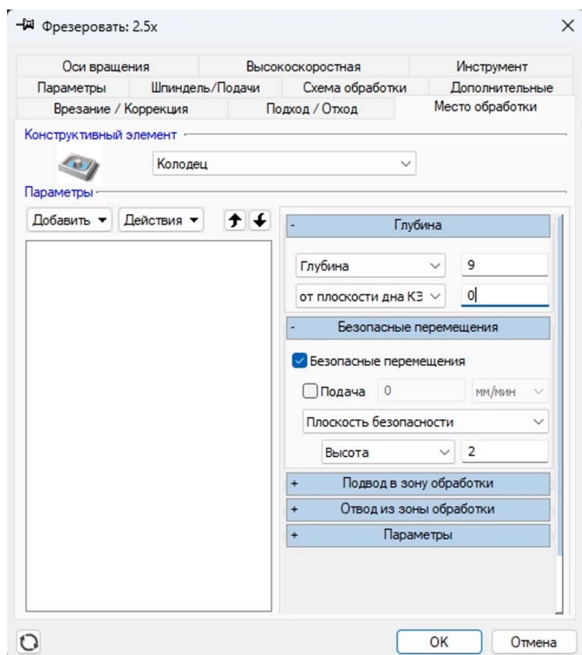


Рис. 90. Определение глубины фрезерования

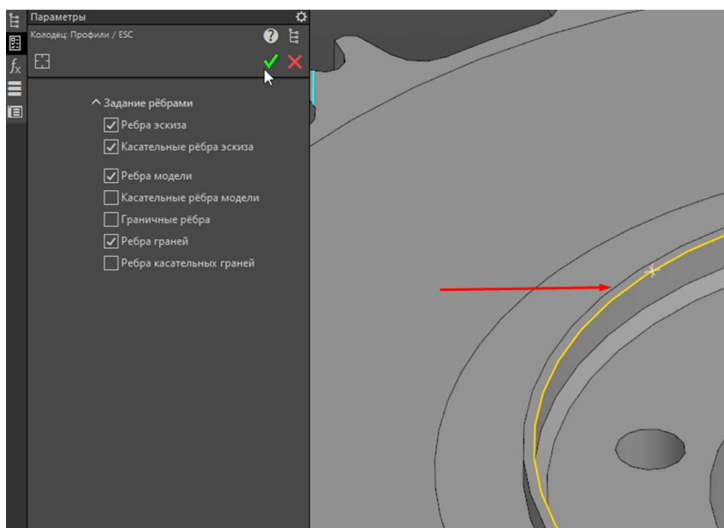


Рис. 91. Выбор контура

На рис. 92 показан вид на обрабатываемый контур.

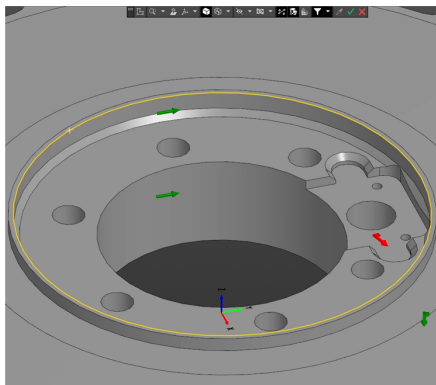


Рис. 92. Обрабатываемый контур

Добавим систему координат КЭ. Выделим контур, после чего сохраняем нажатием на зеленую галочку (рис. 93).

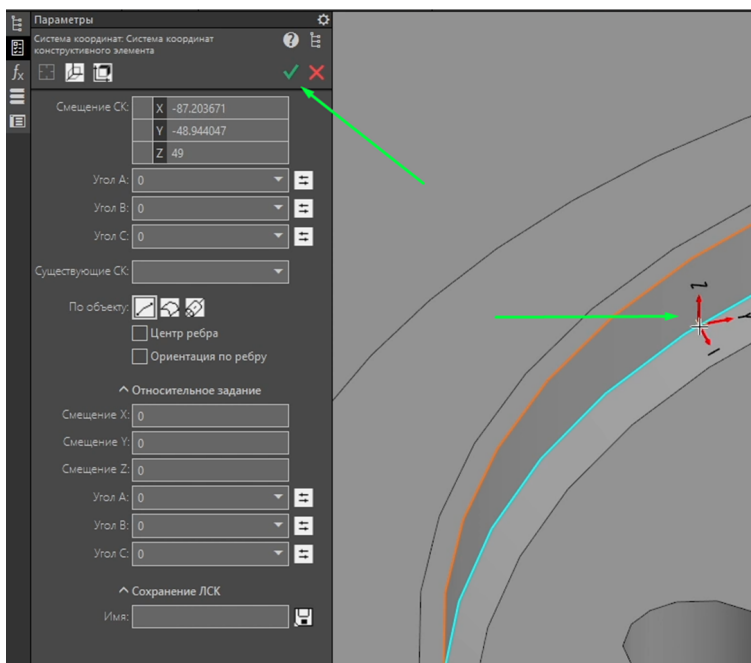


Рис. 93. Выбор контура для систем координат КЭ

Важно знать: если мы заглубляемся в металлическую заготовку фрезой, она начинает выполнять функцию сверла, что приводит к ее быстрому износу. Однако этого можно избежать, для этого существует функция «Врезание». Данная функция позволяет фрезе заходить в заготовку по спирали, таким образом момент сил будет направлен на режущую поверхность.

Для активации этой функции переходим на вкладку «Врезание/Коррекция» и ставим галочку на пункте «Врезание». Чуть ниже выбираем вид врезания «Спиральное по контуру» и параметры: шаг – 1, угол – 10. Шаг – это расстояние глубины захода за один оборот. Угол – это угол одного оборота; нажимаем «ОК» (рис. 94).

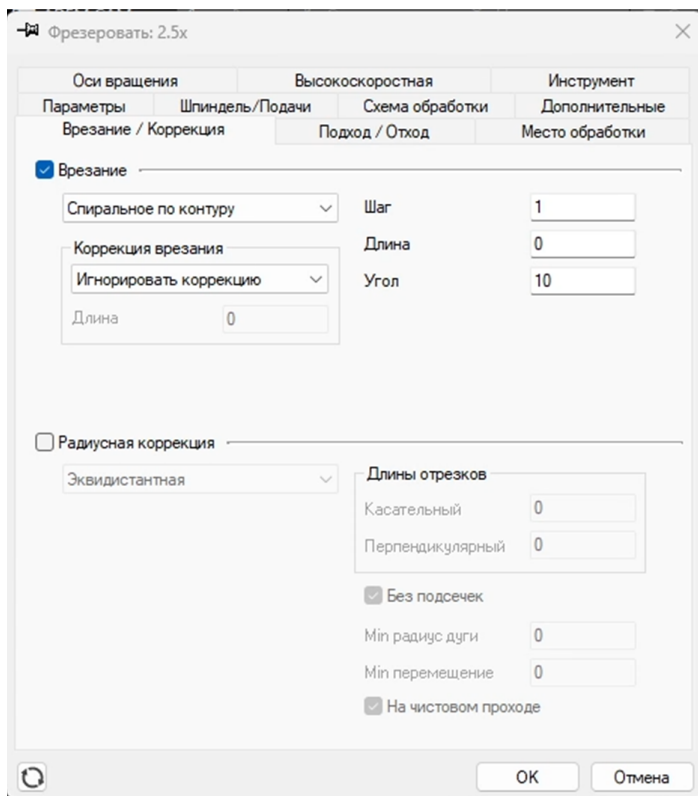


Рис. 94. Выбор параметров врезания

После всех выставленных настроек переходим в «Расчет траектории», необходимая нам траектория рассчитывается автоматически (рис. 95).

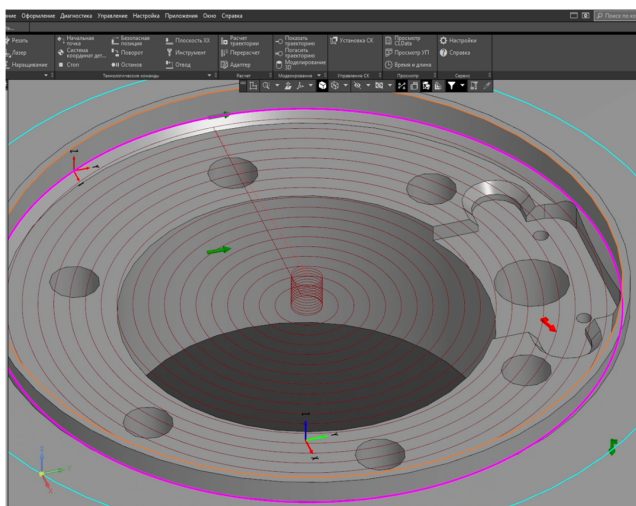


Рис. 95. Спиральная траектория

После выставления глубины фрезерования 1 мм получаем конечный вид траектории (рис. 96).

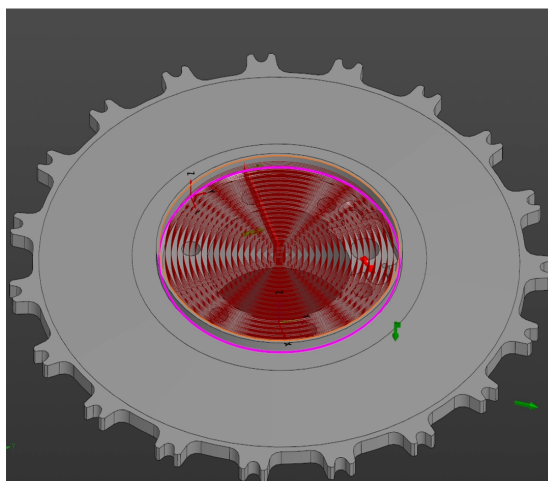


Рис. 96. Финальная траектория обработки

На рис. 97 представлена обработка более глубокой поверхности (область, выделенная зеленым цветом).

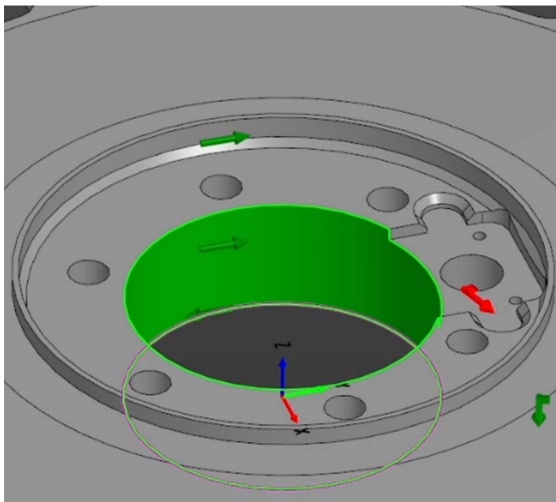


Рис. 97. Обрабатываемая область

После аналогичных операций получаем другой вариант траектории (рис. 98).

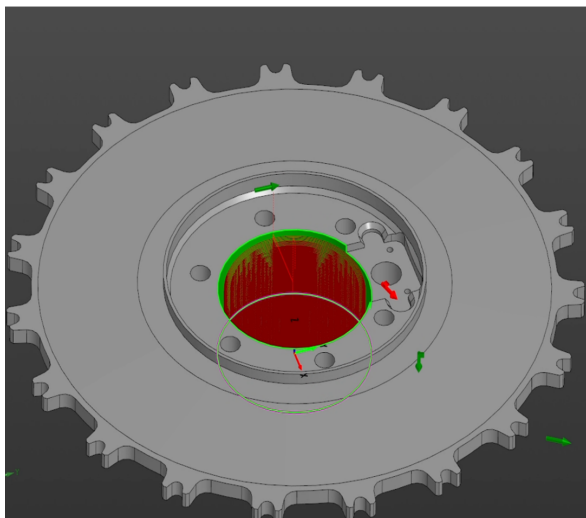


Рис. 98. Траектория обрабатываемого контура

«Колодец» является универсальной функцией, дающей возможность обрабатывать внутренние замкнутые области, ограниченные контуром, на заданную глубину. Некоторые операции выгоднее делать с помощью этой функции.

Тема 3.8. Выбор параметров фрезерования внешних контуров с помощью КЭ «стенка»

На звезде есть зубья, которые необходимо обработать. Для начала необходимо узнать их высоту, сделать это проще всего через эскиз (рис. 99).

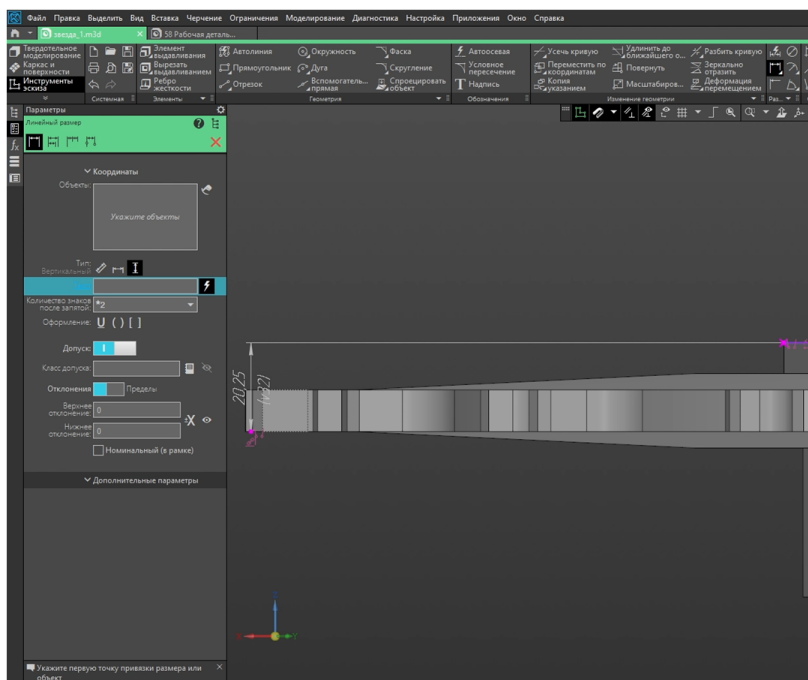


Рис. 99. Расчёт высоты зубьев

Для обработки зубьев воспользуемся КЭ «стенка». Сначала на эскизе выбираем в верхней панели управления пункт «Спроецировать объект» (рис. 100).

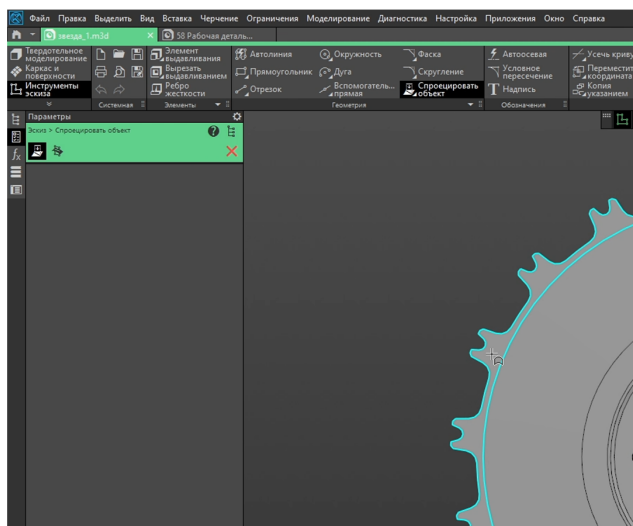


Рис. 100. Проецирование контура для заготовки

После проецирования помимо нужного контура образовался лишний (рис. 101). Удалим его в эскизе.

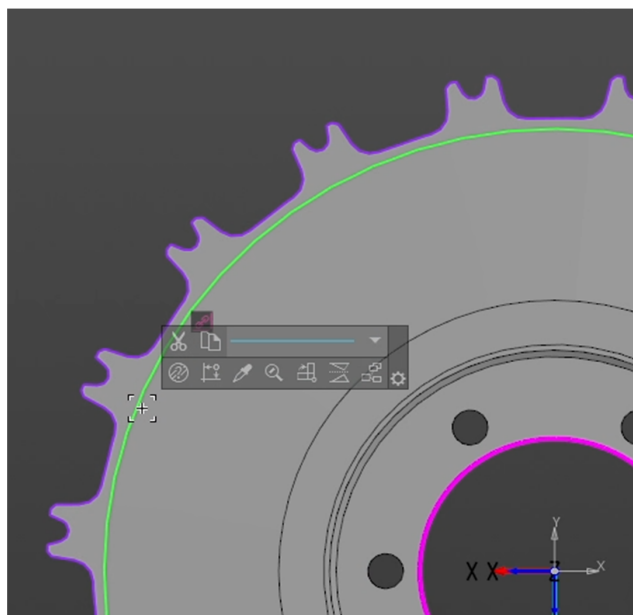


Рис. 101. Лишний контур

Сохраненный эскиз будет использован как контур для стенки (рис. 102).

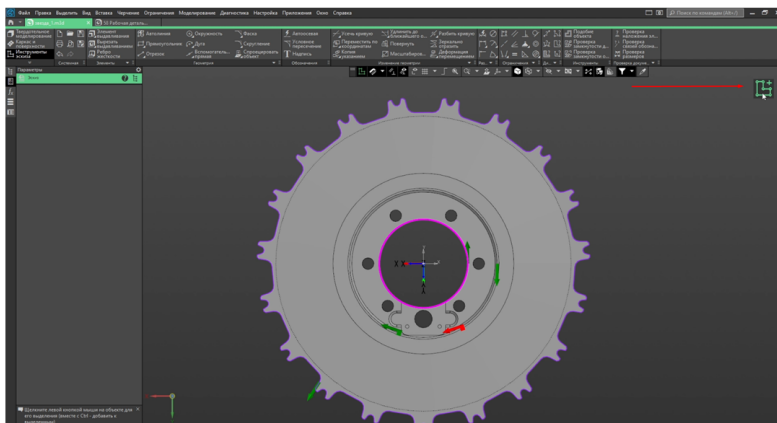


Рис. 102. Итоговый вид эскиза

Снова выбираем функцию «Фрезеровать 2.5х». Во вкладке «Параметры» выбираем КЭ «стенка», нажимаем на три стрелочки вправо (рис. 103).

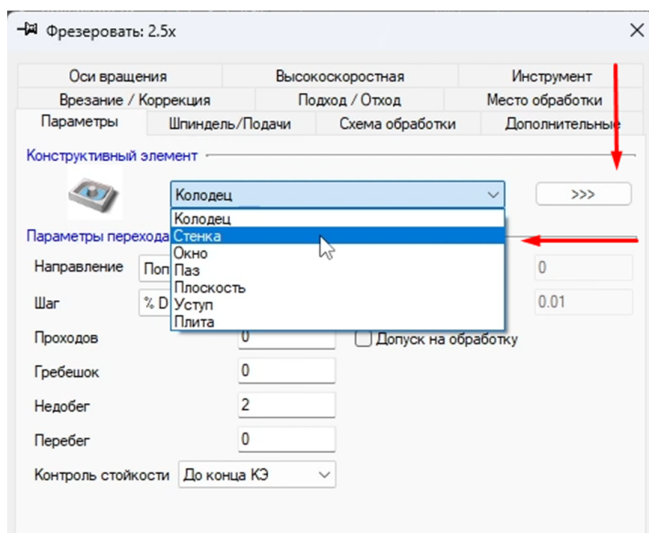


Рис. 103. Выбор конструктивного элемента «стенка»

После этого во вкладке «Добавить» выбираем созданный эскиз в качестве обрабатываемого контура (рис. 104).

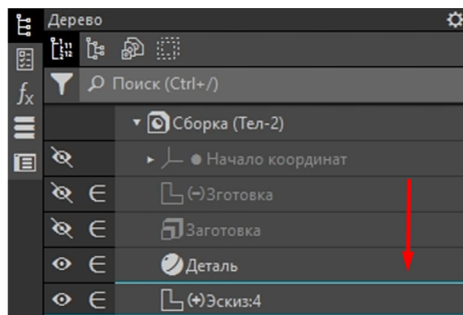


Рис. 104. Выбор эскиза в качестве контура

Сохраняем результат, нажимая на зеленую галочку.

Далее добавляем систему координат КЭ, как было описано ранее, и выставляем необходимые нам значения. Задаём глубину обработки 20,25 мм, выставляя значение 0 в поле фрезеровки от плоскости дна КЭ (рис. 105).

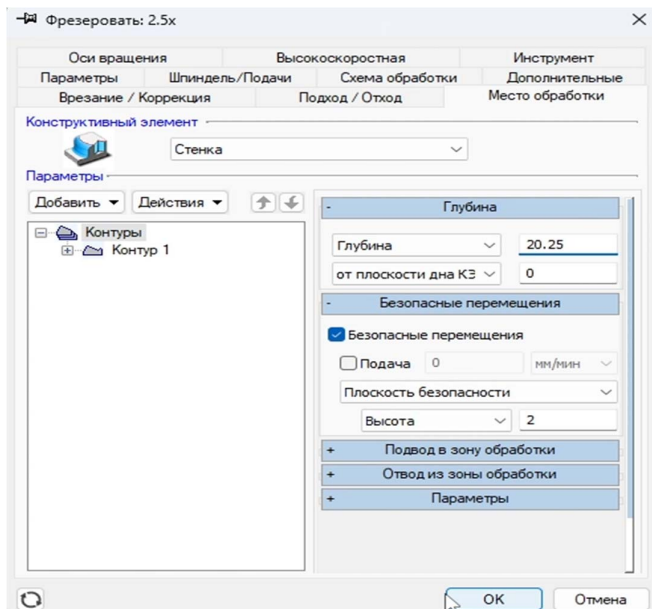


Рис. 105. Настройки для КЭ «стенка»

Затем следует обозначить зону заготовки. Для этого необходимо выбрать поверхность, определяющую заготовку (рис. 106).

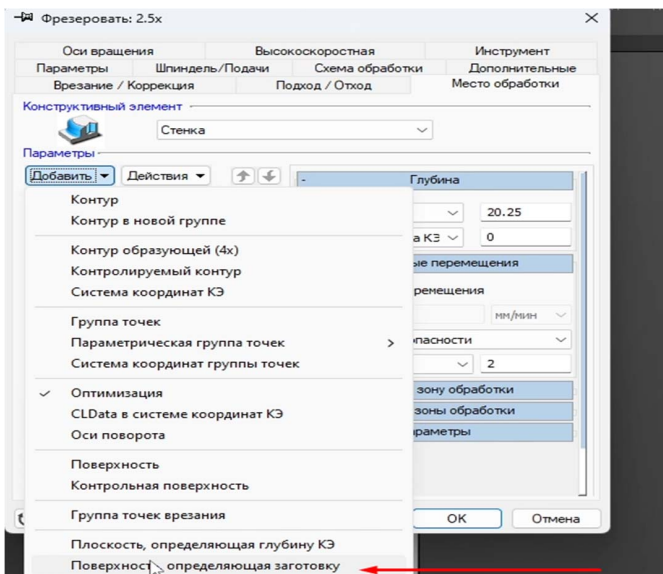


Рис. 106. Выбор поверхности, определяющей заготовку

В качестве заготовки выбираем созданный ранее объект с названием «Заготовка» (рис. 107).

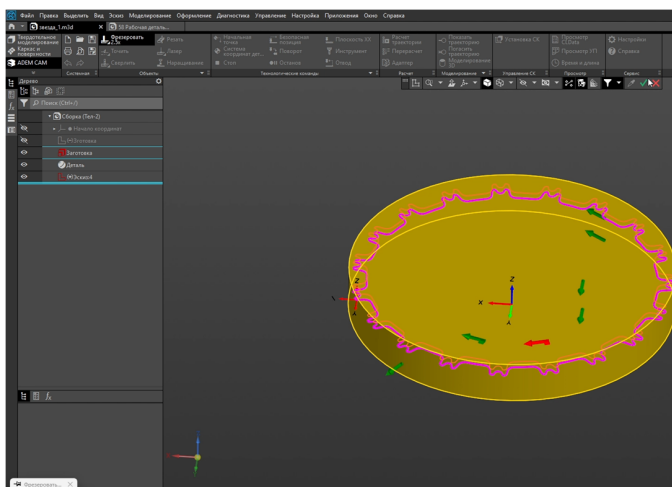


Рис. 107. Выбор тела для заготовки

После выбора заготовки можно приступить к расчёту траектории. Для этого нужно нажать на «Расчет траектории», как ранее мы уже делали с первым отверстием, после чего слева появится шкала выполнения этой операции. Данный процесс может занять длительное время. По окончании процесса на детали должна отобразиться траектория с учётом заготовки (рис. 108).

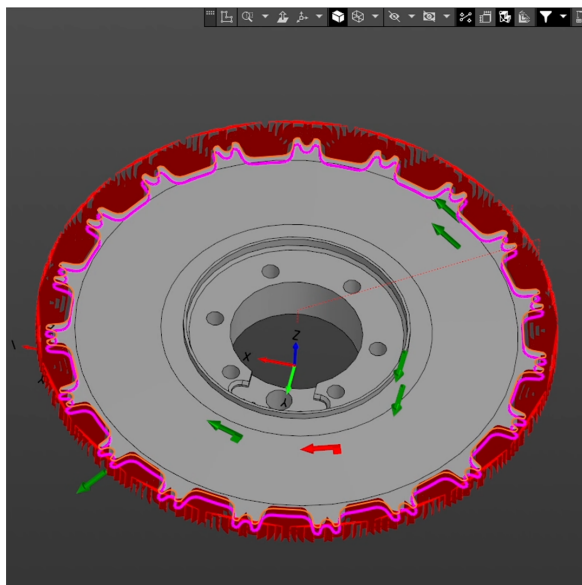


Рис. 108. Траектория для операции «стенка»

Команда «Показать УП» вызовет появление на экране G-кода для данной операции.

