

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Политехнический институт
Кафедра «Технология машиностроения»

Утверждено на заседании кафедры
«Технология машиностроения»
«19» марта 2020г., протокол №10

Заведующий кафедрой

 А.А. Маликов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению курсовой работы
по дисциплине
«Автоматизация транспортировки, загрузки и сборки изделий»
основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

с профилем
Автоматизация технологических процессов и производств в
машиностроении

Формы обучения: очная, заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 150304-01-20

Тула 2020 год

Разработчик(и) методических указаний

Лобанов А.В., доцент, к.т.н.

(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)

(подпись)

Содержание

Введение.....	3
1. Технологическая часть	
1.1 Описание детали, заготовки и материала.....	4
1.2 Выбор заготовки и расчет ее массы.....	5
1.3 Выбор технологического оборудования и оснастки.....	8
1.4 Разработка операционной технологии.....	10
1.5 Подбор режущего инструмента и расчет режимов резания...	11
1.6 Подготовка управляющей программы для станка с ЧПУ...	23
2. Построение РТК для обработки детали	
2.1 Расчет требуемого количества основного технологического оборудования из условия выполнения годовой программы.....	39
2.2 Выбор промышленного робота.....	42
2.3 Выбор захватного устройства.....	44
2.4 Выбор транспортных устройств.....	49
2.5 Разработка компоновочной схемы РТК.....	50
2.6 Основные сведения о программировании роботов.....	52
2.7 Циклограмма работы РТК.....	55
Заключение	56
Список литературы.....	57
Приложения.....	59

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа выполняется с целью закрепления знаний по курсу "Автоматизация транспортировки, загрузки и сборки изделий" и развития навыков самостоятельной работы студентов при разработке технического задания, проектировании и эксплуатации роботизированных технологических комплексов (РТК) для обработки деталей типа тел вращения.

Задачами выполнения курсовой работы являются:

- получение навыков проектирования РТК на базе стандартного технологического оборудования;
- проработка ряда вопросов, связанных с разработкой планировочных схем и циклограмм работы РТК;
- приобретение практических навыков выбора и расчета схватов промышленных роботов.

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Тематика курсовой работы

В курсовой работе проектируется роботизированный технологический комплекс для обработки деталей типа тел вращения. Производится выбор необходимой модели промышленного робота по грузоподъемности и характеристикам рабочей зоны и его схвата, необходимого для выполнения требуемых манипуляций с заданной точностью. В «КОМПАС-3D» разрабатывается рациональная планировочная схема РТК и исследуется цикл его работы с точки зрения максимальной производительности и надежности. Это позволяет осветить в курсовом проекте все аспекты синтеза РТК.

Исходные данные к курсовой работе

Исходными данными являются тип и габаритные размеры изготавливаемой детали, ее материал и величина шероховатости обработанных поверхностей, годовой выпуск.

Задание на курсовую работу

Задание на проектирование РТК оформляется на типовом бланке отдельно для каждого студента. В задании указывается номер варианта и перечисляются исходные данные.

Руководитель по согласованию со студентом может выдать задание, которое по сложности эквивалентно типовому заданию.

Объем курсовой работы

Результаты выполнения курсовой работы представляются в виде пояснительной записки объемом 35...70 листов формата А4 и графического материала объемом 2 листа формата А1 (4 листа формата А2).

Работа над курсовой работой

Работа над курсовой работой включает следующие этапы:

Этап 1. Технологический. Формирование маршрутного технологического процесса, определение состава операций, выбор технологической оснастки и инструмента.

На данном этапе выбирается заготовка, разрабатывается маршрутный технологический процесс, определяется состав операций.

Целью этапа является определение типа основного технологического оборудования, режимов обработки, норм штучного времени, перечня технологической оснастки и инструмента.

Этап 2. Расчет количества потребного основного технологического оборудования. На основании полученных в результате выполнения этапа 1 норм времени определяется количество потребного основного технологического оборудования исходя из годовой программы выпуска деталей.

Этап 3. Выбор промышленного робота для загрузки оборудования и разработка планировочной схемы РТК.

Перед проектированием изучают типовые схемы размещения оборудования и типовые структуры РТК для различных отраслей промышленности. Затем выбирают требуемый типоразмер тактового стола и приступают к проектированию компоновочной схемы РТК.

Этап 4. Разработка циклограммы работы РТК. Перед проектированием изучают типовые циклограммы работы роботизированных технологических комплексов механической обработки. Изучив их, разрабатывают циклограмму работы спроектированного РТК, определяют длительность отдельных переходов цикла и общую продолжительность цикла обработки данной детали на основании полученных в этапе 1 норм времени.

Разработка циклограммы работы РТК происходит по критерию минимального времени цикла обработки – $T_{ц}$. С этой целью строится циклограмма работы основных элементов РТК: промышленного робота (ПР) и станков. Последовательность выполнения транспортных операций выбирается с таким расчетом, чтобы затратить минимальное время на простои в ожидании загрузки или разгрузки станка, для которого операционное время больше, поскольку именно это обстоятельство позволяет минимизировать $T_{ц}$.

Этап 5. Определение основных эксплуатационных характеристик РТК. Предварительно проводится анализ затрат времени при обслуживании роботом группы основного технологического оборудования. Осуществляется расчет коэффициента загрузки промышленного робота и основного технологического оборудования.

ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ

Объем пояснительной записки должен составлять 35-70 страниц формата А4. Очередность разделов следующая:

- титульный лист;
- бланк задания;
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- библиографический список;
- приложения.

Во введении должны быть кратко описаны возможности промышленных роботов и их роль в развитии современного производства. В заключении дается краткая характеристика разработанного РТК и области его применения. В основной части описываются расчеты, представленные в данных методических указаниях. Графическая часть курсовой работы должна содержать следующие материалы:

- «Планировка РТК» - лист формата А2
- "Модель планировки РТК в «КОМПАС 3D» – лист формата А2;
- "Циклограмма работы РТК" – лист формата А2
- "Захватное устройство ПР" – лист формата А2

ВВЕДЕНИЕ

Промышленные роботы (ПР) находят все более широкое применение, заменяя человека (или помогая ему) на участках с опасными, вредными для здоровья, тяжелыми или монотонными условиями труда. Особенно важно то, что ПР можно применять для выполнения работ, которые на могут быть механизированы или автоматизированы традиционными средствами. ПР создают предпосылки для перехода к качественно новому уровню автоматизации – к созданию гибких автоматических производственных систем, работающих с минимальным участием человека.

В данной курсовой работе проектируется роботизированный технологический комплекс для обработки деталей типа тел вращения. Производится выбор необходимой модели промышленного робота по грузоподъемности и характеристикам рабочей зоны и его захватного устройства, необходимого для выполнения требуемых манипуляций с заданной точностью. Разрабатывается рациональная планировочная схема РТК и исследуется цикл его работы с точки зрения максимальной производительности и надежности.

1. Технологическая часть

1.1 Описание детали, заготовки и материала

В качестве задания был выдан эскиз детали. Он приведен на рисунке 1.

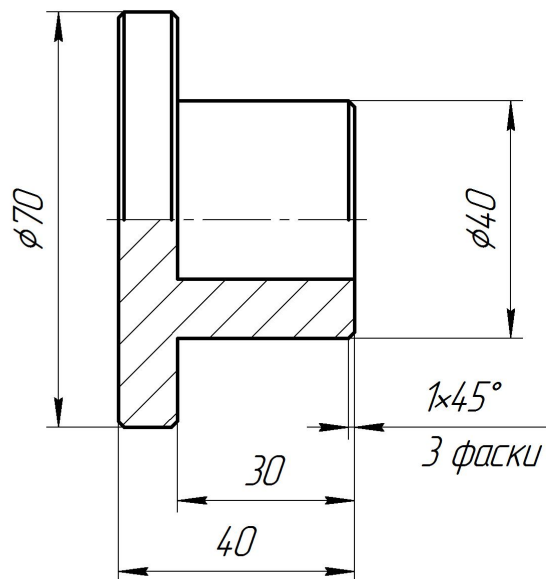


Рисунок 1 – Эскиз детали

Материал заготовки – алюминиевый сплав АЛ2. Для деталей данного типа исходной обычно является литая заготовка. Припуск литой заготовки примем равным 2 мм на сторону. Эскиз заготовки приведен на рисунке 2.