Тема 3.9. Выбор параметров фрезерования с помощью КЭ «Уступ»

Следующим элементом для обработки будет выемка на детали (рис. 109).

Уже по знакомому алгоритму заходим в раздел «Фрезеровать 2.5х», в настройках выбираем КЭ «Уступ», жмем «Далее» (три стрелочки вправо) (рис. 110).

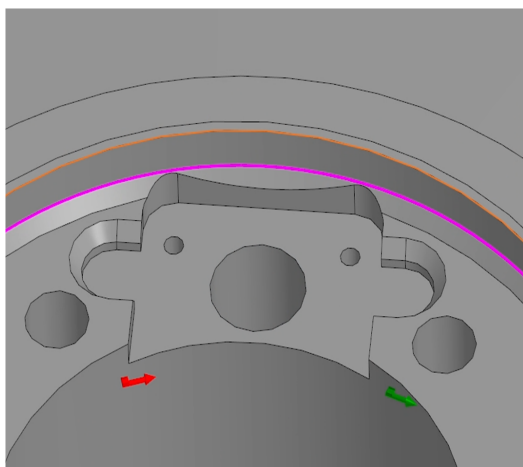


Рис. 109. Выемка

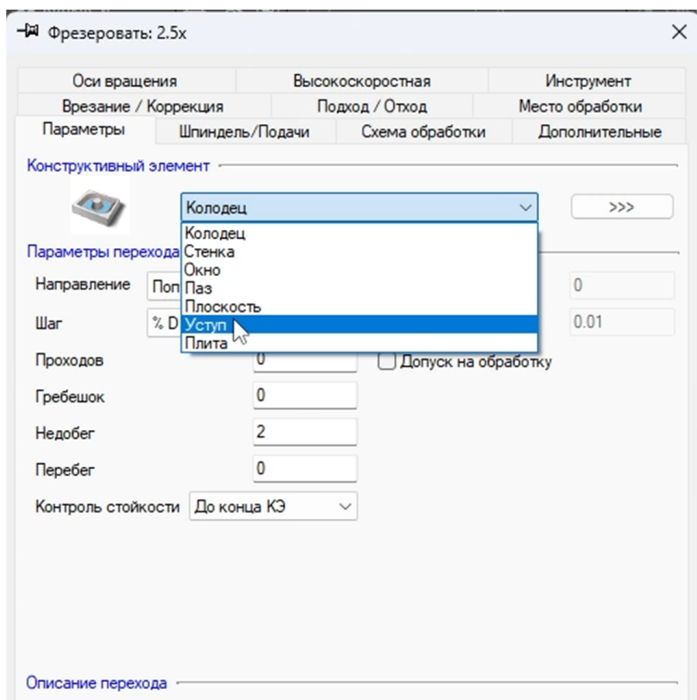


Рис. 110. Выбор КЭ «Уступ»

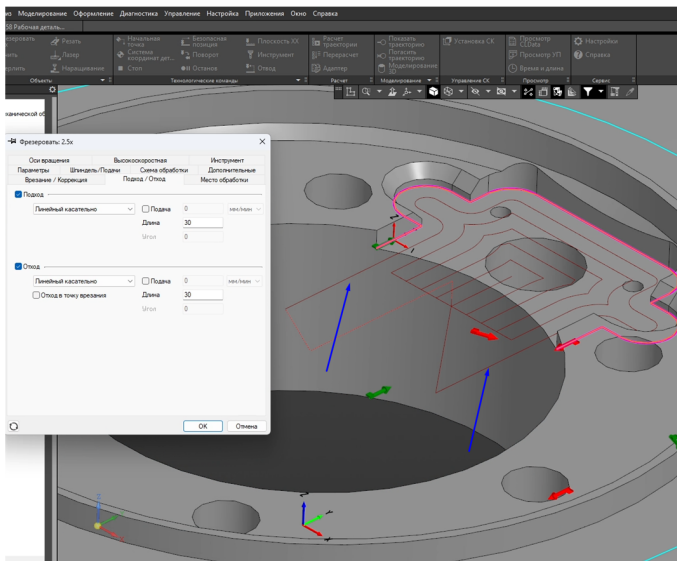


Рис. 111. Выбор параметров подхода и отхода

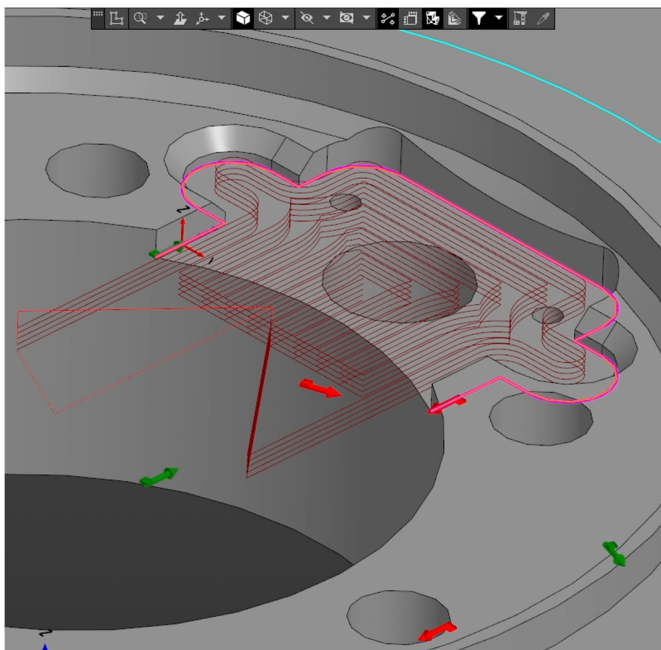


Рис. 112. Общий вид траектории для КЭ «Уступ»

Далее добавляем «Контур» и выделяем его аналогично тому, как это было сделано на предыдущей операции, убирая лишние элементы. Выбираем контур и сохраняем нажатием на зеленую галочку (более подробно данная операция была описана выше). Также не забываем добавить систему координат КЭ.

Следующий важный шаг — задать параметры во вкладке «Подход/Отход». Вид подхода и отхода линейный, длина 30 позволит избежать столкновения фрезы с диаметром 10 мм с заготовкой. Подход и отход на рис. 111 отмечены двумя синими стрелками.

Зададим высоту прохода 1 мм, после чего сформируется окончательная траектория обработки (рис. 112).

Разница между «стенкой» и «уступом» в том, что КЭ «Стенка» всегда строит траекторию снаружи контура, который мы обозначили, а КЭ «Уступ» — внутри контура.

Тема 3.10. Выбор параметров фрезерования фасок заготовки

Для обработки фаски необходимо создать фасочную фрезу. Для этого нажимаем на «Инструмент» в верхнем меню (рис. 113).

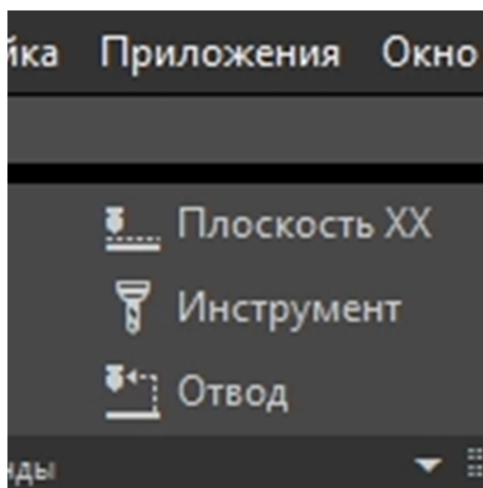


Рис. 113. Выбор инструмента

В открывшемся меню создания инструмента выбираем инструмент «Фреза», вид «коническая» и справа в меню задаем ее параметры: длину режущей части 3, длину 10 и угол 45 (рис. 114), после чего нажимаем «ОК», таким образом сохраняем наш инструмент.

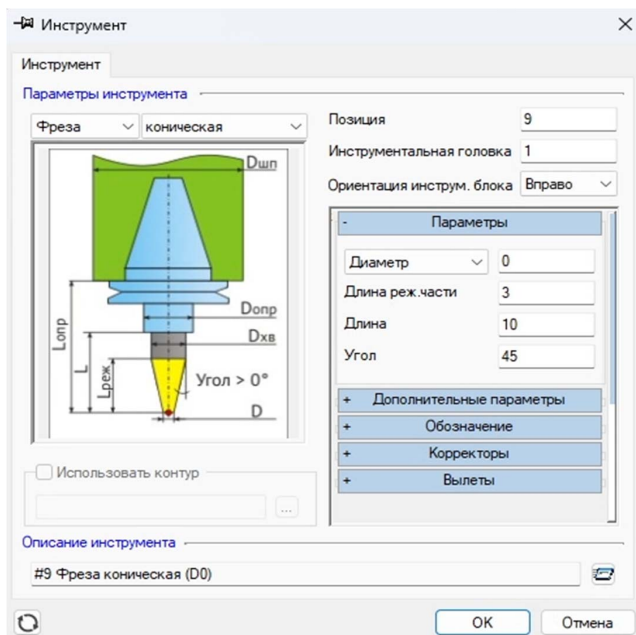


Рис. 114. Выбор параметров для фасочной фрезы

Для фрезерования фаски нам необходимо открыть уже знакомый раздел «Фрезеровка: 2.5х», где на вкладке «Параметры» выставляем обязательно в пункте «Проходов» значение 1 и нажимаем «Далее» – уже знакомые три стрелочки (рис. 115).

В качестве конструктивного элемента выбираем «Окно», задаем контур и прописываем значения глубины и высоты (рис. 116).

Рассмотрим перенос инструмента на примере фрезы. Необходимо выделить нужный нам инструмент, скопировать его комбинацией $\text{Ctrl} + \text{C}$ (рис. 117).

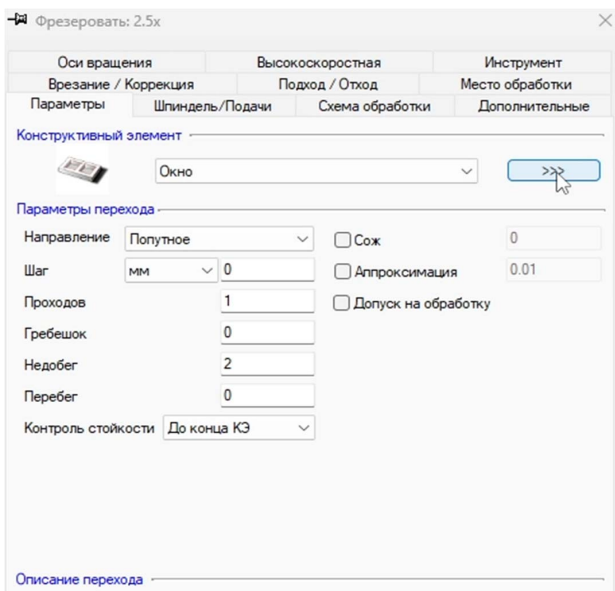


Рис. 115. Настройка параметров фрезы

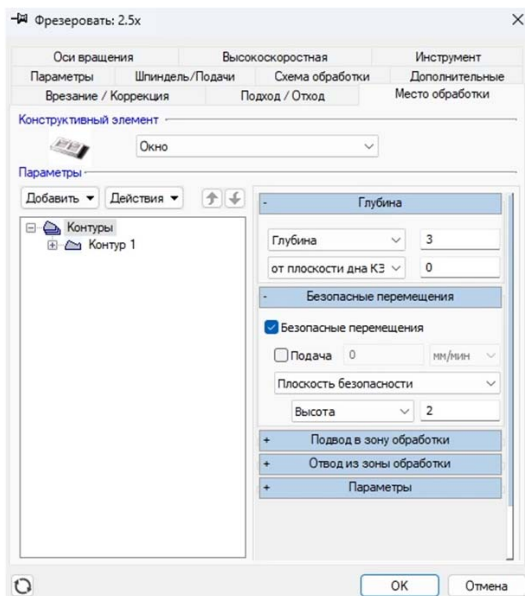


Рис. 116. Выбор параметров зоны обработки

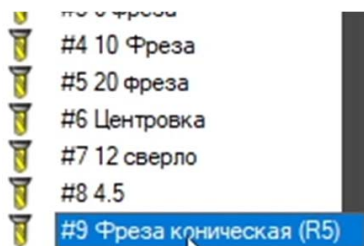


Рис. 117. Выбор фрезы

В разделе «ADEM CAM.Маршрут» выбираем необходимое место (в нашем случае «Окно») и вставляем его через Ctrl + V (рис. 118).

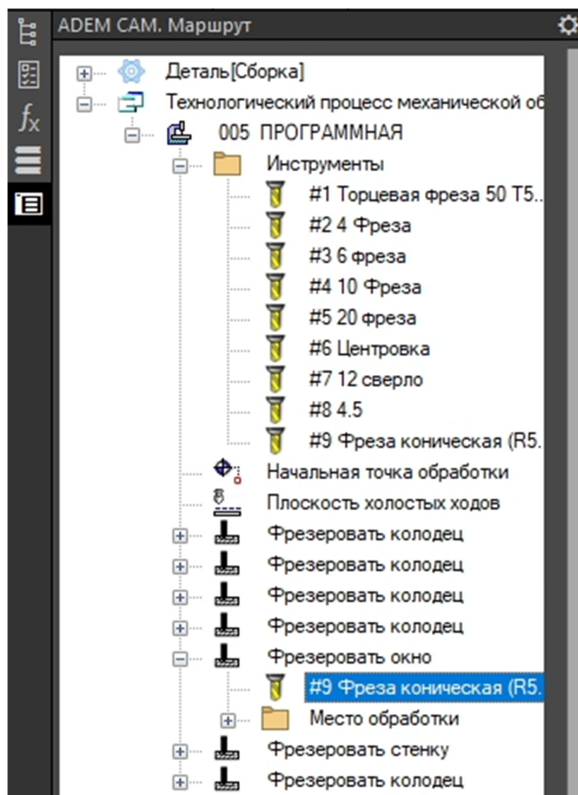


Рис. 118. Инструмент для КЭ «Окно»

После всех настроек и выставления фасочной фрезы можно приступить к фрезеровке по траектории (рис. 119).

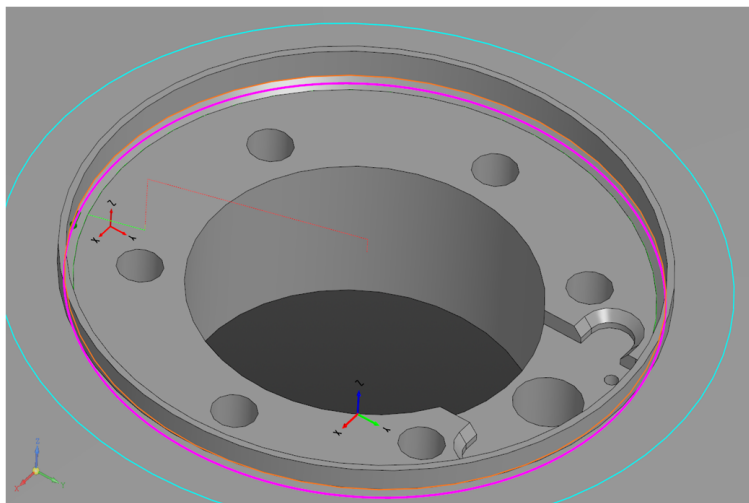


Рис. 119. Конечная траектория обработки фаски

Как видно из примера, КЭ «Окно» является универсальным инструментом, который может передвигаться по контурам, заданным через эскиз.

Тема 3.11. Выбор параметров обработки отверстий

Для сверления отверстий сначала необходимо задать центры: в верхнем меню выбрать операцию «Сверлить», в открывшемся списке выбрать пункт «Центровать» (рис. 120).

На вкладке «Место обработки» в открывшемся меню настройки «Параметры» нажимаем «Добавить» и выбираем КЭ «Отверстие» (рис. 121).

Параметры отверстия задаются в диалоге «Отверстие». Затем нажимаем на зеленую галочку – сохраняем (рис. 122).

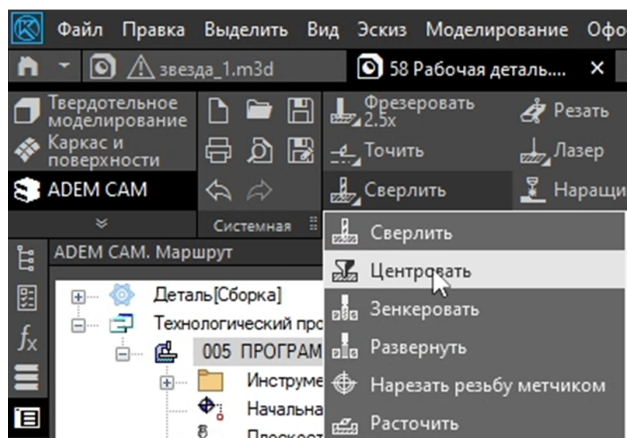


Рис. 120. Выбор операции «Сверлить»

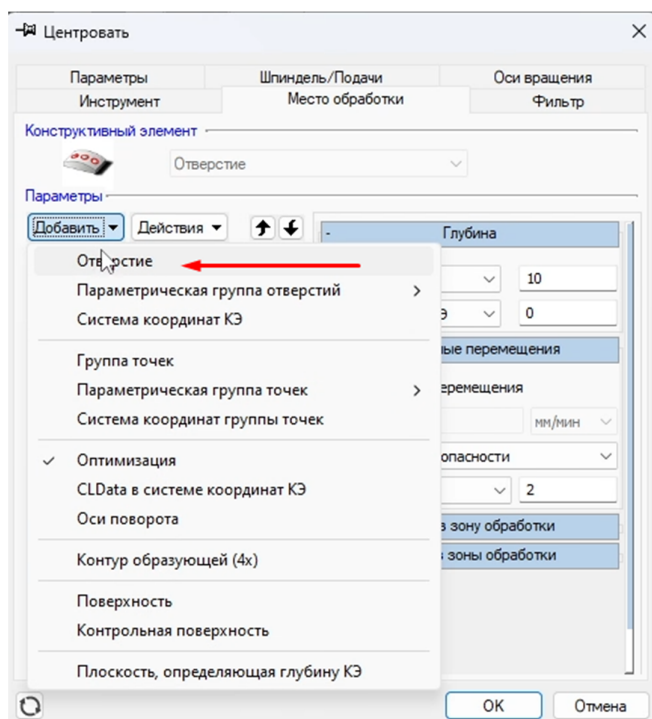


Рис. 121. Выбор отверстия

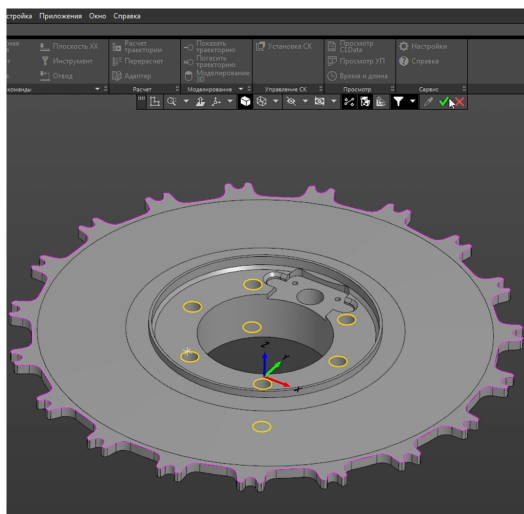


Рис. 122. Группа отверстий

Далее снова откроем меню настроек и выставим систему координат КЭ, как делалось ранее. Выставляем глубину 2, от плоскости КЭ – 0, нажимаем «ОК» – сохраняем. После этого задаем инструмент, как мы рассматривали это ранее, и рассчитываем траекторию. В итоге получаем траекторию для центрования (рис. 123).

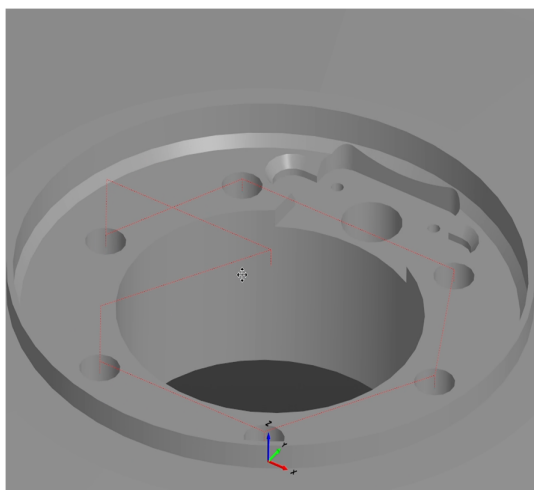


Рис. 123. Траектория для центровки

Следующий шаг – сверление, для этого в верхнем меню выбираем «Сверлить» и в общем списке также выбираем «Сверлить». На вкладке «Место обработки» добавляем «Отверстия» точно так же, как было описано выше. Выставляем систему координат КЭ: глубина 40, высота плоскости безопасности 2 (рис. 124).

Теперь необходимо перейти на вкладку «Параметры», поставить галочку в пункте «Многопроходная обработка» и чуть ниже этой галочки, в поле «Многопроходная обработка» задать значение 3, в поле «Вывод» – 3, после чего жмем «ОК» (рис. 125).

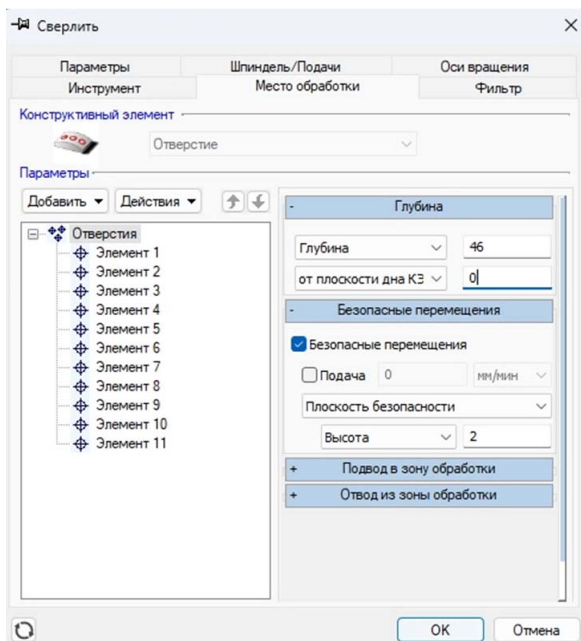


Рис. 124. Настройки сверления

Многопроходная обработка необходима в связи с тем, что при сверлении вертикально вниз имеется риск забить сверло восходящей стружкой, что в свою очередь приведет к заклиниванию и поломке сверла.

В нашем случае глубина 3 – это глубина, на которую сверло заходит за раз, а вывод – высота, на которую сверло поднимает стружку и выводит ее на поверхность.

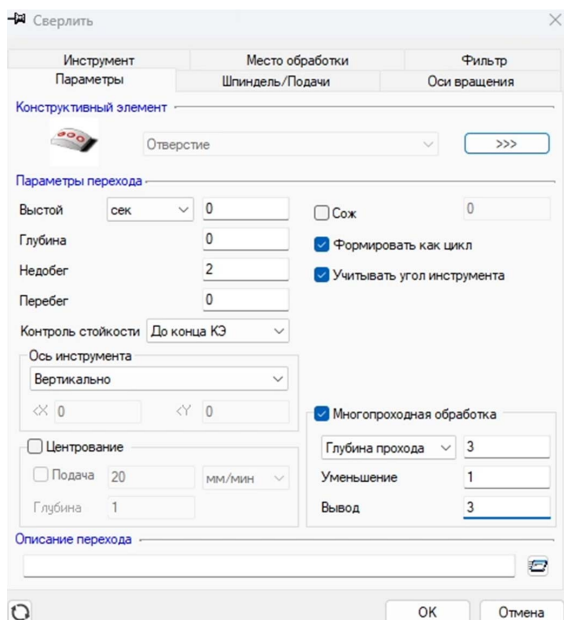


Рис. 125. Настройки многопроходной обработки

Затем по стандарту рассчитываем траекторию и проверяем корректность всех настроек, полученный результат сверяем с рис. 126.