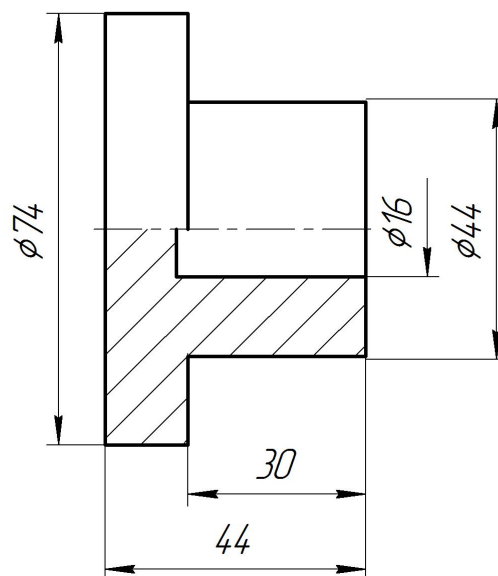


Рисунок 2 – Эскиз заготовки

Приведем основные свойства материала, используемого для заготовки. Они потребуются далее для расчета режимов резания, так как их расчет производится в зависимости от твердости материала (рисунок 15).

Материал АЛ2 относится к литейным алюминиевым сплавам. Данный сплав относится к силуминам, имеет хорошую коррозионную стойкость, а также повышенный уровень литейных и механических свойств. Плотность материала составляет $2,65 \text{ г/см}^3$. По действующим стандартам ГОСТ 1583-93 сплав АЛ2 содержит до 90% алюминия, легируемого кремнием, содержание которого находится в пределах от 10 до 13% [1].

Твердость сплава АЛ2 по Бриннелю: $\text{HB}_{10}^{-1} = 55 \text{ МПа}$, предел кратковременной прочности: $\sigma_B = 160 - 170 \text{ МПа}$.

Силумины, к которым относится алюминиевый сплав АЛ2 сравнительно легко обрабатываются резанием. Эти материалы могут обрабатываться стандартным инструментом общего применения, но если требуется повысить скорость и качество обработки, необходимо применять специализированный инструмент [1].

1.2 Выбор заготовки и расчет ее массы

Расчет массы заготовки был выполнен в системе «Компас-3D».

Для этого была построена 3D модель заготовки. Она изображена на рисунке 3.

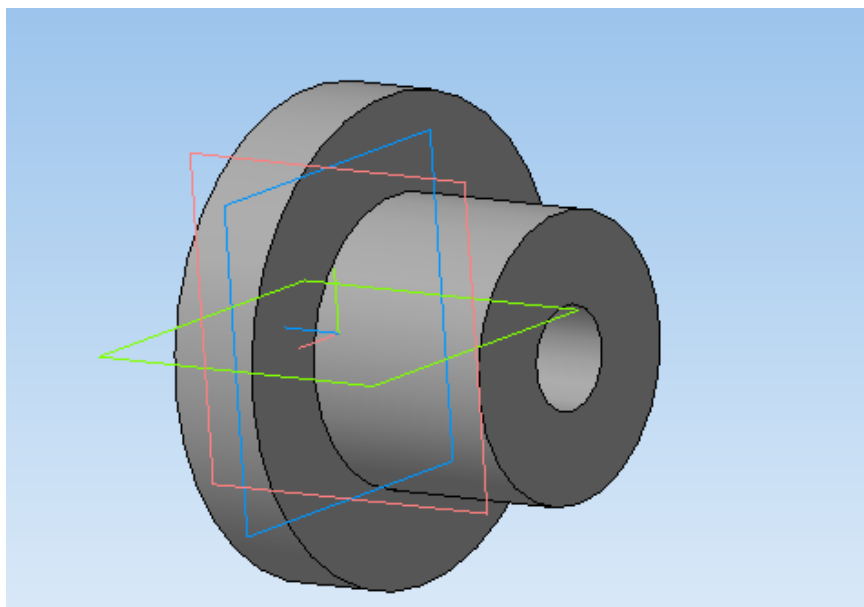


Рисунок 3 - 3D-модель заготовки

Для определения массы и другие геометрических характеристик заготовки в системе Компас-3D необходимо задать материал. Материалом заготовки является алюминиевый сплав АЛ2.

Для выбора материала заготовки необходимо совершить следующие действия: перейти в окно «Дерево модели» и нажать правой кнопкой по пункту «Деталь» (рисунок 4).

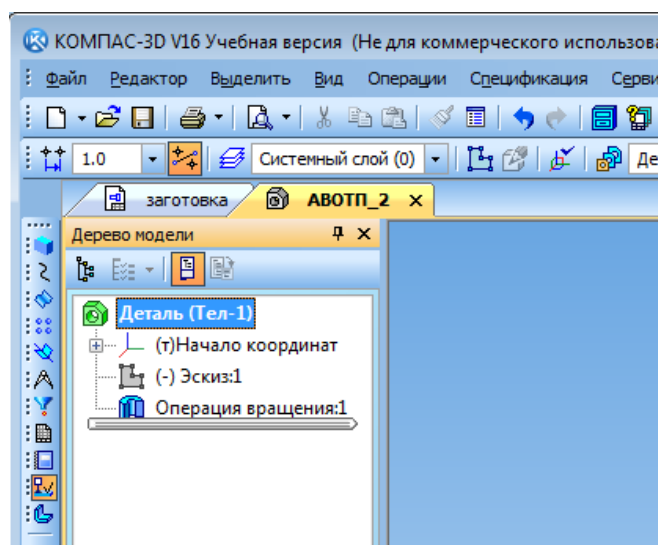


Рисунок 4 – Окно «Дерево модели»

Для определения массы заготовки используются массово-центровочные характеристики (МЦХ) модели. Для их определения необходимо в пункте «Деталь» выбрать вкладку «Свойства модели» и в панели свойств во вкладке «Параметры МЦХ» нажать первую слева клавишу «Выбрать материал из списка», из которого выбрать соответствующий заданию материал. В данном случае это алюминиевый сплав АЛ2. Окно выбора материала заготовки приведено на рисунке 5.

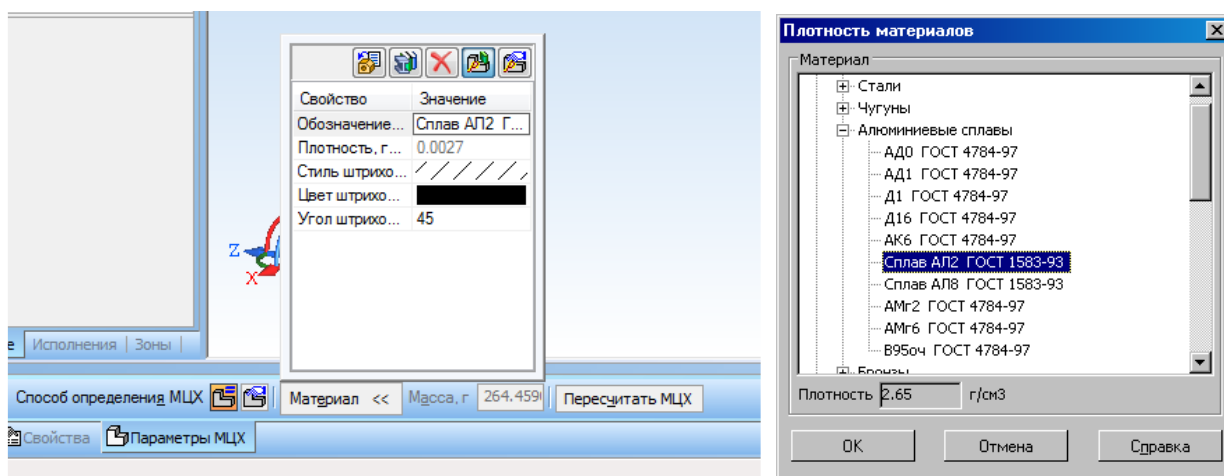


Рисунок 5 – Выбор материала заготовки

Для того, чтобы узнать параметры заготовки во вкладке «Параметры МЦХ» необходимо нажать кнопку «Пересчитать МЦХ». В результате было

получено окно с результатами расчета параметров МЦХ, приведенное на рисунке 6.