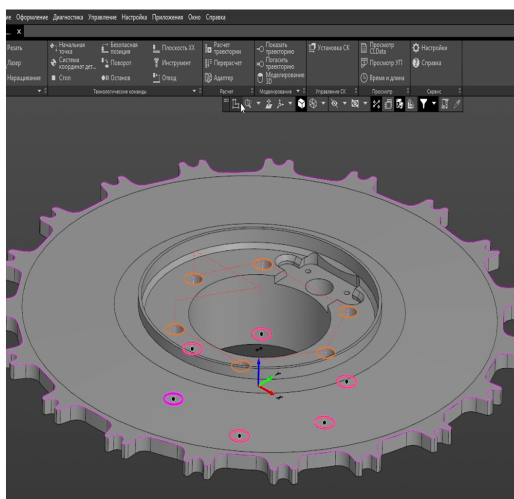


Рис. 126. Траектория сверления, конечный вид

Перед сверлением будущее отверстие сначала всегда центруется, а потом рассверливается. В ADEM CAM предусмотрена функция автоматической центровки, представленная на вкладке «Параметры».

Выводы по разделу 3

По результатам проектирования процедур разработки программной фрезерной обработки детали «звезда» в ADEM CAM можно сделать несколько ключевых выводов:

1. Важно заранее создать точную 3D-модель детали «звезда». Это позволит правильно настроить параметры обработки и минимизировать ошибки.

2. Определение типа и размера фрезы в ADEM CAM играет ключевую роль для достижения желаемого качества обработки. Необходимо учитывать материал детали и предполагаемые режимы резания.

3. ADEM CAM предоставляет разнообразные стратегии механической обработки, такие как контурная обработка, фасонная обработка и фрезерование по траектории. Выбор подходящей стратегии позволит оптимизировать процесс и сократить время обработки.

4. Важно правильно установить параметры резания: скорость, подачу и глубину реза. Это может значительно повысить срок службы инструмента и качество поверхности детали.

5. Использование функции симуляции в ADEM CAM позволяет предотвратить возможные столкновения и другие проблемы до начала реальной обработки.

6. Важно корректно настроить постпроцессор для получения кода для станков с ЧПУ. Это включает как задание координат, так и учёт специфических настроек станка.

7. После завершения программирования необходимо создать документацию для контроля качества обработки и дальнейшего использования программы.

Таким образом, программирование фрезерной обработки детали в ADEM CAM позволяет проработать процедуры на каждом этапе – от моделирования и выбора инструмента до настройки параметров станка с ЧПУ и виртуальной симуляции. Это позволит

получить качественный результат и повысить эффективность подготовки операций производственного процесса в условиях реального предприятия.

Контрольные вопросы по разделу 3

1. Каковы особенности создания точной 3D-модели детали «звезда» и что является критически важным фактором в процессе разработки программы по изготовлению данной детали?
2. Какие методы можно использовать для проверки точности 3D-модели перед началом обработки?
3. Как правильно определить тип и размер фрезы для обработки детали «звезда» в ADEM CAM?
4. Какие факторы влияют на выбор материала фрезы при обработке детали?
5. В чём заключаются преимущества различных стратегий механической обработки, представленных в ADEM CAM?
6. Как выбрать подходящую стратегию обработки для детали «звезда» в зависимости от ее геометрии?
7. Какие параметры резания наиболее важны при настройке системы обработки в ADEM CAM?
8. Как скорость резания влияет на срок службы инструмента и качество поверхности?
9. Какие последствия могут возникнуть в результате неправильной настройки параметров подачи и глубины реза?
10. Как функция симуляции в ADEM CAM помогает предотвратить столкновения и прочие проблемы?
11. Что следует учитывать при настройке постпроцессора для станков с ЧПУ?
12. Как документация, созданная после завершения программирования, помогает в контроле качества обработки?
13. Как выбор неправильной стратегии обработки может повлиять на общую эффективность производственного процесса?
14. Какие дополнительные инструменты и программы можно использовать для повышения точности фрезерной обработки?

15. Как ADEM CAM поможет оптимизировать время обработки детали «звезда»?
16. Кто отвечает за настройку каждого из этапов проработки процедур механической обработки в ADEM CAM?
17. Какие шаги необходимо предпринять для создания эффективного рабочего процесса в ADEM CAM?
18. Как можно оценить качество обработки детали «звезда» после завершения фрезерной операции?
19. Какие новые технологии и тренды в области CAM могут повлиять на процесс обработки в будущем?
20. Как вы оцениваете успех программирования фрезерной обработки детали «звезда» в контексте достижения производственных целей?

Раздел 4. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ «КРЕПЁЖ» В АДЕМ

В данном разделе будут рассмотрены технологические процессы токарной обработки детали «крепеж» (прил. В).

Тема 4.1. Выбор параметров позиционирования заготовки

Сперва создадим заготовку. Для того чтобы узнать ее размер, создадим эскиз на плоскости XY и снимем размеры через функцию «Линейный размер» (рис. 127).

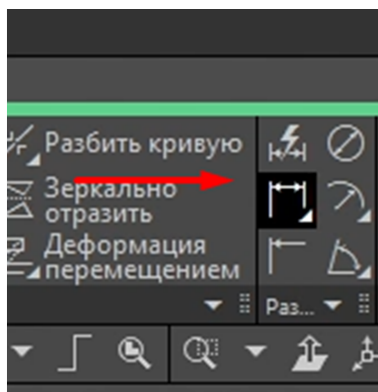


Рис. 127. Линейный размер

Измеряем нашу деталь, ее длина составляет 120 мм, а высота по Y соответствует радиусу в 20 мм (рис. 128).

Заготовку создаем в виде эскиза, она будет иметь следующие размеры: 130 – длина, 25 – высота (рис. 129).

Следующий шаг – внести эскиз детали в заготовку. Для этого нажимаем «Технологические команды», а в открывшемся меню выбираем пункт «Заготовка» (рис. 130).

В левом верхнем углу в появившемся меню выбираем в способе задания «Контур», ставим галочку в чекбоксе «Тело вращения» и нажимаем «С экрана» (рис. 131).

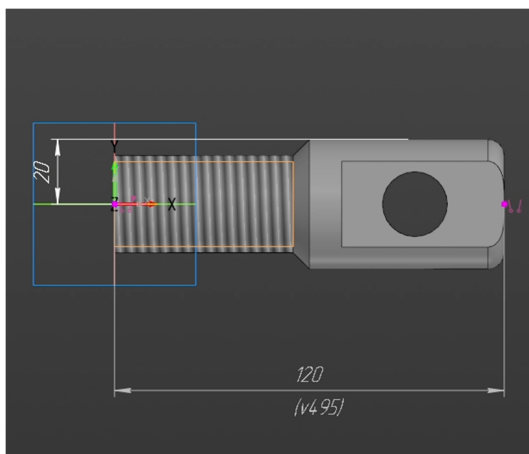


Рис. 128. Размеры детали «крепёж»

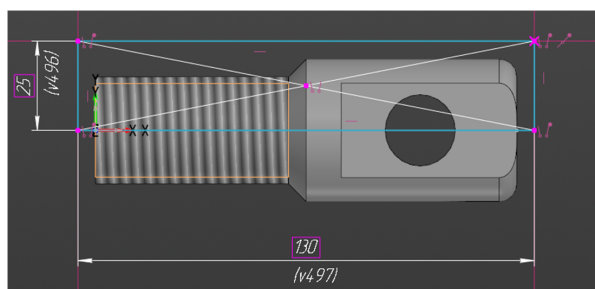


Рис. 129. Эскиз заготовки

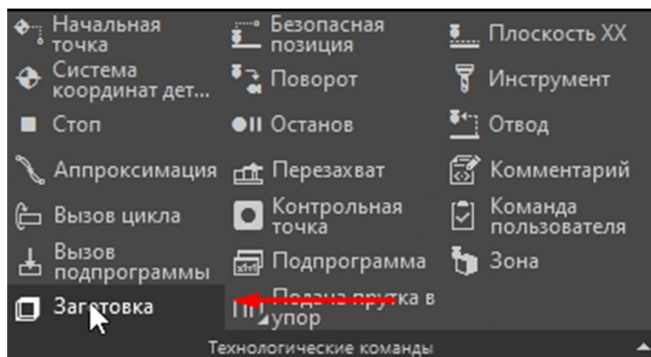


Рис. 130. Выбор объекта «Заготовка»

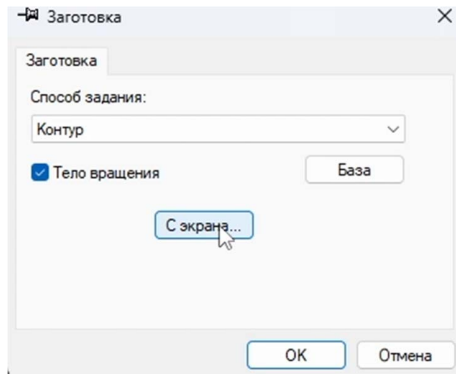


Рис. 131. Работа на вкладке «Заготовка»

Переходим в дерево, выбираем эскиз кнопкой мыши и нажимаем на зеленую галочку (рис. 132).

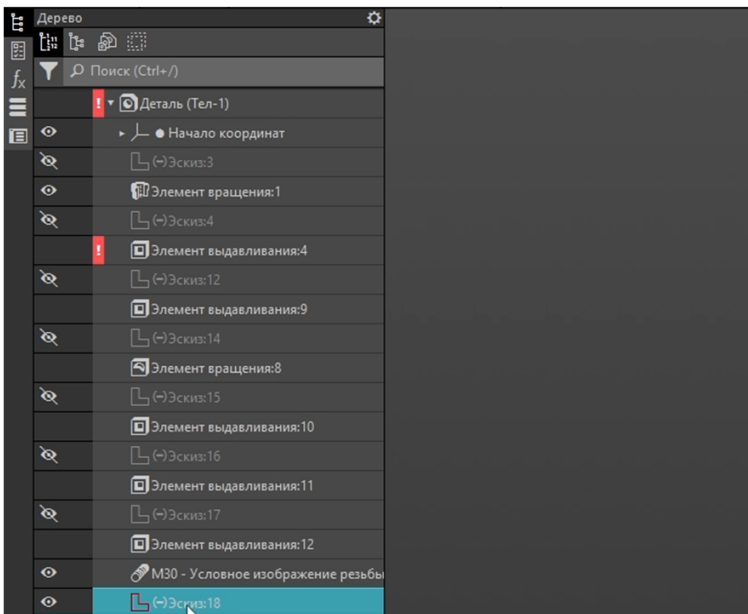


Рис. 132. Выбор эскиза для заготовки

Снова в левом верхнем углу появляется меню. Ставим галочку в пункте «Тело вращения» и нажимаем «ОК». Заготовка сформирована (рис. 133).

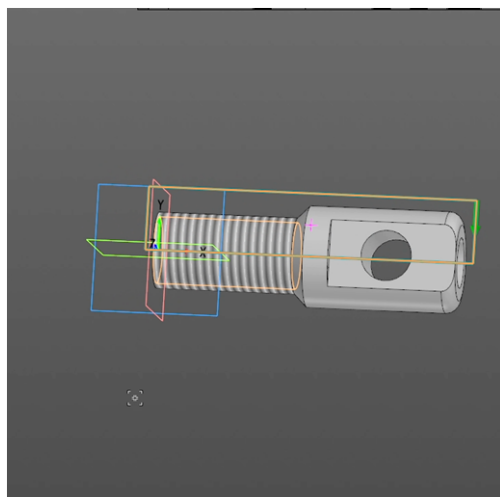


Рис. 133. Эскиз заготовки на детали

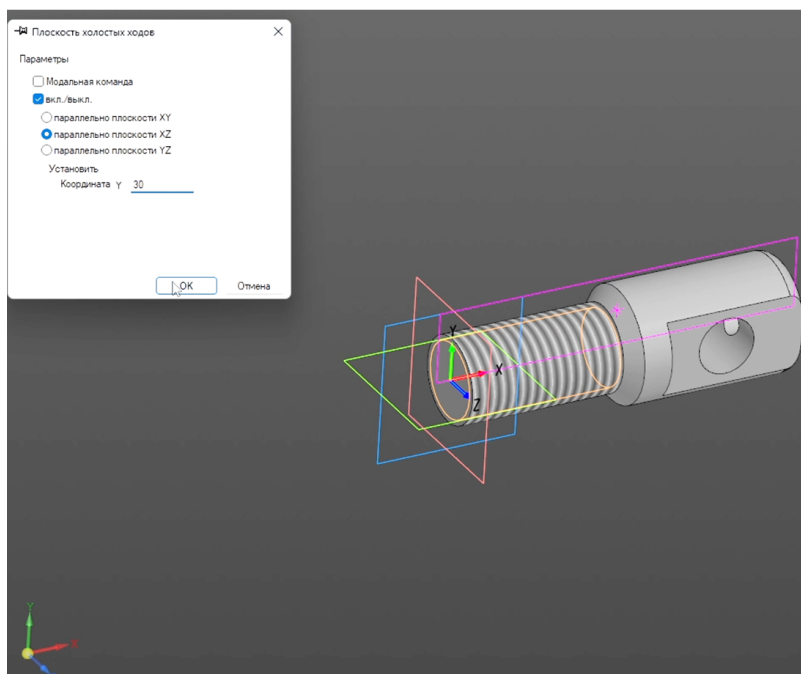


Рис. 134. Выбор плоскости холостых ходов

Зададим начальную точку: по координате Y выставляем значение 40, а безопасная позиция по координате Y – 30. Следующий шаг – нажимаем на «Плоскость XX», ставим галочку на «вкл./выкл.», таким образом включаем эту настройку, выбираем строку «параллельно плоскости XZ» и ждем «ОК» (рис. 134).

Так как контур является эскизом, то всегда можно изменить размер заготовки с перерасчётом всех последующих маршрутов.

Тема 4.2. Выбор параметров точения торца

Первым делом снимем 5 мм с торца детали (выделена зеленым цветом) (рис. 135). Для этого сточим торец.

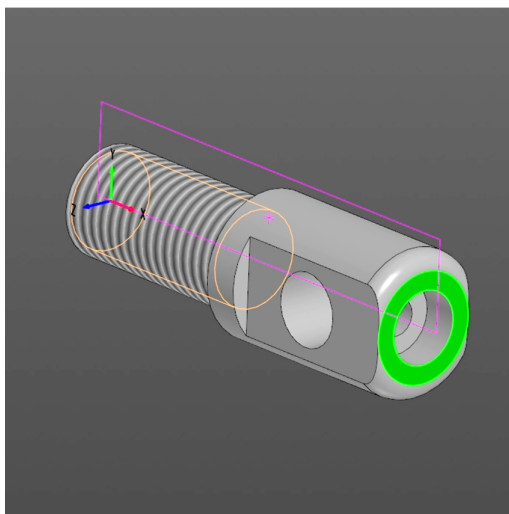


Рис. 135. Зона обработки торца

Нажимаем на кнопку «Точить», в открывшемся списке выбираем пункт «Подрезать» (рис. 136).

Выставляем необходимые настройки: ставим галочку на пункте «Многопроходная обработка», заполняем поля «Глубина» (1) и «Проходов» (5). После чего ждем «Далее» (рис. 137).

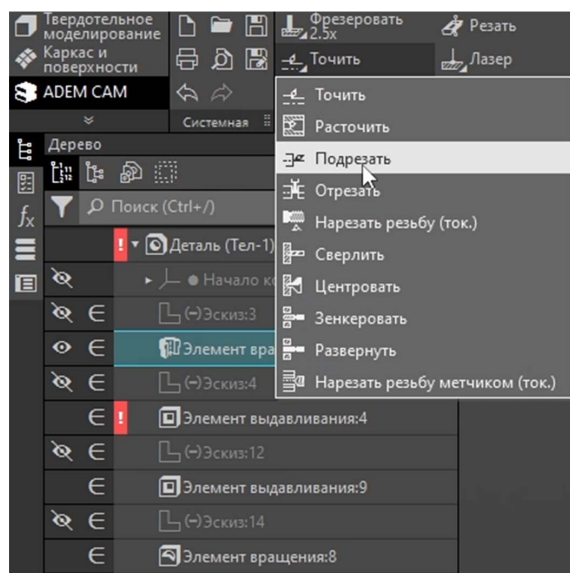


Рис. 136. Выбор функции «Подрезать»

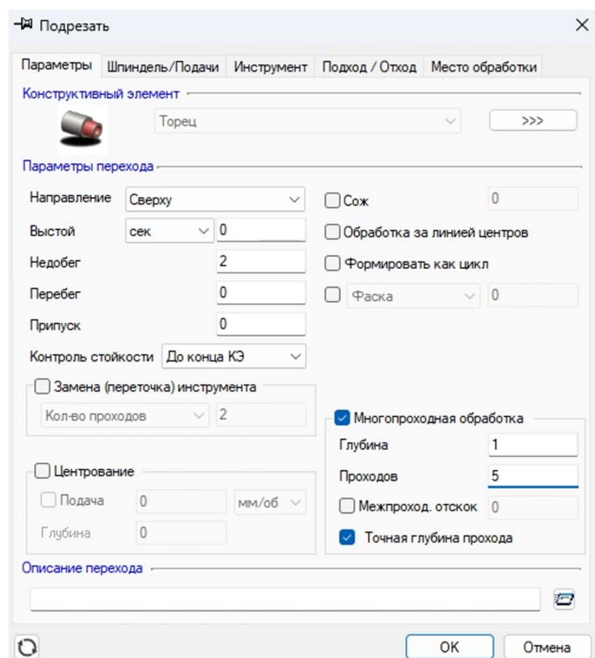


Рис. 137. Настройки для торцевания

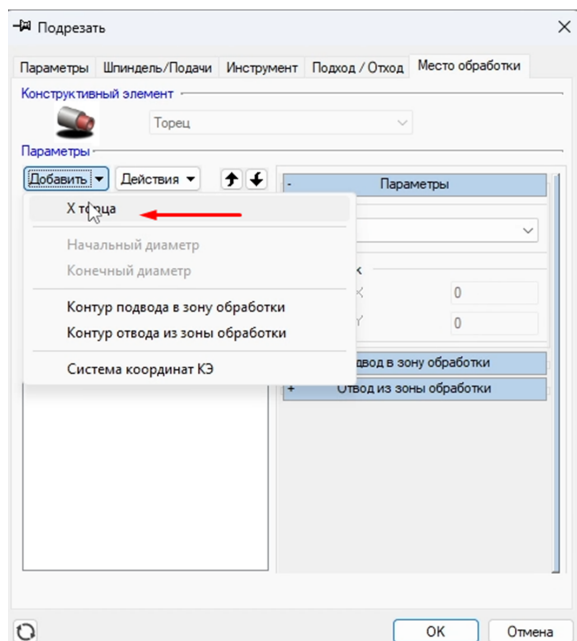


Рис. 138. Выбор зоны торцевания

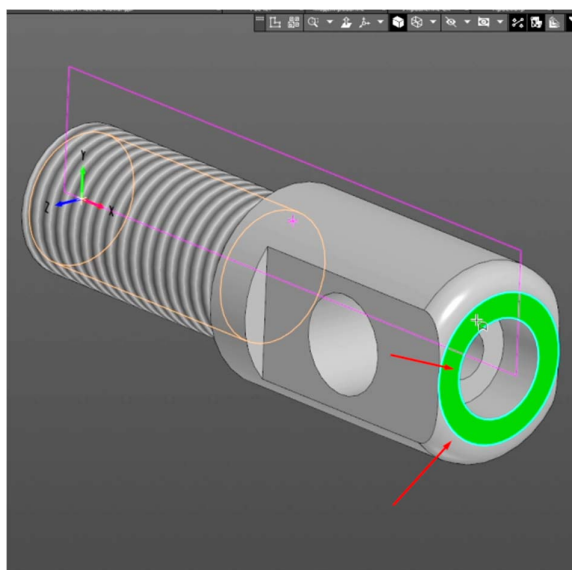


Рис. 139. Выбор зоны обработки

В окне «Место обработки» нажимаем «Добавить» и в открывшемся списке выбираем «Х торца» (рис. 138).

Отмечаем координату X торца: стрелками указаны окружности, которые необходимо выделить (подсвечены голубым цветом на рис. 139).

Создадим режущий инструмент. На вкладке «Инструмент» выбираем «Резец». Все настройки оставляем стандартными, кроме угла ориентации. В меню «Параметры» в поле «Ориентация» меняем значение на 45 градусов, чтобы резец повернулся. Нажимаем «ОК» (рис. 140).

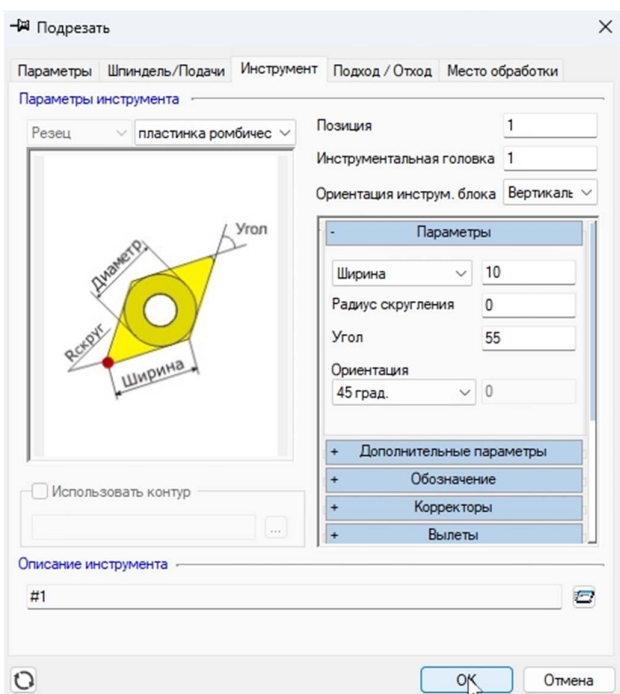


Рис. 140. Создание режущего инструмента

Сформировав все необходимые элементы, приступим к расчёту траектории (рис. 141).

С помощью эскиза можно нарисовать траекторию подхода к сложным элементам детали. Этот параметр задаётся в меню «Место обработки» с помощью функции «Добавить».

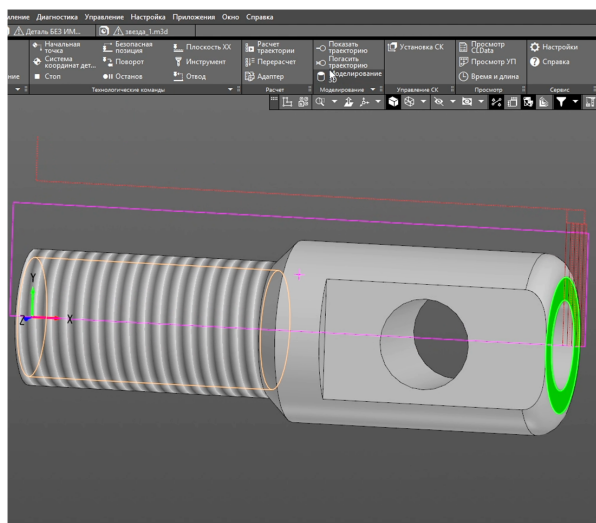


Рис. 141. Траектория торцевания

Тема 4.3. Выбор параметров точения контура детали

Следующая операция, которую необходимо выполнить, — сто-чить контур заготовки, чтобы она соответствовала размеру детали. Для этого в верхнем меню нажимаем «Точить» и общем списке также выбираем «Точить» (рис. 142).

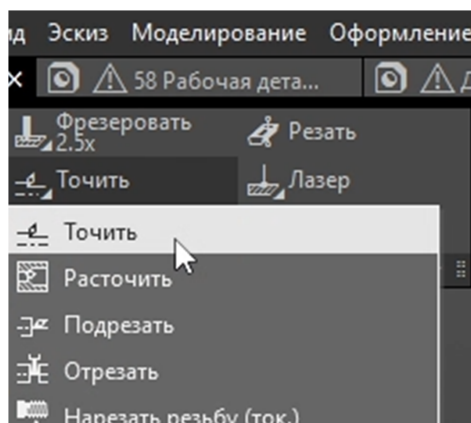


Рис. 142. Выбор ТО точения

Переходим на вкладку «Место обработки» и добавляем «Контур» (рис. 143). Обработка выполняется по аналогии с фрезерными операциями по контуру, только для токарной обработки контур является проекцией детали, вдоль которой происходит обработка.

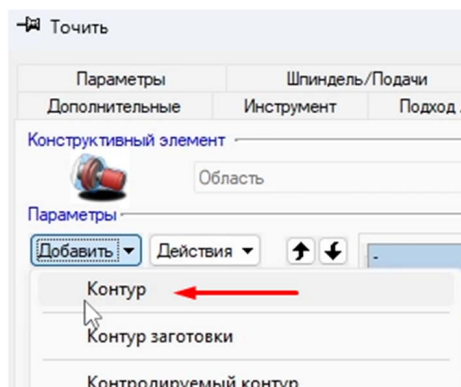


Рис. 143. Определение контура для точения

Сформируем контур по граням, для этого в открывшемся слева меню раскрываем список параметров в разделе «Задание рёбрами» и убираем галочки с пунктов «Рёбра эскиза» и «Касательные рёбра эскиза» (рис. 144).

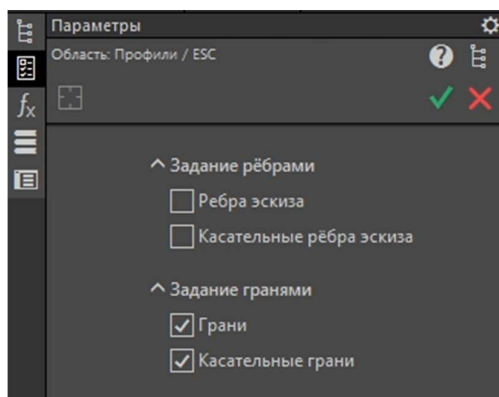


Рис. 144. Формирование контура

Грани, которые нам нужно выточить, выбираются автоматически (рис. 145).

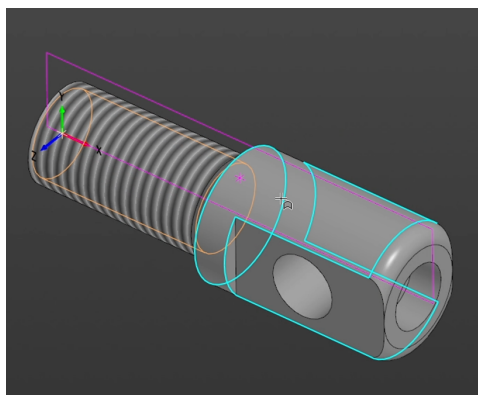


Рис. 145. Выбор граней

После этого у нас сразу откроется меню «Точить», здесь нам необходимо продлить контур обработки до конца детали. Для этого в разделе «Продление» мы ставим галочку в пункте «Конечная точка» и задаем значение конечной точки – 60 (рис. 146).

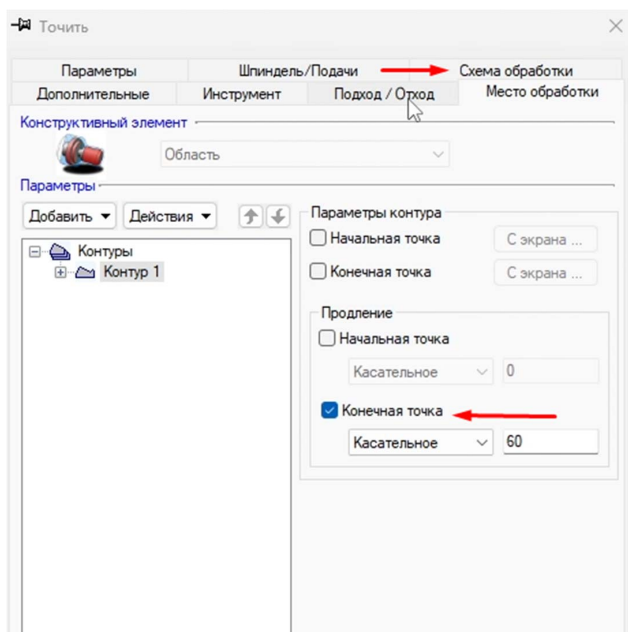


Рис. 146. Продление контура

Переходим на вкладку «Схема обработки». Здесь ставим галочку в пункте «Многопроходная обработка», выбираем ниже настройку «Глубина прохода» и выставляем значение 1. После этого зададим инструмент, перейдя на вкладку «Инструмент» (рис. 147).

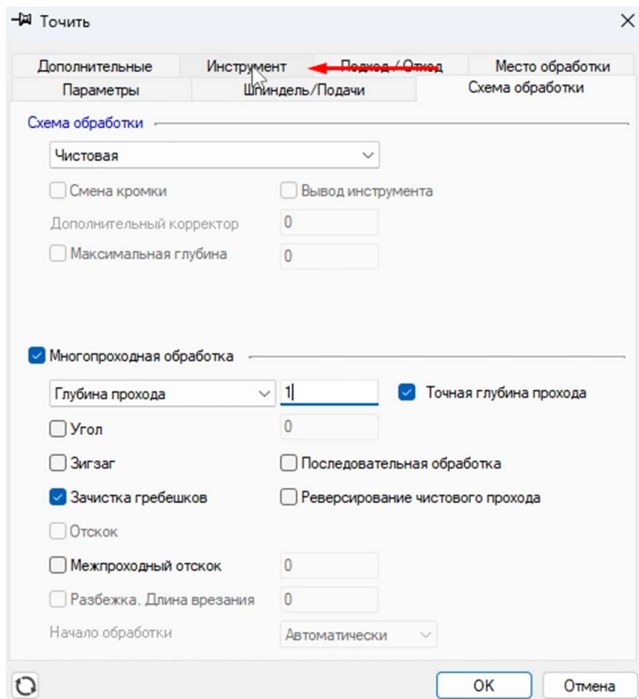


Рис. 147. Параметры схемы обработки

Во вкладке «Инструмент» выставляем следующие настройки: «Ширина» – 12, «Радиус скругления» – 0,4, «Угол» – 80, «Ориентация» – 45° и нажимаем «ОК» (рис. 148).

После выставления всех настроек рассчитываем траекторию уже знакомым нам методом. Полученная траектория идет вдоль всего контура и снимает верхний слой с заготовки (рис. 149).

Помимо увеличения конечного контура также можно увеличить начальный, что необходимо, когда фактическая заготовка имеет неровную форму.

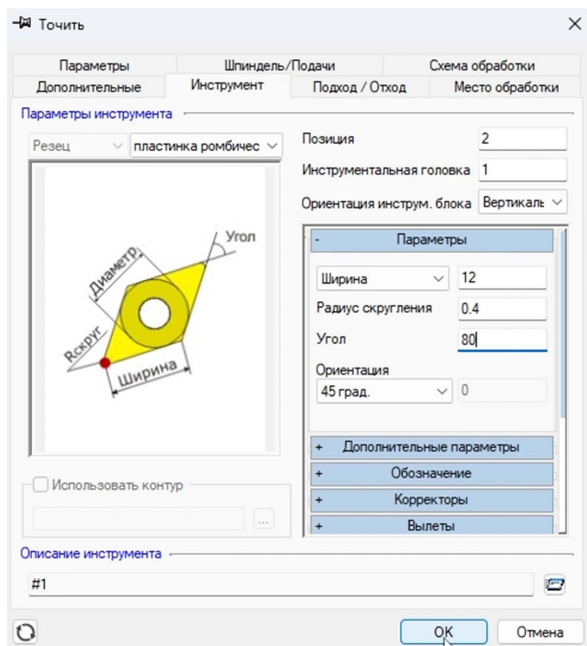


Рис. 148. Формирование режущего инструмента

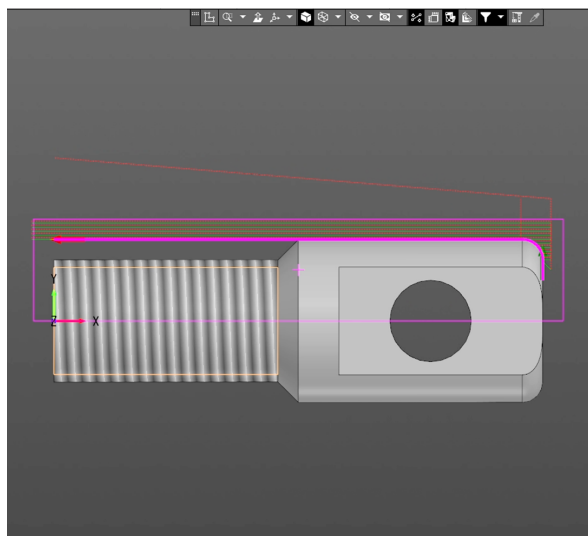


Рис. 149. Траектория точения

Тема 4.4. Выбор параметров фрезеровки лыски и фрезеровки отверстия

Обработка лысок (рис. 150) подразумевает задействование фрезерных операций, поэтому воспользуемся функциями фрезеровки.

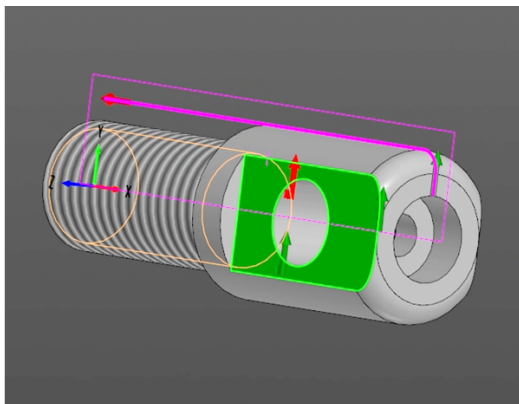


Рис. 150. Лыска

Выбираем «Фрезеровать 2.5х». В разделе «Конструктивный элемент» выбираем «Стенка», количество проходов устанавливаем равным 10 и нажимаем «Далее» (рис. 151).

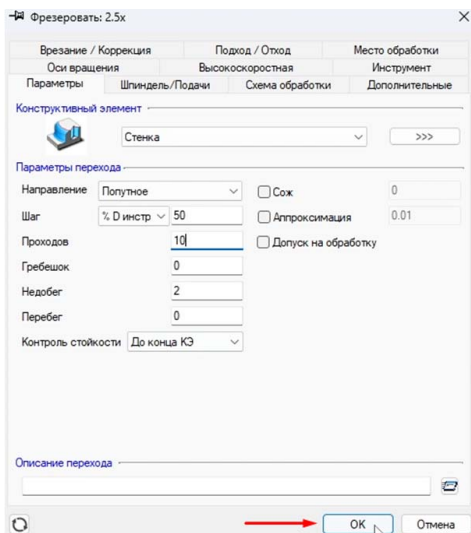


Рис. 151. Выбор КЭ «Стенка»

После этого на вкладке «Параметры» нажимаем «Добавить» и выбираем «Контур».

На детали выделяем нужную стенку курсором (подсвечен голубым цветом) и нажимаем на зеленую галочку (рис. 152).

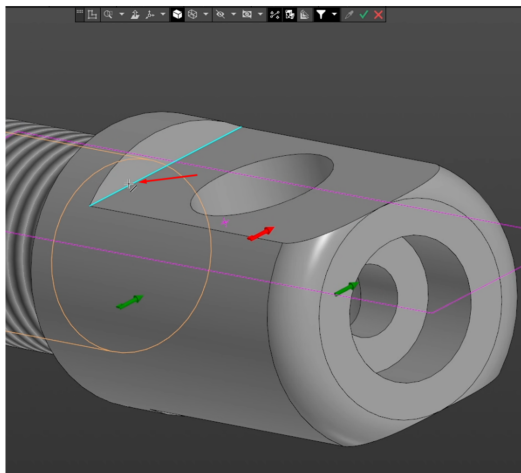


Рис. 152. Определение контура стенки

Затем формируем систему координат КЭ. В качестве точки возьмем сторону образующего контура (рис. 153).

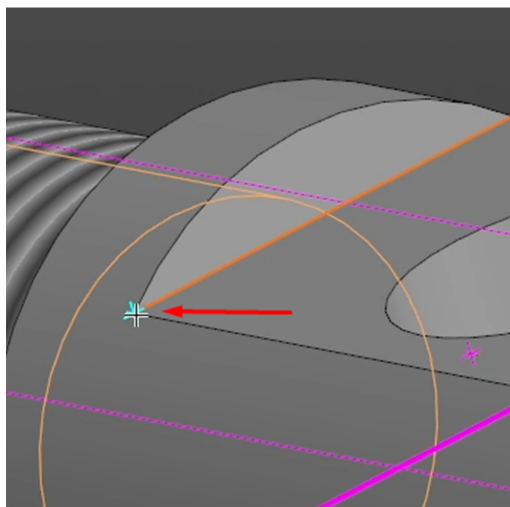


Рис. 153. Задание системы координат КЭ

Зададим систему координат конструктивного элемента так, чтобы обрабатываемая нами лыска лежала в плоскостях X и Y.

Для параметра «Глубина» выставим значение 5, а ниже выберем «от плоскости дна КЭ» и выставим значение 0, после чего перейдем на вкладку «Подход/Отход». И подход, и отход выставляем «линейный», а значение параметра «длина» задаем 12. Получаем траекторию многопроходной обработки по лыске (рис. 154).

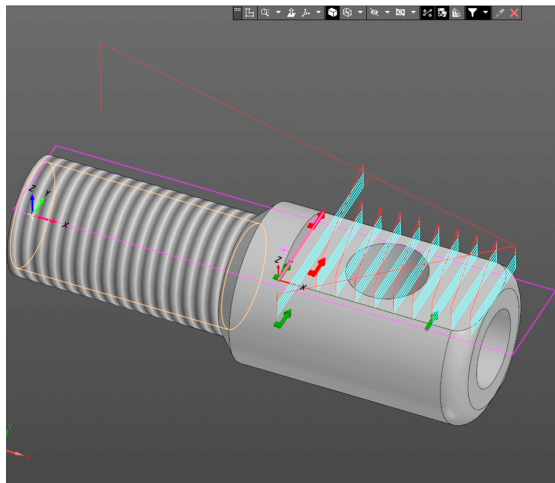


Рис. 154. Траектория КЭ «Стенка»

Помимо работы цилиндрической части фрезы можно настроить обработку торцом фрезы. Это, с одной стороны, позволит увеличить скорость обработки за счёт увеличения количества точек по поверхности соприкосновения, но с другой – даст радиусы на концах обрабатываемой детали.

Тема 4.5. Обработка отверстия с помощью КЭ «Колодец»

Для фрезеровки отверстия мы заходим в ADEM CAM, выбираем «Фрезеровать 2.5х», в общем списке выбираем снова «Фрезеровать 2.5х». У нас откроется уже знакомое нам меню настройки. Тут в меню «Конструктивный элемент» выбираем «Колодец» и жмем «Далее».

Выбираем обрабатываемый контур и задаём систему координат КЭ, как и в предыдущем разделе (рис. 155).

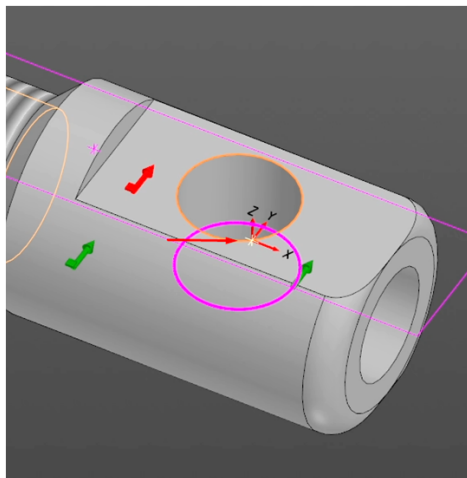


Рис. 155. Определение координат КЭ

Выставим нужные параметры: «Глубина» – 30, «от плоскости КЭ» – 0 (рис. 156).

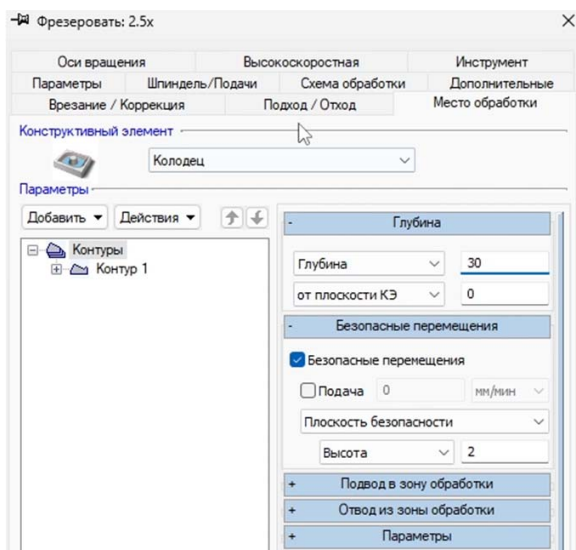


Рис. 156. Параметры обработки КЭ «Колодец»

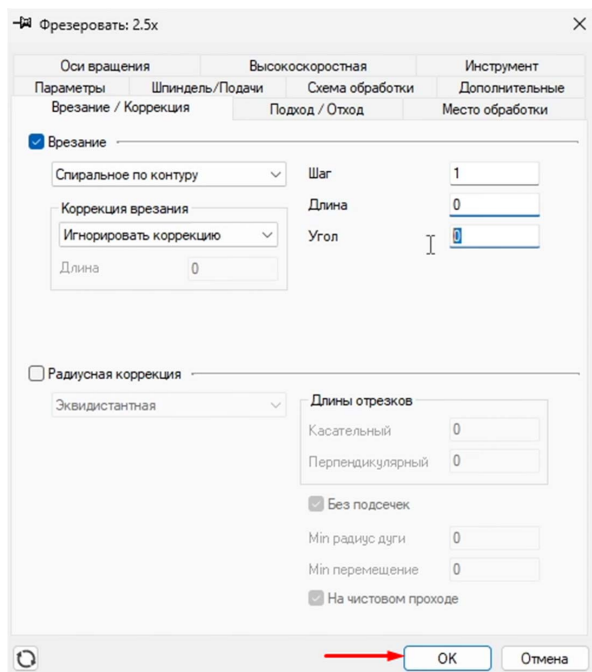


Рис. 157. Параметры врезания

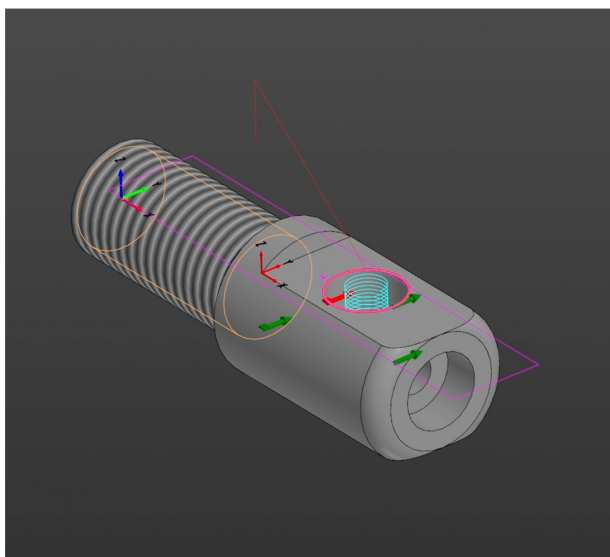


Рис. 158. Сформированная траектория врезания

Перейдем на вкладку «Врезание/Коррекция», поставим галочку внизу на операции «Врезание», выберем «Спиральное по контуру». Шаг выставляем 1, длину 0, угол 10 градусов (рис. 157).

Рассчитаем траекторию. На рис. 158 показана готовая траектория.

Помимо фрезеровки отверстий также можно воспользоваться обычной функцией сверления. Фрезеровка же зачастую может пригодиться при отсутствии на детали лысок, что затрудняет сверление.

Тема 4.6. Выбор параметров проточки уступа с помощью операции «Расточить»

Сформируем новую программу. Для этого в меню «ADEM CAM. Маршрут» выбираем «Технологический процесс механической обработки ЧПУ» (рис. 159).

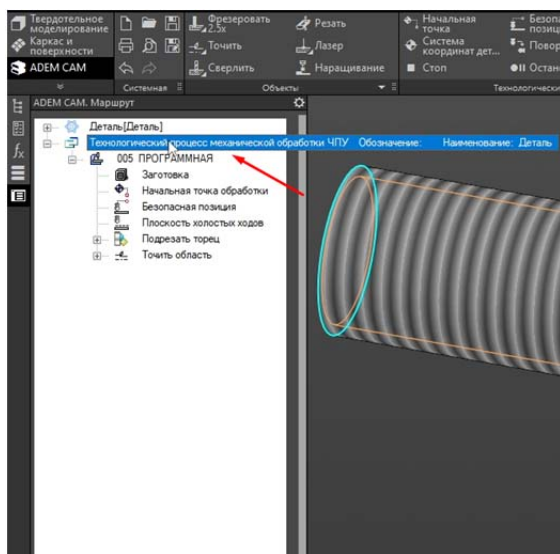


Рис. 159. Формирование новой программы

Установим новую начальную точку, задав координаты по оси X, равные 130 мм, после чего в левом меню сформируется новая программа (рис. 160).

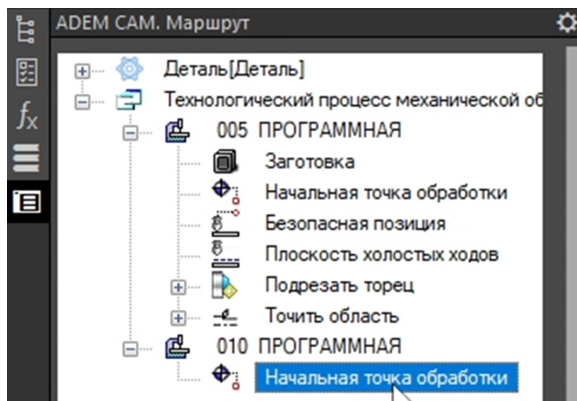


Рис. 160. Новая программа

Для начала рассмотрим сверление отверстия (рис. 161).

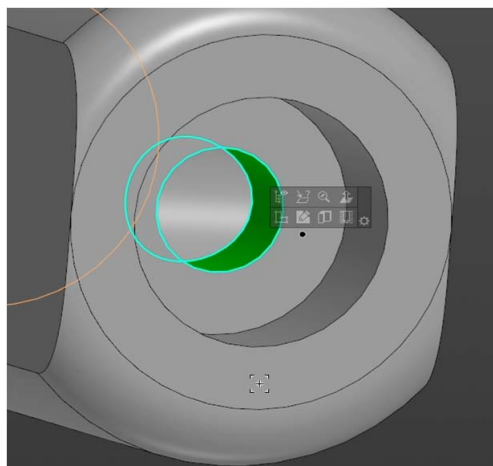


Рис. 161. Отверстие

Для этого заходим в ADEM CAM, выбираем в верхнем меню кнопку «Сверлить» и в списке операций выбираем тоже «Сверлить» (рис. 162).

В открывшемся меню на вкладке «Параметры» выбираем «Добавить» и в появившемся списке кликаем «Отверстие». Добавив отверстие, переходим к формированию системы координат КЭ.

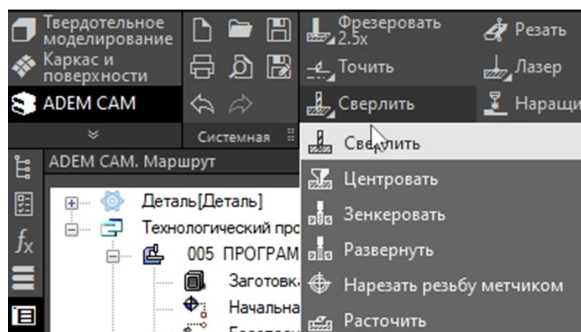


Рис. 162. Выбор операции «Сверлить»

В окне по объекту выбираем пункт «Создание СК» на оси поверхности вращения (рис. 163).

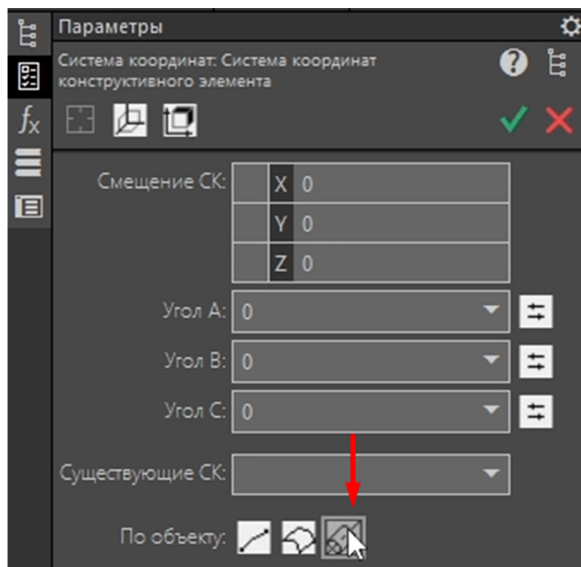


Рис. 163. Ось поверхности вращения

Выставляем параметры в системе координат КЭ, в левом меню назначаем «Угол А» – 0, «Угол В» – 90 градусов и сохраняем.

Затем переходим на вкладку «Место обработки», выставим значения: «Глубина» – 20, «от плоскости дна КЭ» – 0 и кликаем «ОК» (рис. 164).

Рассчитываем траектории, как делали это ранее (рис. 165).