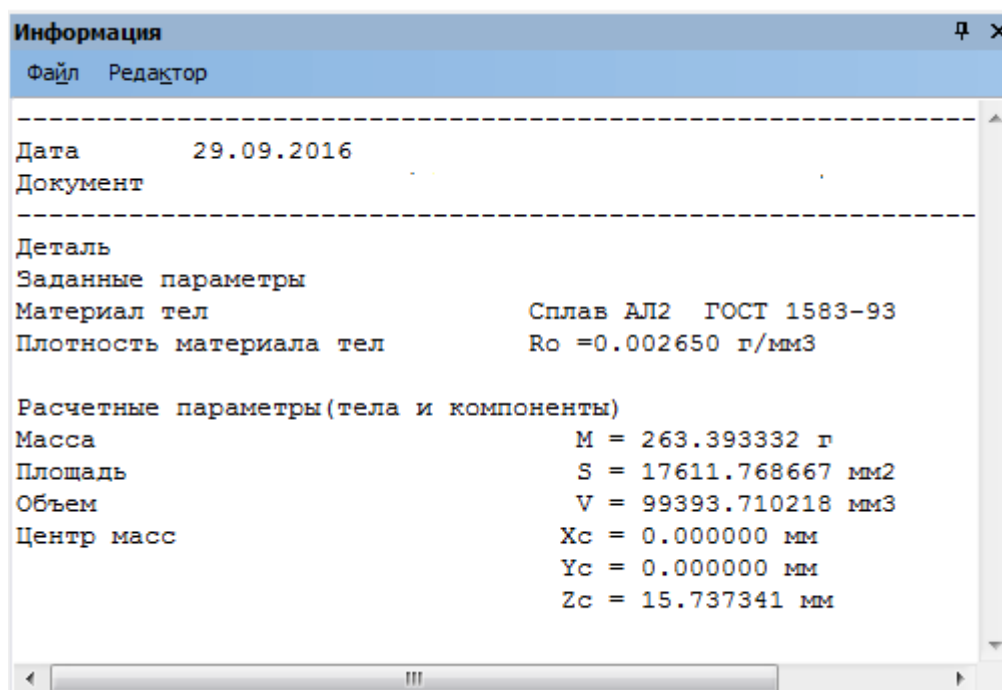


Рисунок 6 – Результаты расчета массы заготовки

В результате масса заготовки составила 263,4 г.

Также было произведено построение трехмерной модели детали. Она приведена на рисунке 7.