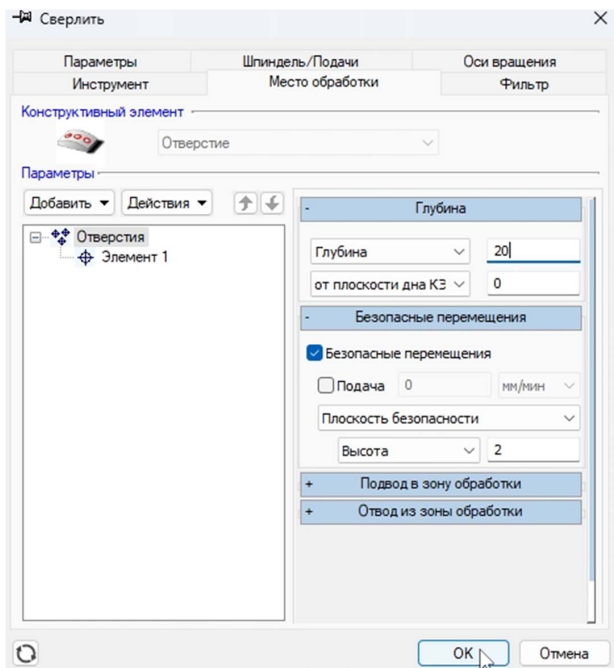


Рис. 164. Выбор значений параметров на вкладке «Место обработки»

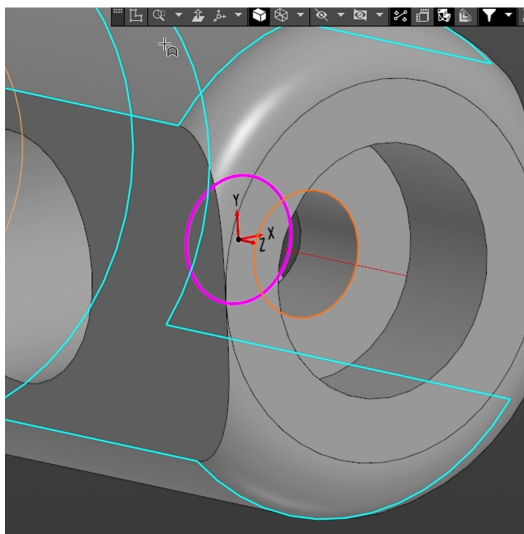


Рис. 165. Сформированная траектория сверления

Настройка параметров в разделе «Параметры» была рассмотрена в предыдущих разделах, операции по типу центровки выполняются аналогичным образом.

Тема 4.7. Обработка уступа с помощью операции «Расточить»

Для проведения операции расточки переходим в раздел «Точить» и в списке выбираем пункт «Расточить» (рис. 166).

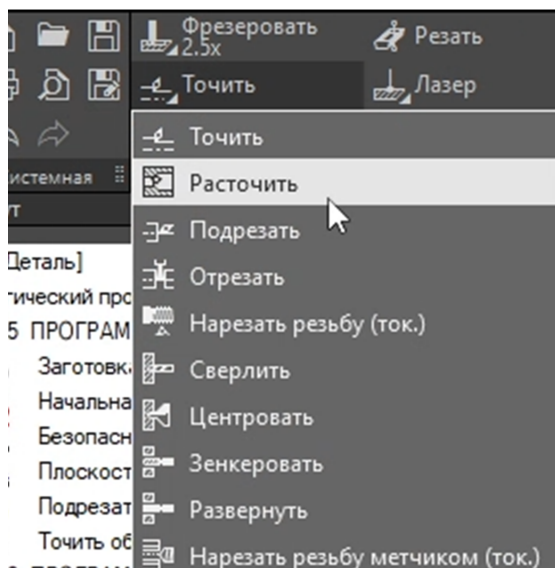


Рис. 166. Выбор вкладки «Расточить»

На вкладке «Место обработки» кликаем «Сформируем обрабатываемый контур». Для этого добавим две грани на детали, указанные жёлтым цветом на рис. 167, после чего сохраняем произведенные настройки.

Сформируем систему координат КЭ так, чтобы ось вращения детали была направлена вдоль оси Z (рис. 168).

Заходим в меню параметров (рис. 169).

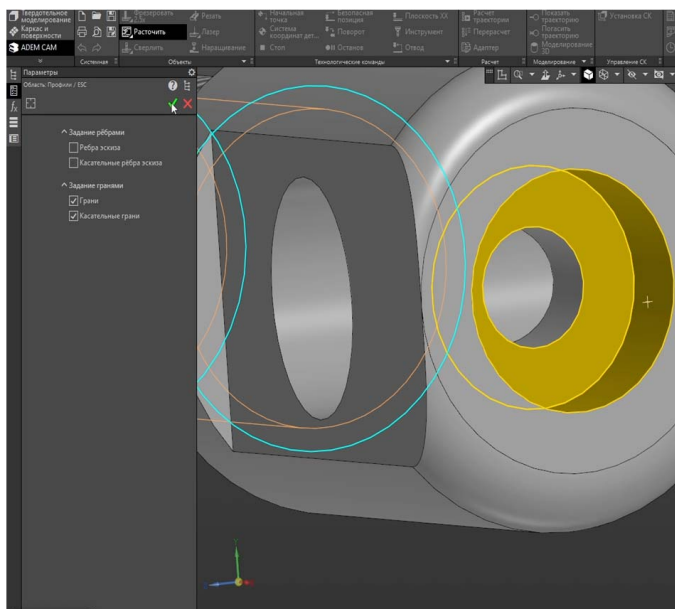


Рис. 167. Выбор граней

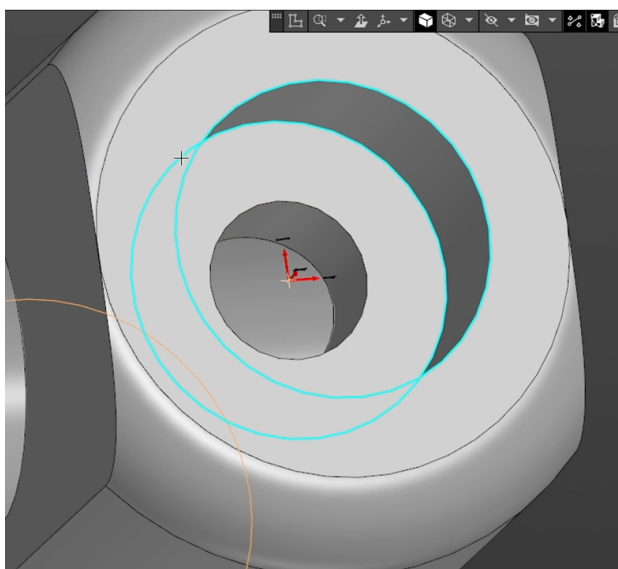


Рис. 168. Выбор системы координат

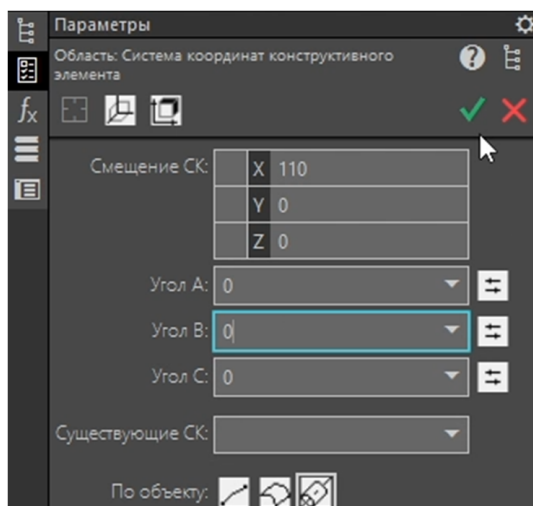


Рис. 169. Задание параметров системы координат КЭ

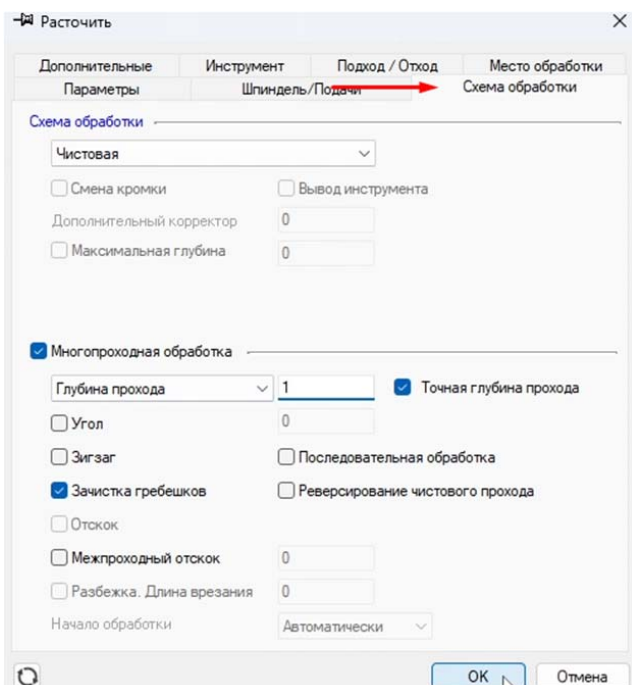


Рис. 170. Параметры схемы обработки уступа

Переходим на вкладку «Схема обработки», ставим галочку на пункте «Многопроходная обработка», чуть ниже в списке параметров выбираем глубину прохода, выставляем ее значение – 1 и нажимаем «ОК» (рис. 170).

Для создания инструмента в разделе «Инструмент», на вкладке «Параметры инструмента», напротив надписи «Резец» раскрываем список и выбираем «пластинка прорезная». В «Параметрах» справа для ширины и длины режущей части задаем значение 5 (рис. 171).

В конце, как и всегда, рассчитываем траекторию нажатием в верхнем меню на соответствующую кнопку, получаем итоговую траекторию расточки (рис. 172).

При работе с расточкой нужно быть особенно внимательным с настройкой подходов и отходов. Инструмент крайне уязвим при работе внутри вращающихся тел.

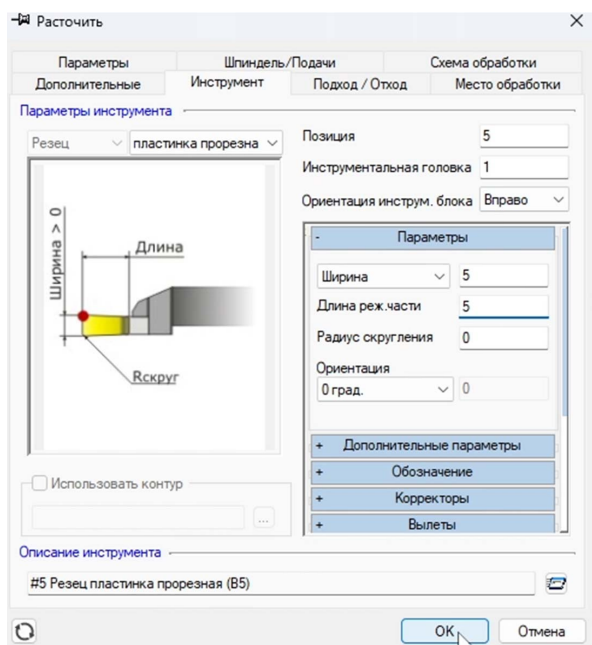


Рис. 171. Формирование режущего инструмента

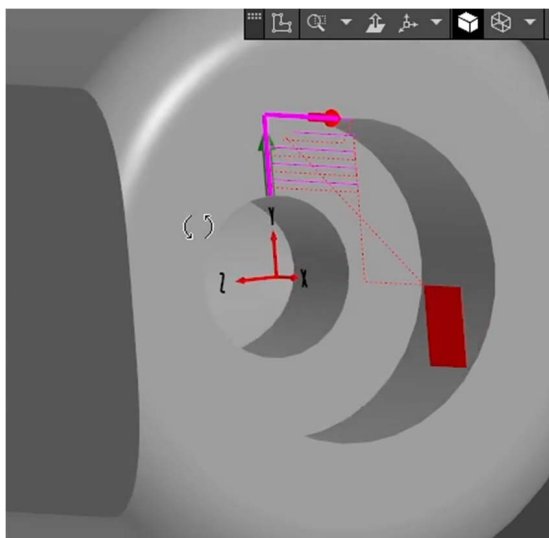


Рис. 172. Траектория расточки уступа

Выводы по разделу 4

1. Оптимизация параметров резания, таких как скорость вращения, подача и выбор инструмента, повлияет на качество поверхности и скорость обработки детали. Важно учесть материал детали и инструмента.

2. Обязательно нужно учитывать последовательность токарных операций (например, черновая и чистовая обработка) для достижения заданных допусков и качества, это может потребовать использования дополнительных настроек параметров обработки в ADEM.

3. ADEM позволяет задавать технические требования, такие как допуски и размеры, которые должны быть учтены в процессе программирования. Убедитесь, что все требования отображены в параметрах обработки.

4. Использование возможностей ADEM для визуализации процесса токарной обработки поможет выявить потенциальные проблемы до начала реального производства, например коллизии или неправильный выбор инструмента. В этом случае может понадо-

биться дополнительная проработка технологичности теоретического профиля детали и изменение ее исходной 3D-модели.

5. Перед окончательной отправкой программы на станок необходимо провести симуляцию и проверку программы на ошибки. Это предотвращает возможные сбои в работе оборудования и снижение качества обработки.

6. Возможность настроек автоматизированной токарной обработки ADEM позволяет интегрировать интеллектуальные решения в части отработки управляющих программ на станке с ЧПУ, что может значительно снизить время настройки и повысить производительность процесса обработки.

7. После выполнения обработки следует анализировать результаты (качество детали, время выполнения) и при необходимости вносить коррективы в программу для улучшения параметров основного и штучного времени обработки детали.

Контрольные вопросы по разделу 4

1. Как выбор скорости вращения шпинделя влияет на качество поверхности детали?
2. Как подача инструмента влияет на скорость обработки и эксплуатационные характеристики детали?
3. Какие материалы лучше всего обрабатываются многолезвийным инструментом?
4. Как правильно подобрать инструмент для обработки детали определенного материала?
5. Влияет ли оптимизация параметров резания на износ инструмента?
6. Почему важно учитывать черновую и чистовую обработку в токарных операциях?
7. Как последовательность токарных операций может повлиять на точность обработки?
8. Какие дополнительные настройки параметров обработки могут понадобиться для достижения заданных допусков?
9. Как ADEM может помочь в планировании последовательности операций?

10. Какие ключевые технические требования должны быть учтены при программировании в ADEM?
11. Как подтвердить соответствие параметров обработки установленным размерам и допускам?
12. Каковы последствия игнорирования технических требований в процессе программирования?
13. Как визуализация в ADEM позволяет выявить потенциальные проблемы до начала производства?
14. Какие типичные коллизии могут быть обнаружены при визуализации процесса токарной обработки?
15. Как можно изменить 3D-модель детали для повышения её технологичности?
16. Какие шаги необходимо предпринять перед окончательной отправкой программы на станок?
17. Как симуляция может помочь в предотвращении ошибок в работе оборудования?
18. Какие типы ошибок чаще всего возникают при работе с управляющими программами на станках с ЧПУ?
19. Как проводить анализ качества детали после обработки?
20. Какие коррективы можно внести в программу обработки для улучшения временных характеристик?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пособии проведен анализ функциональных возможностей российских аналогов известных САМ-систем. Были рассмотрены следующие продукты: T-FLEX CNC, ADEM CAM для КОМПАС-3D, GeMMa-3D, Техтран, СПРУТКАМ, САРУС.PLM. Среди всех САМ-систем подробно был рассмотрен функционал пакета ADEM CAM для КОМПАС-3D, который был выбран в качестве основной программы САМ при написании технологического процесса для трехосевой и токарной обработок. Критериями выбора выступали наличие простого инженерного интерфейса, решение вопросов автоматизации, широкие возможности выбора настроек и удовлетворение требования совместимости или полной интеграции с САД-системами ЧПУ.

В программе ADEM CAM для КОМПАС-3D предлагается широкий набор функций для автоматического построения траекторий. Благодаря обширной системе контуров можно задавать обработку как плоскостей, так и поверхностей.

ADEM CAM для КОМПАС-3D представляет собой базу конструктивных элементов: окно, стенка, плоскость, уступ и др. Для них задаются произвольные контуры, вдоль которых строится траектория обработки. Конструктивные элементы для токарных операций подразумевает такие функции, как точение, растачивание, сверление, подрезание и отрезание.

Широкие функциональные возможности ADEM CAM были использованы для написания технологического процесса обработки деталей «звезда» и «крепеж» на трехосевом фрезерном и токарном станке с ЧПУ.

Помимо трехкоординатных операций были рассмотрены и описаны токарные операции с выделением функций, характерных для токарной обработки. Была рассмотрена и подробно описана функция формообразования инструмента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ансеров, М. А. Приспособления для металлорежущих станков / М. А. Ансеров ; ред. Н. Г. Гутнер. — 4-е изд., испр. и доп. — Ленинград : Машиностроение, Ленинградское отделение, 1975. — 653, [1] с.
2. ГОСТ 31.111.41–93. Детали и сборочные единицы универсально-сборных приспособлений к металлорежущим станкам. Основные параметры. Конструктивные элементы. Нормы точности : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации 17 февраля 1993 года : взамен ГОСТ 31.111.41–83 : дата введения 1996-07-01 / разработан МГКТИтехоснастки. — Москва : Издательство стандартов, 1996. — III, 35, [1] с.
3. ГОСТ 31.111.42–83. Детали и сборочные единицы универсально-сборных приспособлений к металлорежущим станкам. Технические требования. Методы контроля. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 27 апреля 1983 года : взамен ГОСТ 14607–70 : дата введения 1984-01-01 / разработан и внесен Министерством станкостроительной и инструментальной промышленности СССР [и др.]. — Изд. с Изм. № 1, 2, 3 // Интернет и Право : [сайт]. — URL: internet-law.ru/gosts/gost/3157/ (дата обращения: 15.11.2024).
4. Каталог деталей и сборочных единиц универсально-сборных приспособлений с пазами 8 мм (УСП-8) / Министерство станкостроительной и инструментальной промышленности [и др.]. — Москва : Научно-исследовательский институт информации по машиностроению, 1975. — 59, [1] с.
5. Каталог деталей и сборочных единиц универсально-сборных приспособлений с пазами 12 мм (УСП-12) / Министерство станкостроительной и инструментальной промышленности [и др.]. — Москва : Научно-исследовательский институт информации по машиностроению, 1975. — 72 с.

6. Каталог деталей и сборочных единиц универсально-сборных приспособлений с пазами 16 мм (УСП-16) / Министерство станкостроительной и инструментальной промышленности [и др.]. – Москва : Научно-исследовательский институт информации по машиностроению, 1975. – 32 с.
7. Кузнецов, В. С. Универсально-сборные приспособления : альбом монтажных чертежей / В. С. Кузнецов, В. А. Пономарев. – Москва : Машиностроение, 1974. – 156 с.
8. Левашкин, Д. Г. Моделирование кинематических структур на основе электромеханических устройств для обеспечения жесткости автоматически сменных узлов // *Металлургия: технологии, управление, инновации, качество* : Труды XVIII Всероссийской научно-практической конференции, Новокузнецк, 14–16 октября 2014 г. / под ред. Е. В. Протопопова. – Новокузнецк, 2014. – С. 431–436.
9. Ловыгин, А. Обзор главных российских CAD/CAM-систем в 2023 году: возможности, цены, импортозамещение // *Планета CAM : информационно-аналитический электронный журнал*. – URL: www.planetacam.ru/articles/russian_cam/obzor_glavnykh_rossiyskikh_cad_cam_sistem_v_2023/ (дата обращения: 14.11.2024).
10. Малышев, В. И. Автоматизация гибридных и комбинированных технологий на основе модернизации станочного оборудования и выбора кинематических связей / В. И. Малышев, Д. Г. Левашкин, А. С. Селиванов // *Вектор науки Тольяттинского государственного университета*. – 2010. – № 3. – С. 70–74.
11. Табачников, И. З. Универсально-сборные приспособления / И. З. Табачников, В. И. Ермилов, В. М. Фрейдензон. – Харьков : Прапор, 1965. – 70 с.
12. Технологическая оснастка многократного применения / В. Д. Бирюков, В. М. Дьяконов, А. И. Егоров [и др.] ; ред. Д. И. Поляков. – Москва : Машиностроение, 1981. – 404 с.
13. Zhang, L. L. A Petri Net-based Approach to Reconfigurable Manufacturing Systems Modeling / L. L. Zhang, B. Rodrigues // *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*. – 2009. – Vol. 7, № 1. – P. 18–24.

14. Koren, Y. Design of reconfigurable manufacturing system / Y. Koren, M. Shpitalni // *Journal of Manufacturing Systems*. – 2010. – Vol. 29, № 4.
15. Kahloul, L. Formal Study of Reconfigurable Manufacturing Systems: A High Level Petri Nets Based Approach / L. Kahloul, K. Djouani, A. Chaoui // *Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems : 6th International Conference, Holomas 2013, Prague, Czech Republic, August 26–28, 2013 : Proceedings / Eds.: V. Mařík [et al.]. – Berlin [et al.], 2013. – P. 106–117. – (Lecture Notes in Computer Science ; vol. 8062).*
16. Mittal, K. K. Impact of Reconfiguration Effort on Reconfigurable Manufacturing System / K. K. Mittal, P. K. Jain // *5th International and 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference, AIMTDR 2014 : Proceedings. – Guwahati, 2014. – P. 71-1–71-5.*
17. Mehrabi, M. G. Reconfigurable manufacturing systems and their enabling technologies / M. G. Mehrabi, A. G. Ulsoy, Y. Koren // *International Journal of Manufacturing Technology and Management*. – 2000. – Vol. 1, № 1. – P. 114–131.
18. Mehrabi, M. G. Reconfigurable manufacturing systems: Key to future manufacturing / M. G. Mehrabi, A. G. Ulsoy, Y. Koren // *Journal of Intelligent Manufacturing*. – 2000. – Vol. 11. – P. 403–419.
19. Mustapha, N. Availability modeling and optimization of reconfigurable manufacturing systems / N. Mustapha, A.-K. Daoud, I. S. Wassy // *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. – 2003. – Vol. 9, № 3. – P. 284–302.
20. On-Line Reconfigurable Machines / L. S. Crawford, M. B. Do, W. Ruml, H. Hindi // *AI Magazine*. – 2013. – Vol. 34, № 3. – P. 73–88.
21. Reconfigurable Micro-Machine Tool Design for Desktop Machining Micro-factories / R. Pérez, O. Dávila, A. Molina, M. Ramírez-Cadena // *IFAC Proceedings Volumes*. – 2013. – Vol. 46, № 9. – P. 1417–1422.
22. Pittler : [сайт]. – URL: pittler.dvsgroupe.com/uploads/tx_xrctypedownloadssimlpe/PVSLN1_en.pdf (дата обращения: 10.05.2024).

23. Hadar, R. Reconfigurable Manufacturing System Design and Implementation : An Industrial Application at a Manufacturer of Consumer Goods / R. Hadar, A. Bilberg // Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability : Proceedings of the 5th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2013), Munich, Germany, October 6–9, 2013 / Ed. M. F. Zaeh. – Cham [et al.], 2014. – P. 455–460.
24. Reconfigurable Strategies for Manufacturing Setups to Confront Mass Customization Challenges / S. Minhas, C. Lehmann, J. P. Stadter, U. Berger // Innovation in Product and Production : 21st International Conference on Production Research 2011 (ICPR 21), Stuttgart, Germany, 31 July – 4 August 2011 / Eds.: D. Spath [et al.]. – Stuttgart, 2015.
25. ROBOTFORUM : Портал, посвященный промышленным роботам. – URL: robotforum.ru (дата обращения: 10.05.2024).
26. Mulc, T. Structure of Reconfigurable Manufacturing Systems / T. Mulc, T. Udiljac, D. Ciglar // DAAAM International Scientific Book / Ed.: B. Katalinic. – Vienna, 2015. – Vol. 14. – Chapter 32. – P. 369–390.

ГЛОССАРИЙ

Автоматическая работа системы (устройства) числового программного управления станком (Mode of operation, automatic) – функционирование СЧПУ (УЧПУ), при котором обработка управляющей программы происходит с автоматической сменой кадров управляющей программы.

Адаптивное числовое программное управление станком (Adaptive control) – числовое программное управление станком, при котором обеспечивается автоматическое приспособление процесса обработки заготовки к изменяющимся условиям обработки по определенным критериям.

Адрес в числовом программном управлении – часть слова управляющей программы, определяющая назначение следующих за ним данных, содержащихся в этом слове.

Аппаратное устройство числового программного управления станком (Numerical control, NC) – устройство числового программного управления станком, алгоритмы работы которого реализуются схемным путем и не могут быть изменены после изготовления устройства.

Ввод УП – ввод данных в память устройства ЧПУ с программного носителя от ЭВМ верхнего ранга или с пульта оператора.

Геометрическая информация – информация, описывающая форму, размеры элементов детали и инструмента, их взаимное расположение на столе станка.

Главный кадр управляющей программы в числовом программном управлении – кадр управляющей программы, содержащий все данные, необходимые для возобновления процесса обработки заготовки после его перерыва; обозначается специальным символом.

Групповое числовое программное управление станками (Direct numerical control, DNC) – числовое программное управление группой станков от ЭВМ, имеющей общую память для хранения управляющих программ, распределяемых по запросам от станков.

Дискретность задания перемещения – минимальное перемещение рабочего органа (линейное или на угол поворота), которое может быть задано в УП.

Дискретность отработки перемещения – минимальное перемещение или минимальный угол поворота рабочего органа, контролируемые в процессе управления.

Зеркальная отработка системы (устройства) числового программного управления станком (Machine program mirror execution) – функционирование СЧПУ (УЧПУ), при котором рабочие органы станка перемещаются по траектории, представляющей собой зеркальное отображение траектории, записанной в управляющей программе.

Индикатируемый сбой устройства ЧПУ – сбой, фиксирующий-ся на пульте в момент его возникновения, приводящий к останову станка, то есть к прекращению обработки детали, информация о котором высвечивается на пульте оператора.

Исходная точка станка – точка на узле станка, определенная относительно нулевой точки станка и используемая для начала работы по УП.

Кадр управляющей программы в числовом программном управлении – составляющая часть управляющей программы, вводимая и обрабатываемая как единое целое и содержащая не менее одной команды.

Контурная скорость – результирующая скорость подачи рабочего органа, направление которой совпадает с направлением касательной в каждой точке заданного контура обработки.

Контурное ЧПУ станком (Contouring control) – числовое программное управление станком, при котором перемещение его рабочих органов происходит по заданной траектории и с заданной скоростью для получения необходимого контура обработки.

Контурные (непрерывные) устройства ЧПУ – устройства, обеспечивающие перемещение рабочих органов из данной точки пространства по траектории, форма и конечные координаты которой заданы в УП. Контурными устройствами ЧПУ оснащают станки фрезерной и токарной групп, осуществляющих формообразование деталей сложной формы.

Контурные прямоугольные (коллинеарные) устройства ЧПУ – устройства, которые обеспечивают движение по одной координате. Так как в большинстве станков применяют прямоугольную систему координат, такие устройства получили название прямоугольных. В этих устройствах, как и в позиционных, программируются конечные координаты перемещения, однако в УП задается скорость движения рабочего органа в соответствии с заданным режимом резания, и перемещение выполняется поочередно по каждой из координатных осей. Прямоугольные устройства ЧПУ применяют в станках фрезерной, токарной и шлифовальной групп.

Координата — величина, определяющая положение точки в пространстве по отношению к заданной базе или началу отсчета.

Коррекция положения инструмента — изменение с пульта управления запрограммированных координат рабочего органа станка.

Коррекция скорости главного движения — изменение с пульта оператора запрограммированной частоты вращения главного привода.

Коррекция скорости подачи — изменение с пульта оператора запрограммированного значения скорости подачи.

Максимальное программируемое перемещение — наибольшее перемещение рабочего органа, которое может быть задано в одном кадре УП.

Металлообрабатывающее оборудование с программным управлением — любые виды станков для обработки металлов резанием, например, токарные, фрезерные, сверлильные, шлифовальные, расточные, многоцелевые, электроэрозионные и т. п., а также другие виды оборудования для обработки металлов (листогибочные машины, дыропробивные прессы и др.), осуществляющие по заданной программе автоматическую обработку заготовок.

Неиндицируемый сбой устройства ЧПУ — сбой, не обнаруживаемый на пульте в момент его возникновения.

Номер кадра управляющей программы в числовом программном управлении — слово в начале кадра, определяющее последовательность кадров в управляющей программе.

Нулевая точка станка — точка на узле станка, принятая за начало отсчета системы координат станка.

Оперативная система управления (ОСУ) — устройство ЧПУ на базе микроЭВМ с подготовкой УП у станка в режиме диалога оператора с устройством ЧПУ. Оператор с помощью клавиатуры пульта устройства ЧПУ вводит данные с чертежа детали в программу управления. Оперативными устройствами ЧПУ оснащают токарные и фрезерные станки. Другим признаком, по которому устройства ЧПУ могут быть классифицированы, является число потоков информации, циркулирующих в системе «станок — устройство ЧПУ».

Отказ устройства ЧПУ — событие, заключающееся в нарушении работоспособности устройства ЧПУ.

Плавающий ноль — возможность перемещения посредством устройства ЧПУ начала отсчета перемещения рабочего органа в любое положение относительно нулевой точки.

Позиционное числовое программное управление станком (Positioning control) — числовое программное управление станком, при котором перемещение его рабочих органов происходит в заданные точки, причем траектории перемещения не задаются.

Позиционные устройства ЧПУ — устройства, в которых рабочие органы могут перемещаться в заданные точки, а траектория перемещения от точки до точки задаётся только прямолинейным движением; составляют группу устройств, имеющих один общий признак — позиционирование, то есть обеспечение точности останова перемещаемых рабочих органов в точке с заданными координатами. Скорость перемещения в позиционных устройствах не программируется и обусловлена только динамикой приводов станка. Позиционными устройствами ЧПУ оснащают сверлильные, координатно-расточные, токарные, фрезерные, шлифовальные и другие станки, работающие по прямоугольному циклу.

Покадровая работа системы (устройства) числового программного управления станком (Mode of operation single block) — функционирование СЧПУ (УЧПУ), при котором обработка каждого кадра управляющей программы происходит только после воздействия оператора.

Программируемое устройство числового программного управления станком (Computerized numerical control, CNC) — устройство числового программного управления станком, алгоритмы работы которого реализуются с помощью программ, вводимых в его память, и могут быть изменены после изготовления устройства.

Программное обеспечение системы числового программного управления станком (Software) — совокупность программ и документации на них для реализации целей и задач системы числового программного управления станком.

Программоноситель — носитель геометрических и технологических данных, на котором записана УП. В качестве носителя данных применяются бумажная или пластиковая перфолента, магнитная лента, магнитные диски, запоминающие устройства разных видов и типов.

Работа системы числового программного управления станком с пропуском кадров (Block skip) — автоматическая работа СЧПУ

(УЧПУ), при которой не обрабатываются кадры управляющей программы, обозначенные символом.

Работа системы (устройства) числового программного управления станком с ручным вводом данных (Manual data input, MDI) – функционирование СЧПУ (УЧПУ), при котором набор данных, ограниченный форматом кадра, производится вручную оператором на пульте.

Работа системы числового программного управления станком с ручным управлением (Mode of operation manual) – функционирование СЧПУ (УЧПУ), при котором оператор управляет станком с пульта без использования числовых данных.

Сбой устройства ЧПУ – событие, заключающееся в кратковременном самоустраняющемся нарушении работоспособности устройства ЧПУ.

Система с разомкнутым контуром – устройство ЧПУ, в котором имеется только один поток информации. В таких системах отсутствуют измерительные устройства (датчики обратной связи), контролирующие перемещение рабочих органов. Точность воспроизведения движения рабочих органов с такой системой невысока и определяется точностью обработки команд двигателем привода подачи и точностью кинематической цепи, передающей движение рабочему органу.

Система числового программного управления станком (Control system) – совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих технических и программных средств, обеспечивающих числовое программное управление станком.

Системная программа в числовом программном управлении – программа системы ЧПУ, обеспечивающая распределение ее ресурсов, организацию процесса обработки, ввода-вывода и управления данными.

Слово управляющей программы в числовом программном управлении – составляющая часть кадра управляющей программы, содержащая данные о параметре процесса обработки заготовки и (или) другие данные по выполнению управления.

Станочная система ЧПУ – комплекс узлов и агрегатов, взаимодействующих между собой.

Технологическая информация – информация, описывающая технологические характеристики детали и условия ее обработки.

Технологическая программа в числовом программном управлении – программа СЧПУ, обеспечивающая реализацию задач управле-

ния применительно к различным технологическим группам станков (токарные, фрезерные, сверлильные, кузнечно-прессовые и др.).

Типовой элемент замены устройства ЧПУ (ТЭЗ УЧПУ) – типовая минимальная составляющая часть устройства ЧПУ, которая при потере работоспособности может быть заменена аналогичной.

Точка начала обработки – точка, определяющая начало обработки конкретной заготовки.

Управляющая программа (УП) в ЧПУ – совокупность команд на языке программирования, соответствующая алгоритму функционирования станка по обработке конкретной заготовки.

Устройства адаптивного (самоприспосабливающегося) управления ЧПУ – устройства, в которых обеспечивается автоматическое приспособление процесса обработки к изменяющимся условиям обработки по определенным критериям (скорость резания, подача, сила резания). Самоприспосабливающиеся устройства ЧПУ имеют систему контроля и регулирования, позволяющую осуществлять защиту от перегрузок двигателей главного движения и приводов подач, что обеспечивает высокое качество обработки и защищает станочную систему от поломок. Адаптивными устройствами ЧПУ оснащают фрезерные, расточные и многоцелевые станки.

Устройство ЧПУ станком (Numerical control) – устройство, выдающее управляющие воздействия на исполнительные органы станка в соответствии с управляющей программой и информацией о состоянии управляемого объекта.

Фиксированная точка станка – точка, определенная относительно нулевой точки станка и используемая для определения положения рабочего органа.

Функциональная программа в числовом программном управлении – программа СЧПУ обеспечивающая реализацию задач управления применительно к различным моделям станков внутри каждой группы.

Цифровое программное управление станком (Numerical control of machine) – управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе, в которой данные заданы в цифровой форме.

Числовое программное управление станком (Computerized numerical control) – управление обработкой заготовки на станке по УП, в которой данные об обработке заданы в цифровом коде.

Практическая работа 1
Программирование токарной обработки детали в ADEM

Цель работы: научиться создавать программы для токарной обработки деталей с использованием системы ADEM, а также освоить основные методы моделирования процессов автоматизированной обработки.

Задание: создать управляющую программу токарной обработки с ЧПУ для заданной детали с использованием ADEM, выбрав номер варианта, соответствующий первой букве фамилии студента (табл. А.1).

Таблица А.1

А	Б	В	Г	Д	Е, Ё, Ж	З, И, Й	К	Л	М
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Н	О	П	Р	С	Т	У, Ф, Х	Ц, Ч	Ш	Щ, Э, Ю, Я
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Исходные данные: чертеж детали (прил. Г, рис. Г.1, Г.2), который содержит размерные параметры детали, все диаметральные размеры, все линейные размеры; допуски на обработку необходимо определить самостоятельно.

Последовательность выполнения работы

1. Изучение чертежа детали:

- 1) проанализировать чертеж на предмет геометрии и допусков;
- 2) определить последовательность операций токарной обработки.

2. Создание 3D-модели детали:

- 1) использовать ADEM для создания 3D-модели детали по чертежу;
- 2) проверить точность размерных характеристик модели.

3. Настройка параметров обработки:

- 1) определить параметры обработки: скорость резания, подачу, глубину резания и тип инструмента;
- 2) выбрать соответствующий инструмент из библиотеки ADEM.

4. Программирование в ADEM:

- 1) создать программу токарной обработки с использованием ADEM;
- 2) разработать последовательность операций, включая черновую и чистовую обработку;
- 3) выполнить программирование дополнительных операций, например нарезки резьбы, если это предусмотрено в детали.

5. Проверка программы:

- 1) произвести симуляцию программируемого процесса в ADEM;
- 2) убедиться в отсутствии коллизий и ошибочных движений в программе.

6. Подготовка отчета:

- 1) составить отчет о проделанной работе, включив:
 - а) описание детали и чертеж;
 - б) этапы и алгоритм создания 3D-модели;
 - в) параметры обработки и обоснование выбора инструмента;
 - г) скриншоты программы и выводы по симуляции;
 - д) код программы;
- 2) ответить на вопросы для контроля 1–50.

Практическая работа 2

Программирование фрезерной обработки детали в ADEM

Цель работы: научиться создавать программы для фрезерной обработки деталей с использованием системы ADEM, а также освоить основные методы моделирования процессов автоматизированной обработки.

Задание: создать управляющую программу для фрезерной обработки с ЧПУ для заданной детали с использованием ADEM, выбрав номер варианта в соответствии с первой буквой фамилии студента (табл. А.2).

Таблица А.2

А	Б	В	Г	Д	Е, Ё, Ж	З, И, Й	К	Л	М
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Н	О	П	Р	С	Т	У, Ф, Х	Ц, Ч	Ш	Щ, Э, Ю, Я
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Исходные данные: чертеж детали (прил. Г, рис. Г.3–Г.22), который содержит размерные параметры детали, все диаметральные размеры, все линейные размеры; допуски на обработку необходимо определить самостоятельно.

Последовательность выполнения работы

1. Изучение чертежа детали:

- 1) проанализировать чертеж на предмет геометрии и допусков;
- 2) определить последовательность операций фрезерной обработки.

2. Создание 3D-модели детали:

- 1) использовать ADEM для создания 3D-модели детали по чертежу;
- 2) проверить точность размерных характеристик модели.

3. Настройка параметров обработки:

- 1) определить параметры обработки: скорость резания, подачу, глубину резания и тип инструмента;
- 2) выбрать соответствующий инструмент из библиотеки ADEM.

4. Программирование в ADEM:

- 1) создать программу фрезерной обработки с использованием ADEM;
- 2) разработать последовательность операций, включая черновую и чистовую обработку;
- 3) выполнить программирование дополнительных операций, например нарезки резьбы, если это предусмотрено в детали.

5. Проверка программы:

- 1) произвести симуляцию программируемого процесса в ADEM;
- 2) убедиться в отсутствии коллизий и ошибочных движений в программе.

6. Подготовка отчета:

- 1) составить отчет о проделанной работе, включив:
 - а) описание детали и чертеж;
 - б) этапы и алгоритм создания 3D-модели;
 - в) параметры обработки и обоснование выбора инструмента;
 - г) скриншоты программы и выводы по симуляции;
 - д) код программы;
- 2) ответить на вопросы для контроля 51–100.

Вопросы для контроля

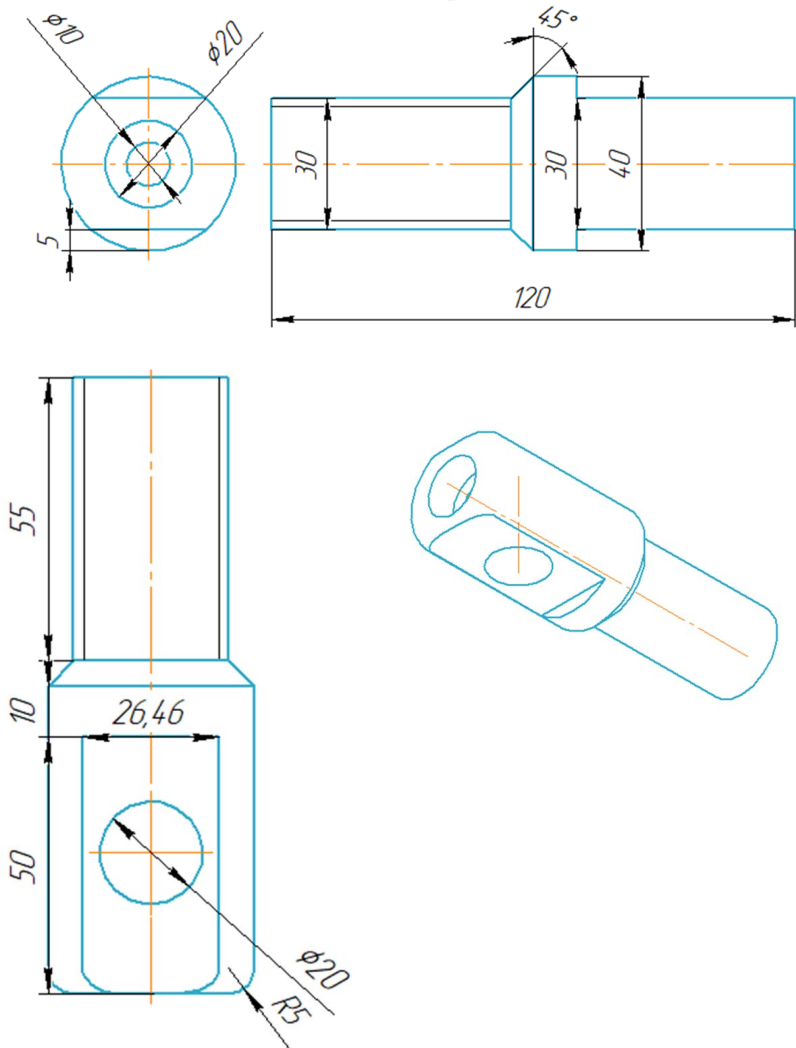
1. Какие существуют основные функции ADEM CAM для КОМПАС?
2. Как ADEM CAM интегрируется с КОМПАС-3D?
3. Какие форматы файлов поддерживает ADEM CAM?
4. Что такое постпроцессор и как его настроить в ADEM CAM?
5. Как ADEM CAM помогает в создании техпроцессов?
6. Какие типы обработки поддерживаются ADEM CAM?
7. Можно ли интегрировать ADEM CAM с другими CAD-системами?
8. Как настроить рабочее пространство в ADEM CAM?
9. Как выполнять оптимизацию траекторий инструментов в ADEM CAM?
10. Как в ADEM CAM настроить параметры резания для различных материалов?
11. Какова роль ADEM CAM в автоматизации производственных процессов?
12. Как импортировать модель из КОМПАС-3D в ADEM CAM?
13. Каковы ключевые отличия ADEM CAM от других CAM-систем?
14. Как в ADEM CAM производится расчет нагрузки на инструмент?
15. Как создавать и использовать библиотеки инструментов в ADEM CAM?
16. Как использовать симуляцию в ADEM CAM для проверки процесса обработки?
17. Какова процедура генерации управляющей программы в ADEM CAM?
18. Как настроить систему координат для обработки в ADEM CAM?
19. Возможно ли использование ADEM CAM для 3-осевой обработки?
20. Какие способы постобработки существуют в ADEM CAM?
21. Как в ADEM CAM задать параметры зажима детали?
22. Как создавать маршруты обработки в ADEM CAM?
23. Как работают функции копирования и вставки в ADEM CAM?
24. Как ADEM CAM может помочь в сокращении времени обработки?
25. Как правильно выбрать инструмент для обработки в ADEM CAM?
26. Как в ADEM CAM учитывать особенности каждой детали при проектировании?

27. Как интегрировать ADEM CAM с системами управления производством?
28. Как создать отчет о выполнении техпроцесса в ADEM CAM?
29. Какие методы проверки качества используются в ADEM CAM?
30. Как использовать расчеты в ADEM CAM для планирования производства?
31. Как управлять параметрами охлаждения в ADEM CAM?
32. Как использовать ADEM CAM для подготовки деталей к сборке?
33. Каковы основные принципы обработки деталей сложной геометрии в ADEM CAM?
34. Как ADEM CAM помогает в разработке новой продукции машиностроения?
35. Как производить анализ затрат на производство с помощью ADEM CAM?
36. Как ADEM CAM поддерживает технологии аддитивного производства?
37. Какие инструменты для обучения пользователей предоставляет ADEM CAM?
38. Как ADEM CAM обрабатывает многослойные конструкции?
39. Как задать параметры обработки для нестандартных инструментов в ADEM CAM?
40. Как ADEM CAM взаимодействует с системами автоматизированного контроля?
41. Какова роль ADEM CAM в повышении конкурентоспособности?
42. Как учитывать производственные ограничения в ADEM CAM?
43. Как организовать передачу данных между ADEM CAM и другими системами?
44. Как выполнять диагностику ошибок в ADEM CAM?
45. Как ADEM CAM помогает при разработке технологии термобработки?
46. Как настраивать пользовательские интерфейсы в ADEM CAM?
47. Как создавать и применять шаблоны техпроцессов в ADEM CAM?
48. Как ADEM CAM поддерживает стандарт ISO и другие промышленные нормы?

49. Как оптимизировать маршруты в ADEM CAM для достижения лучшей производительности?
50. Как загружать и использовать внешние библиотеки инструментов в ADEM CAM?
51. Что такое ADEM CAM?
52. Каковы основные цели ADEM CAM?
53. Какие компоненты входят в состав ADEM CAM?
54. В чем разница между ADEM CAM и аналогичными системами?
55. Какие протоколы связи поддерживает ADEM CAM?
56. Кто является основными пользователями ADEM CAM?
57. Как происходит установка и настройка ADEM CAM?
58. Каковы системные требования для установки ADEM CAM?
59. Какова роль ADEM CAM в управлении данными?
60. Какие типы данных обрабатывает ADEM CAM?
61. Как ADEM CAM обеспечивает безопасность данных?
62. Какие функции мониторинга предоставляет ADEM CAM?
63. Как осуществляется отслеживание изменений в ADEM CAM?
64. Каким образом ADEM CAM поддерживает интеграцию с другими системами?
65. Как настраиваются уведомления и оповещения в ADEM CAM?
66. Какие методы анализа данных поддерживает система?
67. Как осуществляется управление доступом в ADEM CAM?
68. Как ADEM CAM обрабатывает большие объемы данных?
69. Какие форматы данных принимает ADEM CAM?
70. Каковы возможности отчетности ADEM CAM?
71. Как происходит аутентификация пользователей в ADEM CAM?
72. В чем заключается работа с API ADEM CAM?
73. Как ADEM CAM обрабатывает ошибки и сбои?
74. Какова процедура резервного копирования данных в ADEM CAM?
75. Как создается и управляется документация в ADEM CAM?
76. Какие языки программирования используются для разработки ADEM CAM?
77. Как ADEM CAM обеспечивает производительность и масштабируемость?

78. Какие инструменты используются для мониторинга производительности ADEM CAM?
79. Какова структура базы данных в ADEM CAM?
80. Какие меры принимаются для защиты от угроз безопасности в ADEM CAM?
81. Как выполнять экспорт и импорт данных в ADEM CAM?
82. Как использовать встроенные инструментальные панели в ADEM CAM?
83. Как создать новый проект в ADEM CAM?
84. Приведите примеры использования ADEM CAM в различных отраслях.
85. Как ADEM CAM помогает в соблюдении нормативных требований?
86. Какие сценарии могут быть описаны с помощью ADEM CAM?
87. Как анализировать результаты мониторинга в ADEM CAM?
88. Как настроить пользовательские интерфейсы в ADEM CAM?
89. Как организовать коллаборацию между пользователями в ADEM CAM?
90. Как документировать процессы в ADEM CAM?
91. Какие современные тенденции влияют на развитие ADEM CAM?
92. Какие технологии могут быть интегрированы с ADEM CAM в будущем?
93. Как ADEM CAM может адаптироваться к изменениям в бизнесе?
94. Какие тенденции наблюдаются в области защиты данных и управления ими?
95. Как развивается экосистема вокруг ADEM CAM?
96. Как ADEM CAM может использовать технологии искусственного интеллекта?
97. Какое будущее у системы управления данными в контексте ADEM CAM?
98. Приведите примеры успешного внедрения ADEM CAM.
99. Какие потенциальные улучшения могут быть внесены в ADEM CAM?
100. Как ADEM CAM может помочь в переходе на облачные технологии?

Эскиз детали «крепеж»



Задания на выполнение практических работ

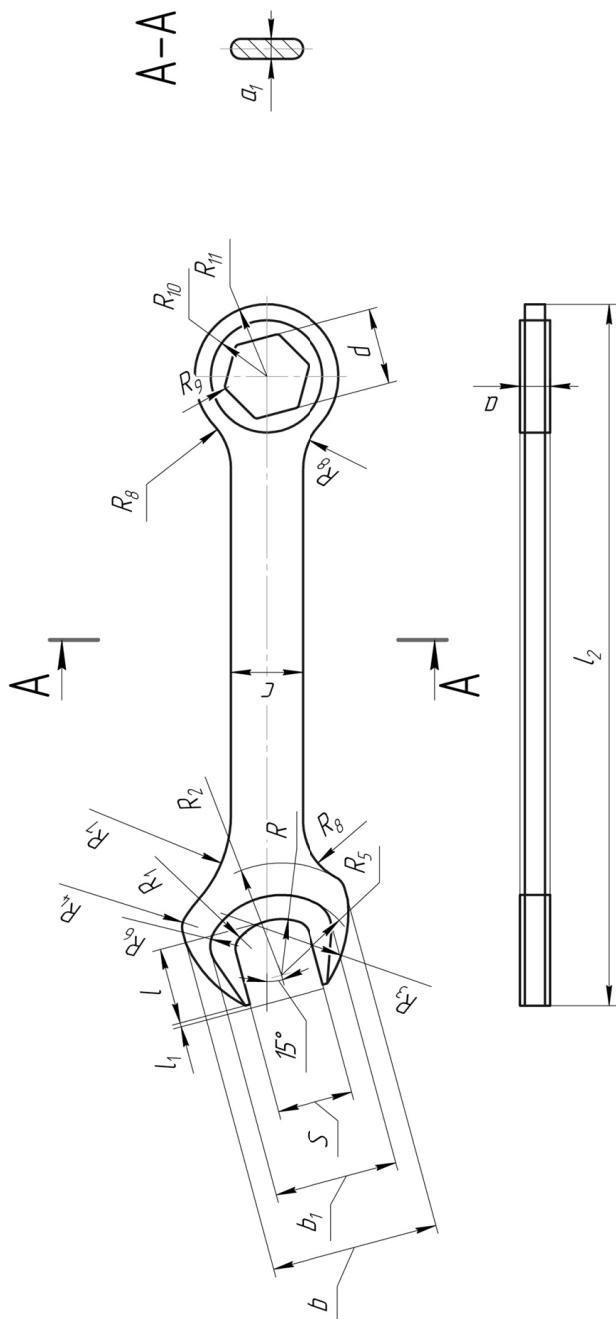


Рис. Г.1. Ключ гаечный

Таблица Г.1

Варианты заданий

Номер варианта	l	l_1	l_2	a	a_1	b	b_1	c	d	S	R	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	R_{11}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	12					24	19		11	11	9	3,0	17	21	7,0	13		21			16	20
2	13		140	5,5	3,5	26	20		12	12	10		19	23	8,0	14	6	23	12		17	21
3	14					28	21		13	13			20	24				24			18	22
4	15					30	22	14	14	14	11		21	26	9,0	15		26	13		19	23
5	16			6,0		32	24		15	15	12		23	27		17		27	14		20	24
6	16	1,0	160	6,5	4,0	34	26		16	16	13	4,0	24	28	10,0	18	7	28	15		21	25
7	17					35	27		17	17			25	29				29			22	26
8	18			7,5	5,0	39	29		18	18	14		27	30	11,0	19		31	16	1,0	23	27
9	20					45	33	18	21	21	15		28	34	14,0	21	8	34	17		26	29
10	21		205	8,5	6,0	46	34		22	22			31	35	15,0	22		35	18		27	31
11	23			9,5		50	38		24	24	16	5,0	33	38	16,0	24	9	38	19		29	33
12	26			10,5		55	41	22	27	27	18		38	41	17,0	26	10	41	20		32	36
13	28	2,0	260	11,5	8,0	62	46		30	30	19		42	44	19,0	28	11	44	22		35	39
14	30			12,5		65	48	28	32	32	20	6,0	45	47	21,0	29	12	47	24		37	41

Окончание табл. Г.1

Номер варианта	l	l_1	l_2	a	a_1	b	b_1	c	d	S	R	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	R_{11}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
15	32		280	12,5	9,0	70	51	30	34	34	22		48	50	22,0	31	13	50	25		39	43
16	34			13,5		75	54	32	36	36	23	7,0	50	52		33		52	26		41	45
17	38	2,0	350	15	10,0	85	61	34	41	41	26		55	60	24,0	36	14	60	30	1,0	46	50
18	42					95	68	38	46	46	29		62	65	26,0	40	15	65	32		51	56
19	46		380	17	10,0	102	74	42	50	50	31	8,0	67	72	28,0	43	16	72	36		55	59
20	51	3,0	420	18	12,0	112	81	45	55	55	34	9,0	73	77	32,0	47	18	77	38		60	64

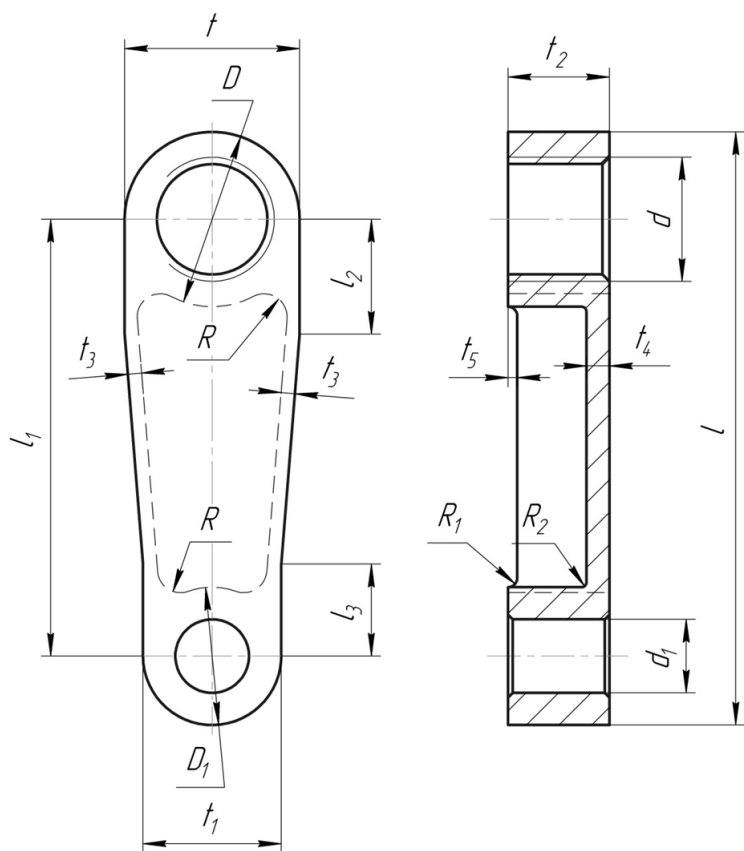


Рис. Г.2. Рукоятка

Таблица Г.2

Варианты заданий

Номер варианта	D	D_1	d	d_1	R	R_1	R_2	l	l_1	l_2	l_3	t	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	28	20	M17	6				119	85	15	10	28	20				
2	30	22	M18	8				121	87	17	12	30	22				
3	32	24	M20	10				123	89	19	14	32	24				
4	34	26	M22	12				125	91	21	16	34	26				
5	36	28	M24	14				127	93	23	18	36	28				
6	40	32	M28	18				131	97	27	22	40	32	22		5	
7	42	34	M30	20	5	2	1	133	99	29	24	42	34		3		2
8	44	36	M33	22				135	101	31	26	44	36				
9	46	38	M35	24				137	105	33	28	46	38				
10	48	40	M36	26				139	107	35	30	48	40				
11	50	42	M39	28				141	109	37	32	50	42				
12	52	44	M40	30				143	111	39	34	52	44	25		8	
13	54	46	M42	32				145	113	41	36	54	46				

Окончание табл. Г.2

Номер варианта	D	D_1	d	d_1	R	R_1	R_2	l	l_1	l_2	l_3	t	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
14	56	48	M45	34				147	115	43	38	56	48				
15	58	50	M48	36				149	117	45	40	58	50				
16	60	52	M48	38				151	119	47	42	60	52				
17	62	54	M50	40	5	2	1	153	121	49	44	62	54	25	3	8	2
18	64	56	M52	42				155	123	51	46	64	56				
19	66	58	M55	44				157	125	53	48	66	58				
20	68	60	M58	46				159	127	55	50	68	60				

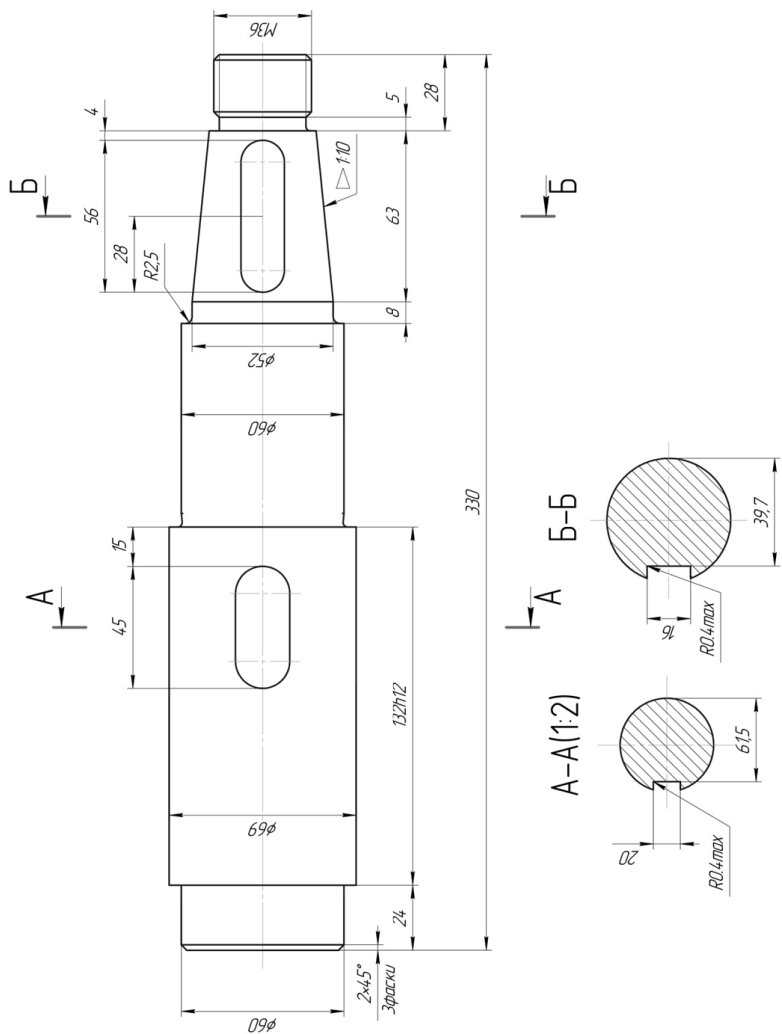


Рис. Г.3. Вариант 1

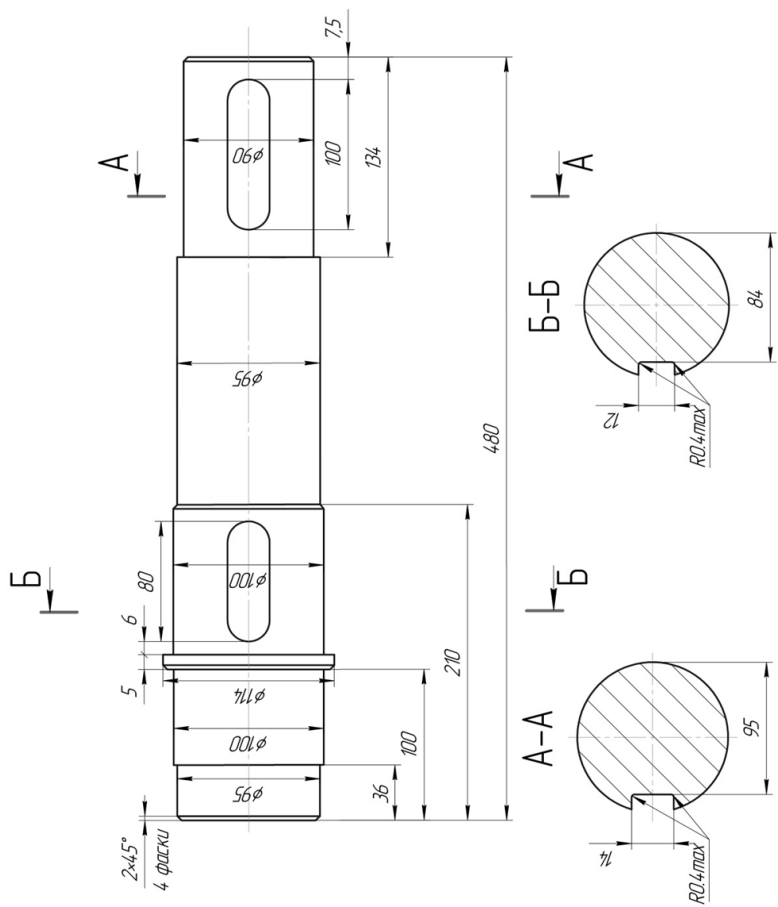


Рис. Г.4. Вариант 2

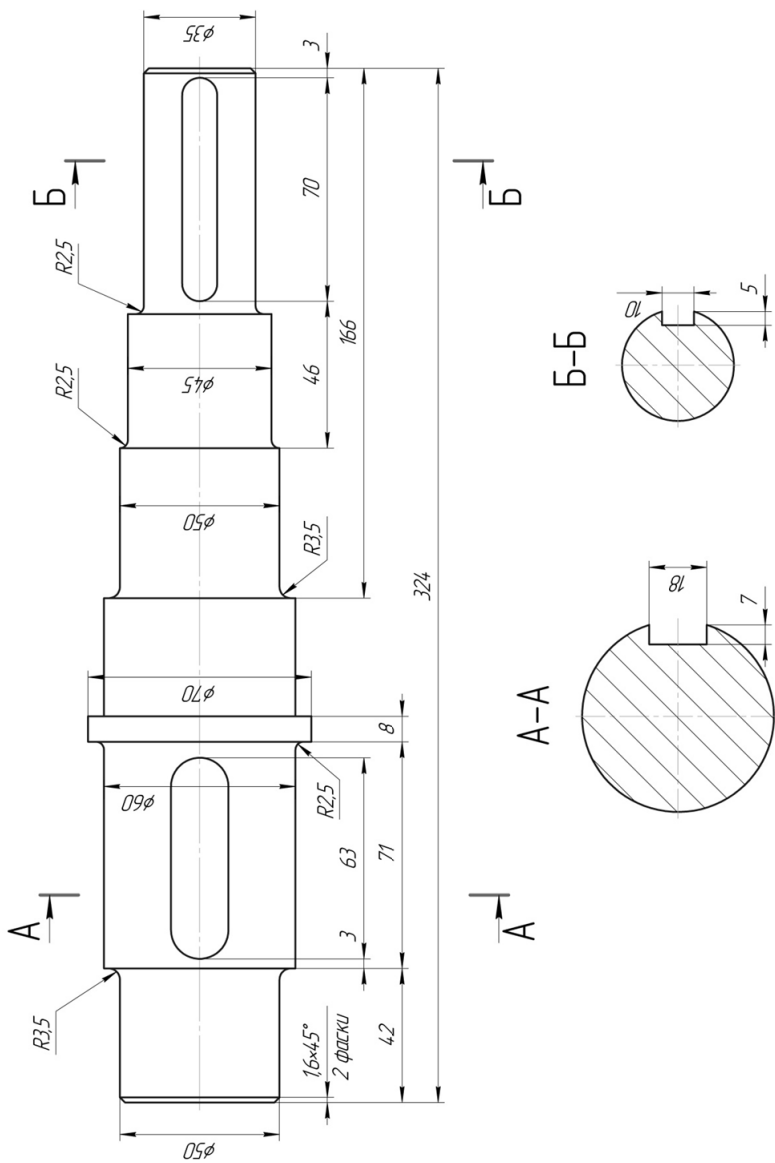


Рис. Г.5. Вариант 3

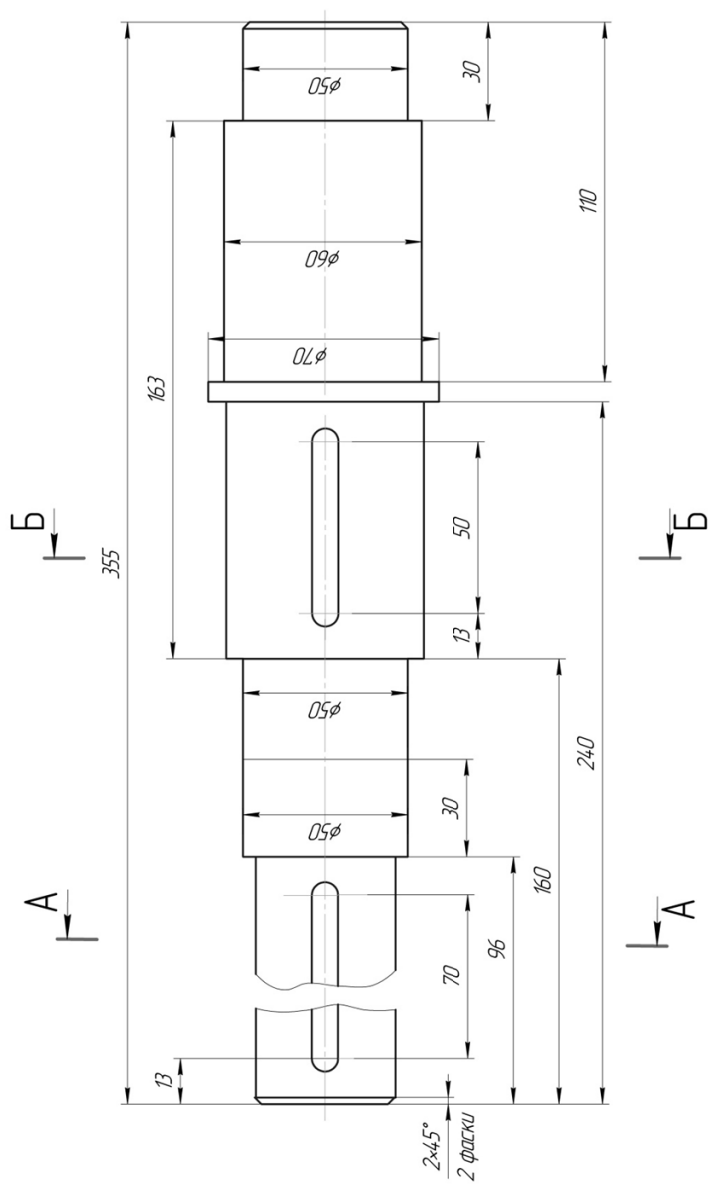


Рис. Г.7. Вариант 5

Модуль нормальный	мн	2
Число зубьев	Z	19
Угол наклона зуба	β	16,26
Направление зуба	-	правое
Исходный контур		ГОСТ 13755-68
Степень точности по ГОСТ 1643-81	-	9
Делительный диаметр	d	39,583

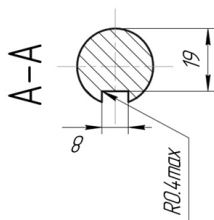
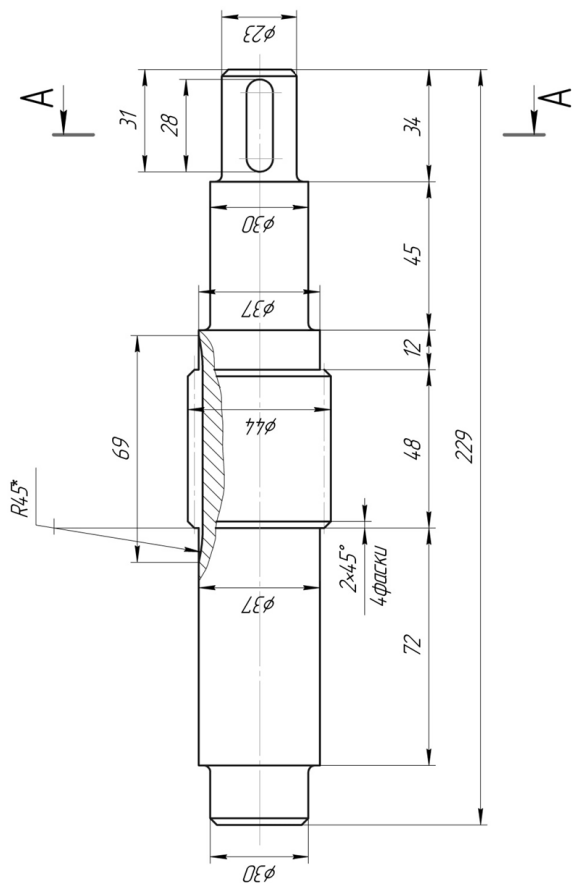
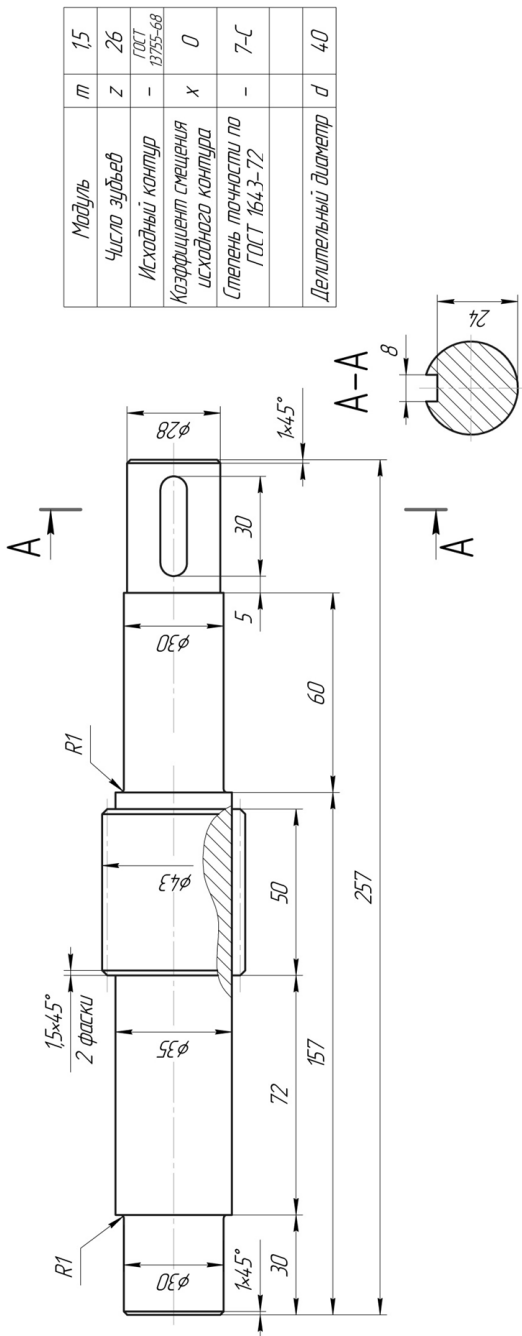


Рис. Г.9. Вариант 7



Модуль	т	15
Число зубьев	z	26
Исходный контур	-	ГОСТ 13755-68
Коэффициент смещения исходного контура	x	0
Степень точности по ГОСТ 1643-72	-	7-С
Делительный диаметр	d	40

Рис. Г.10. Вариант 8

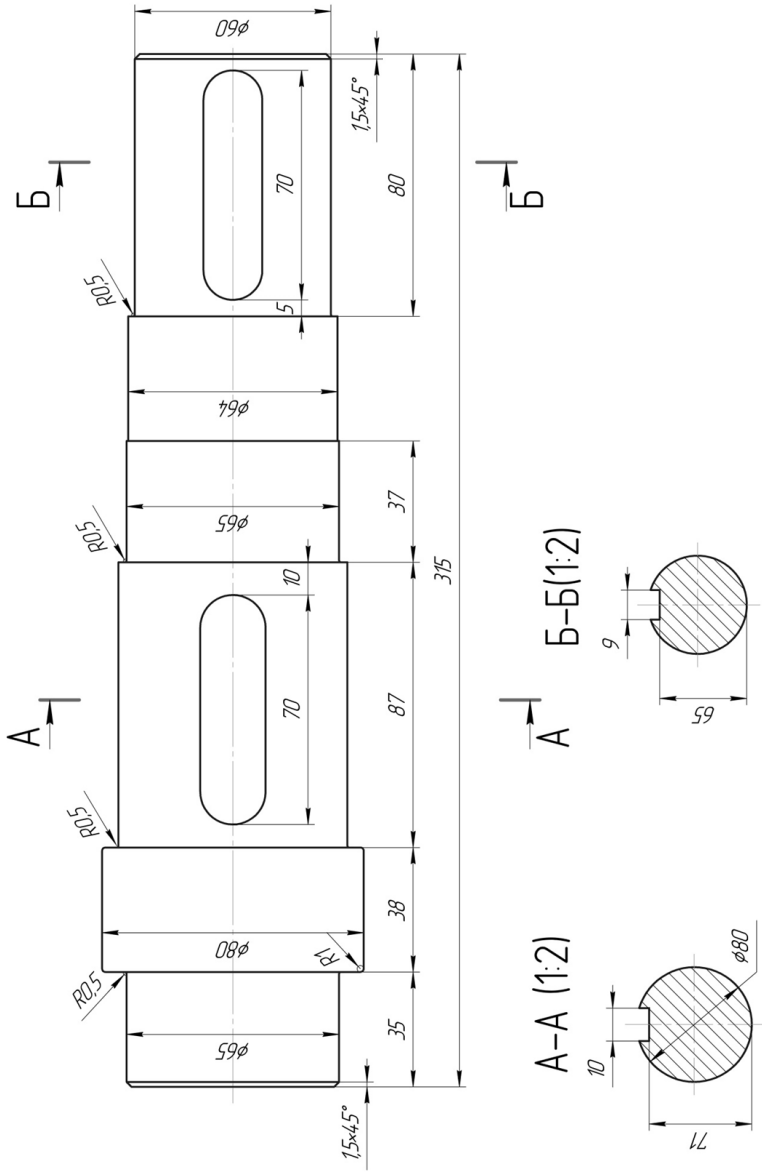
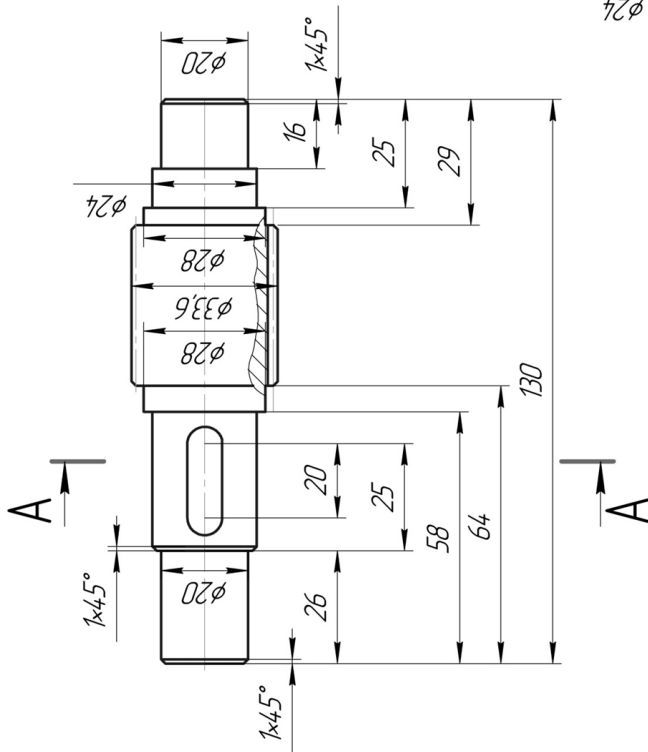


Рис. Г.11. Вариант 9



модуль	<i>m</i>	1
число зубьев	<i>Z</i>	31
угол наклона	<i>B</i>	111
нормальный исходный контур	-	ГОСТ 13755-81
коэф. смещения	<i>X</i>	0
степень точности	-	9
делительный диаметр	<i>d</i>	316

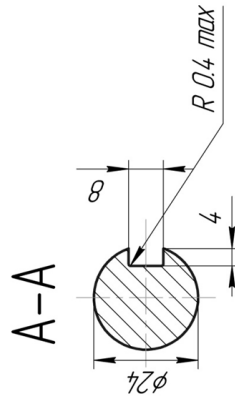
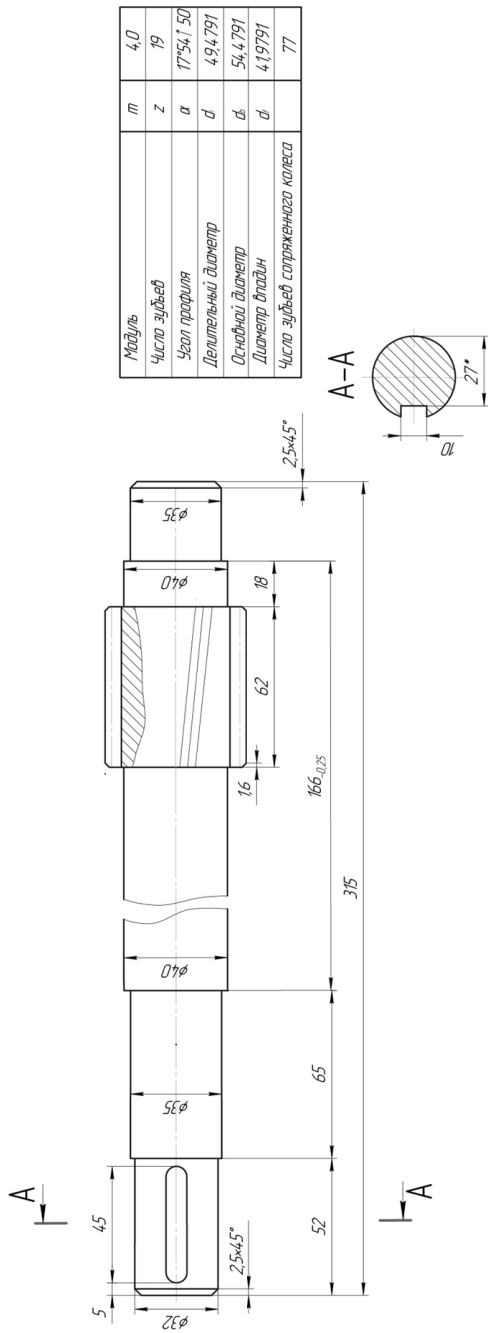


Рис. Г.12. Вариант 10



Модуль	<i>m</i>	4,0
Число зубьев	<i>z</i>	19
Угол профиля	<i>α</i>	17°54,1'50"
Делительный диаметр	<i>d</i>	49,4791
Основной диаметр	<i>d_б</i>	54,4791
Диаметр дна дна	<i>d_в</i>	41,9791
Число зубьев сопряженного колеса		77

Рис. Г.13. Вариант 11

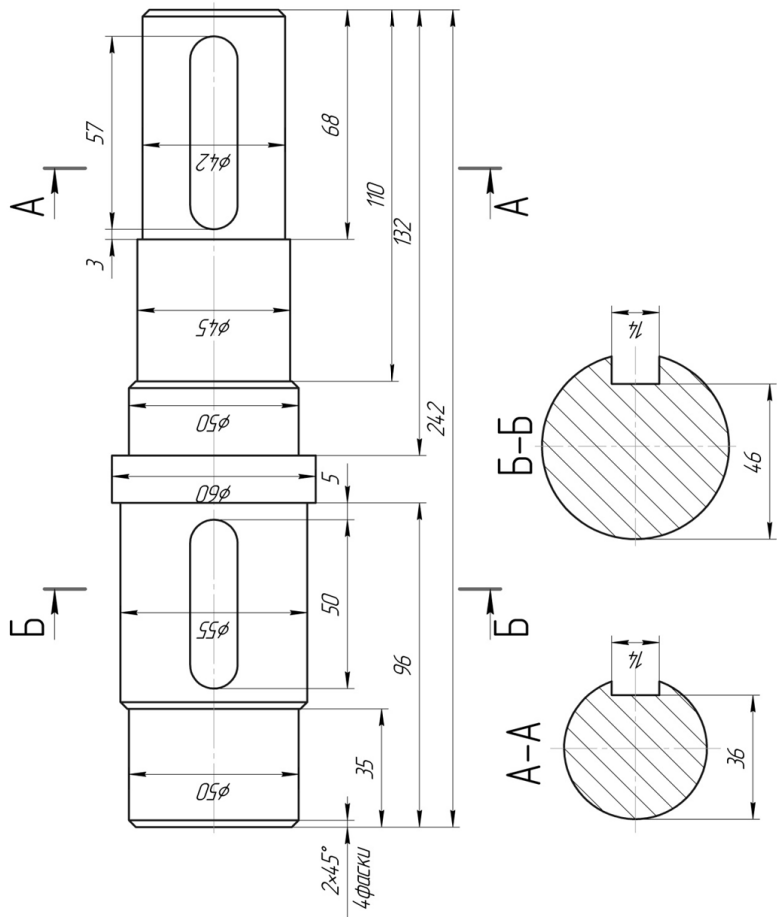


Рис. Г.14. Вариант 12

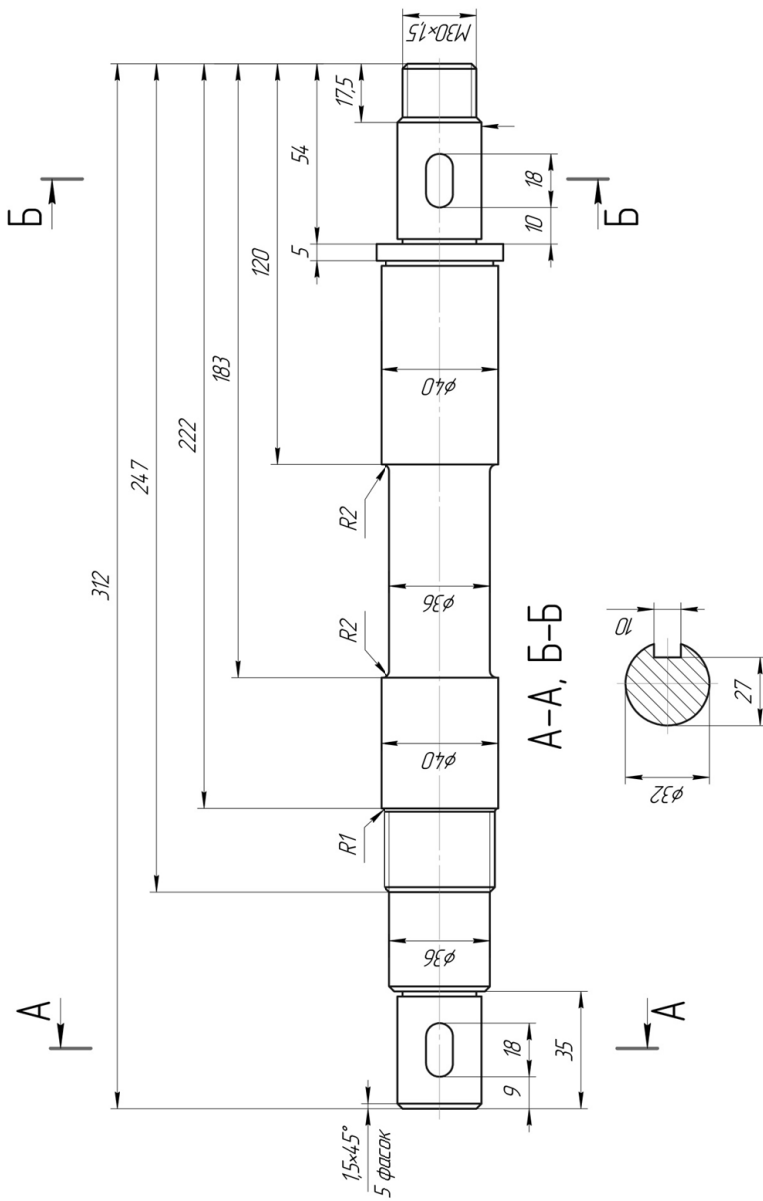
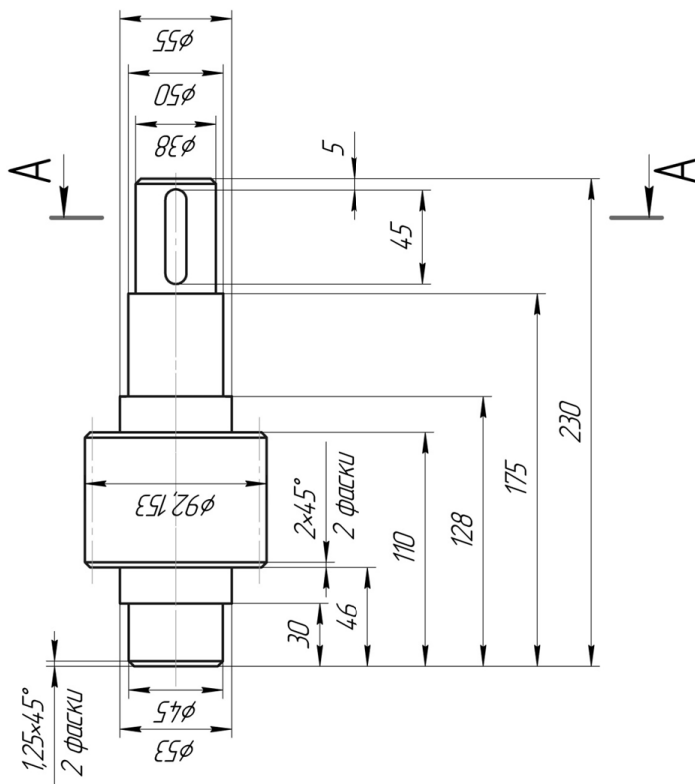


Рис. Г.15. Вариант 13



модуль	<i>m</i>	3
число зубьев	<i>z</i>	28
диаметр делительной окружности	<i>d</i>	86,153
коэффициент смещения	<i>x</i>	0
угол наклона зубьев	β	12°50'
степень точности	-	9-B

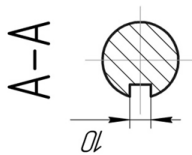


Рис. Г.16. Вариант 14

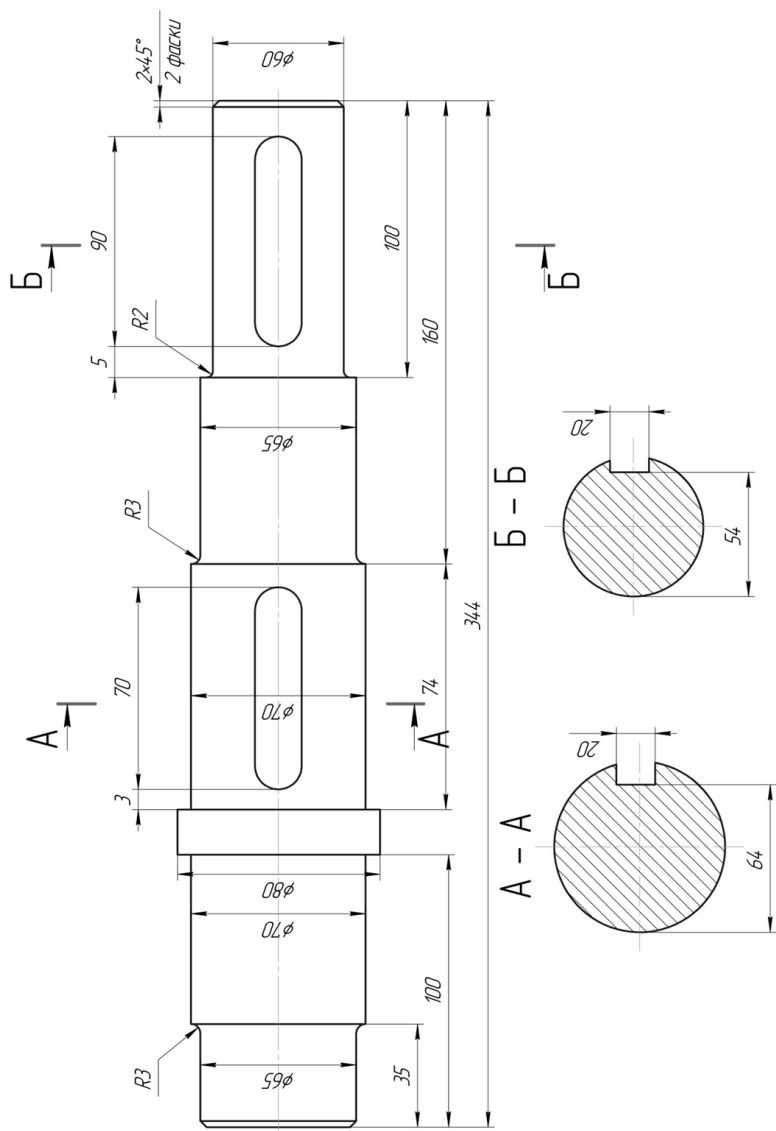


Рис. Г.17. Вариант 15

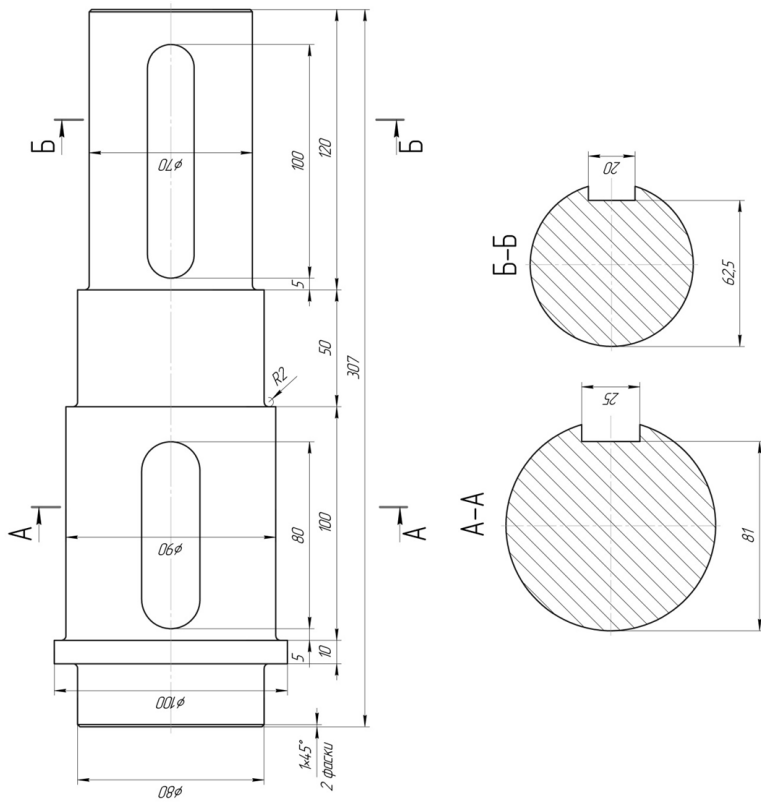


Рис. Г.18. Вариант 16

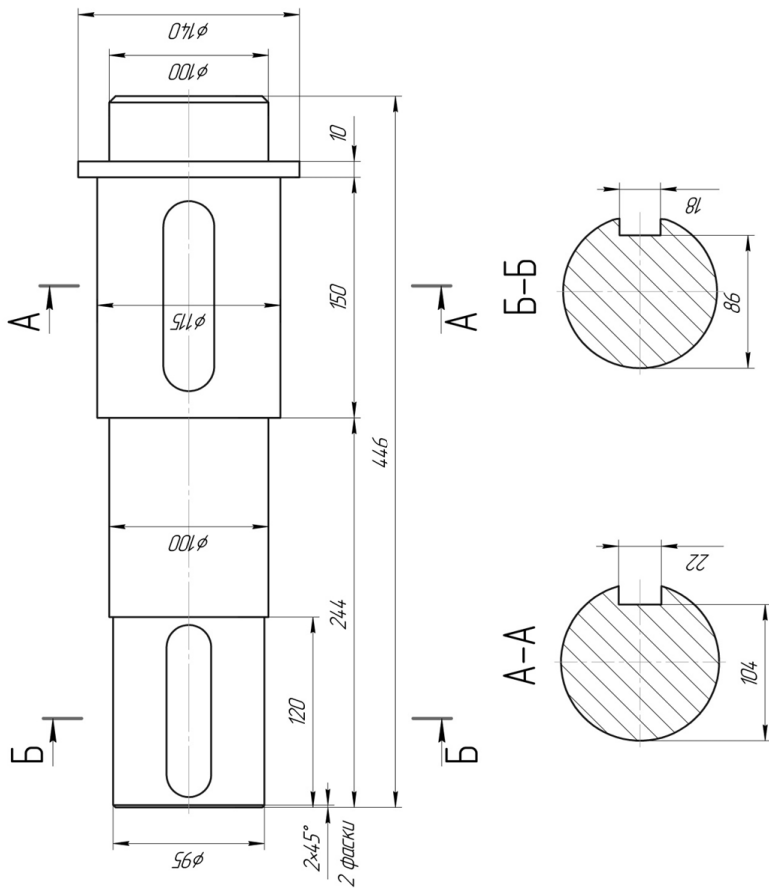


Рис. Г.19. Вариант 17

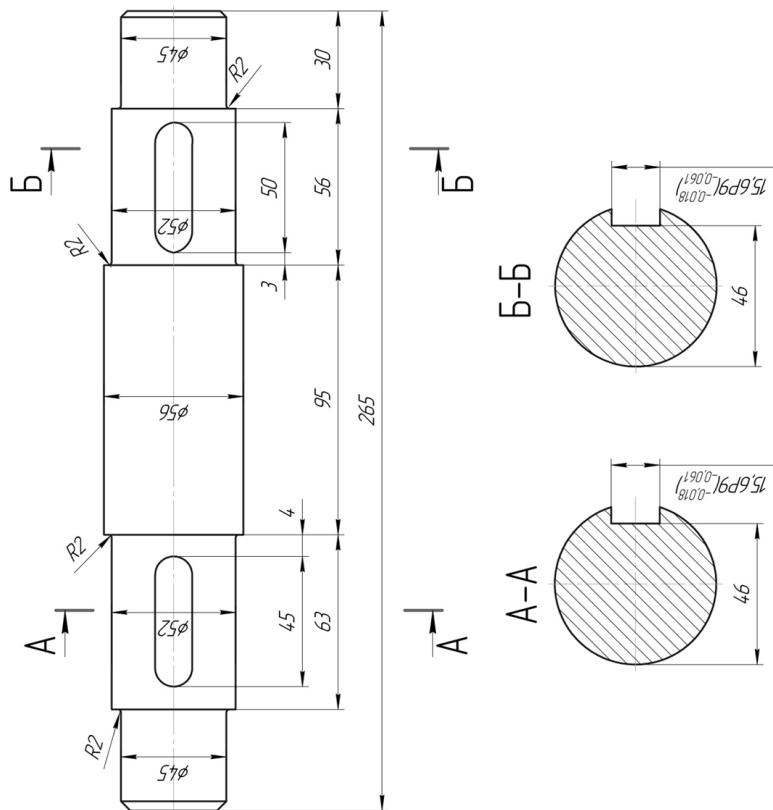


Рис. Г.20. Вариант 18

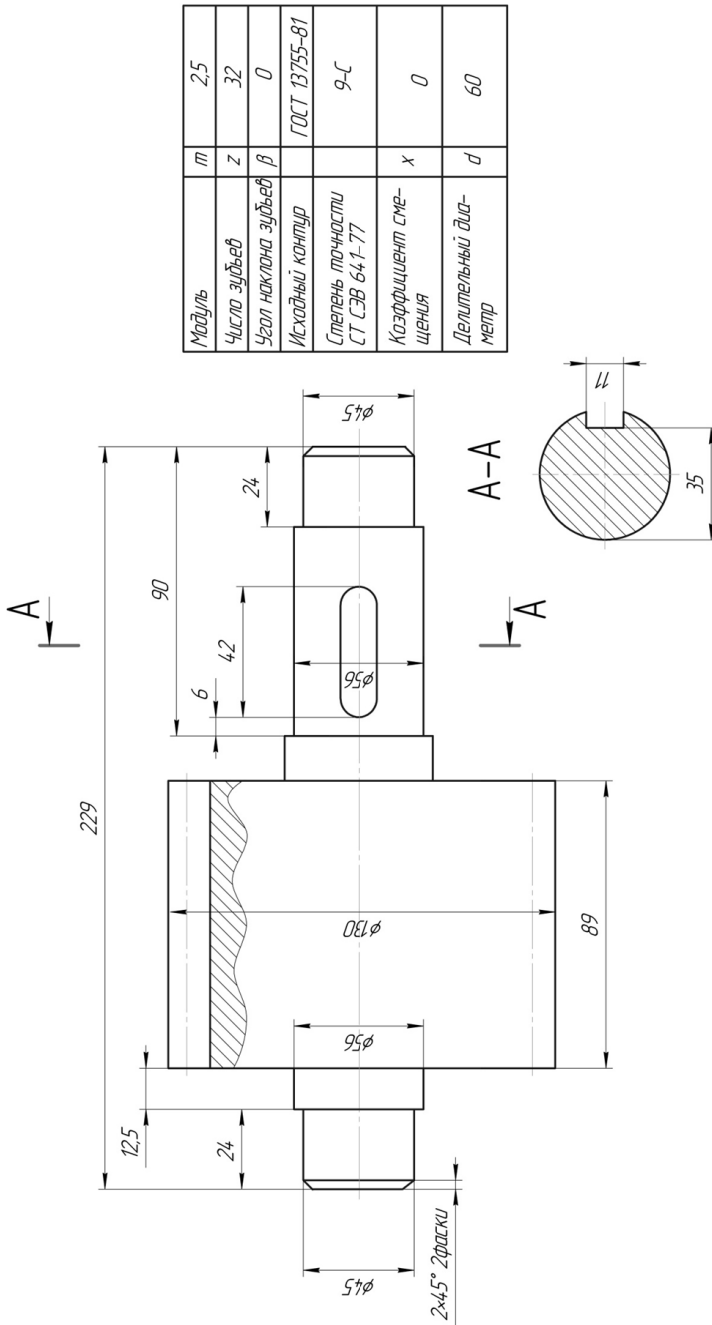


Рис. Г.21. Вариант 19

Модуль	<i>m</i>	3
Число зубьев	<i>z</i>	23
Угол наклона зубьев	<i>β</i>	10° 15'
Направление линии зуба	-	Левое
Исходный контур	-	ГОСТ 13755-81
Степень точности	-	9-G
Коэффициент смещения	<i>x</i>	0
Делительный диаметр	<i>d</i>	70

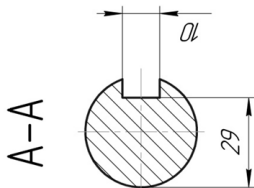
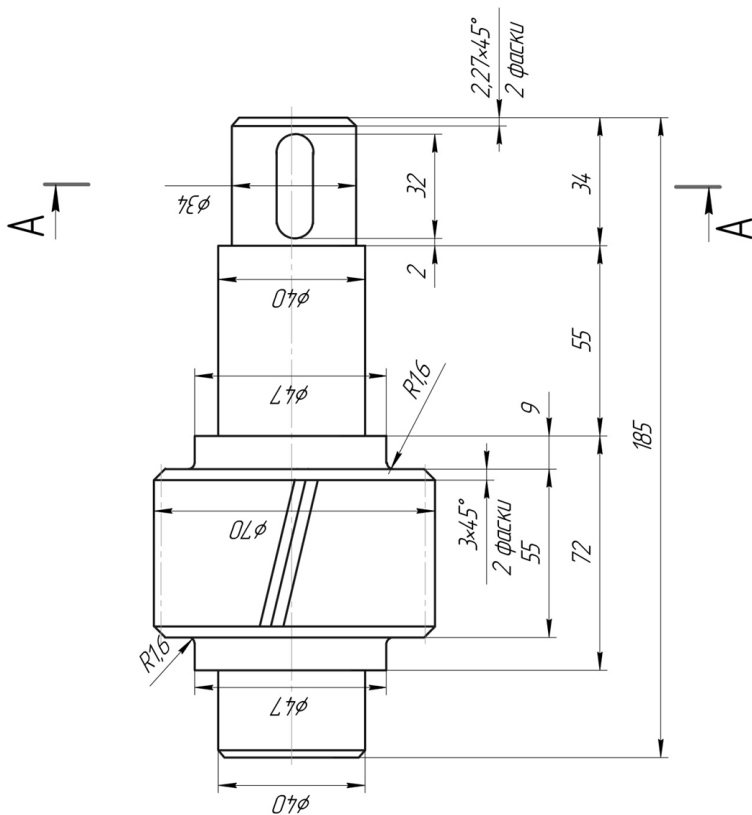


Рис. Г.22. Вариант 20