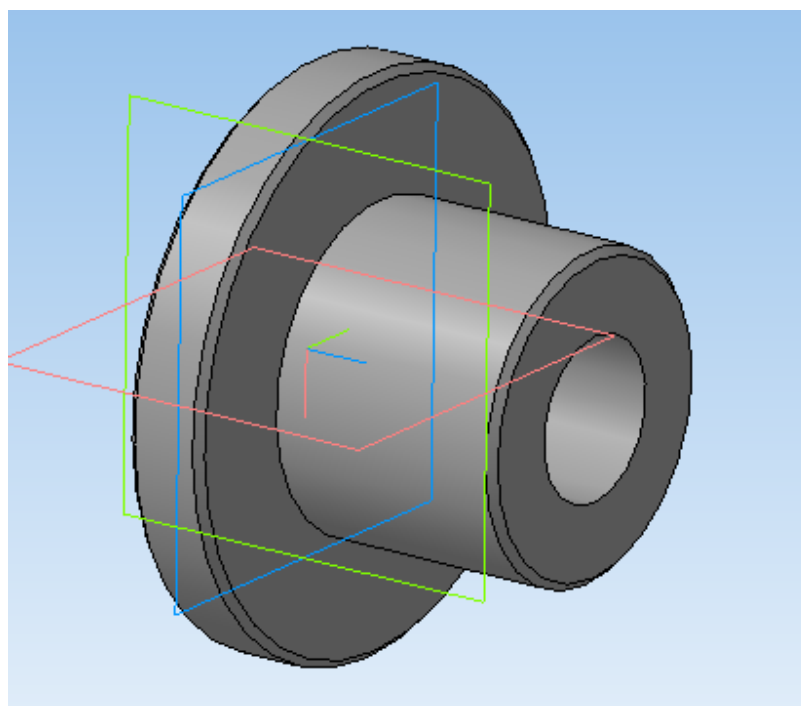


Рисунок 7 – 3D модель детали

1.3 Выбор технологического оборудования и оснастки

Под технологической оснасткой понимается совокупность устройств, обеспечивающих базирование и закрепление заготовки на рабочей позиции технологического оборудования.

Для получения основного времени обработки детали необходимо разработать управляющую программу в системе SprutCAM. Поэтому выбор станка осуществлялся из библиотеки станков имеющихся в системе SprutCAM. Из представленных в библиотеке системы SprutCAM станков в качестве обрабатывающего оборудования, на котором можно получить заданную деталь с заданным качеством и размерами, выбираем токарно-фрезерный станок с ЧПУ марки EMCO модели MAXXTURN 65. Данный станок является универсальным токарным центром для комплексной обработки заготовок. Окно выбора станка приведено на рисунке 7.

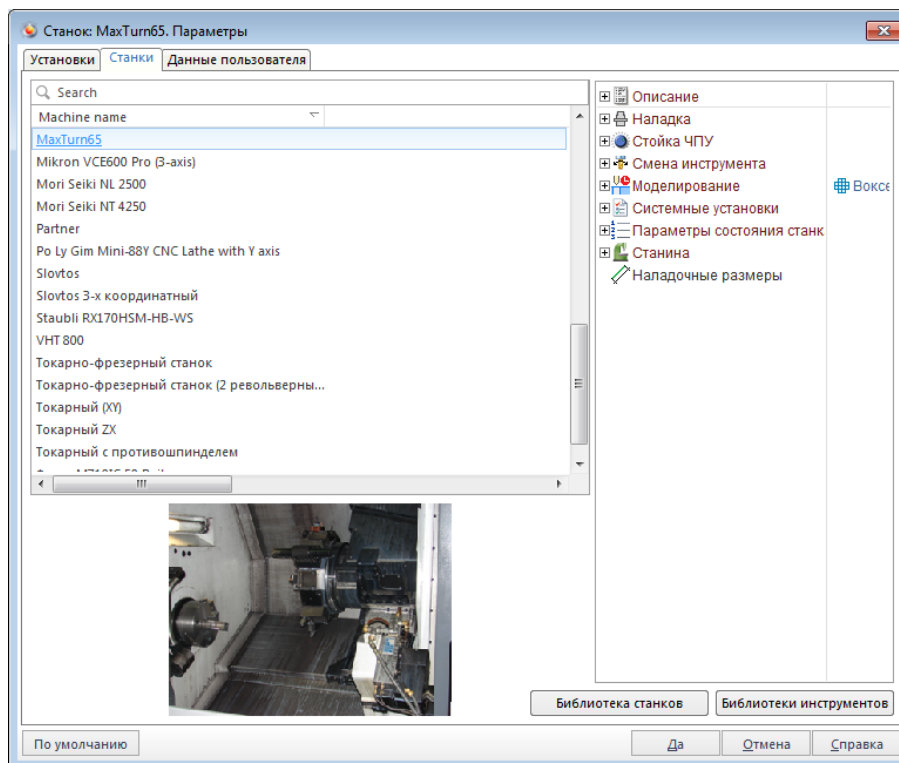


Рисунок 7 – Окно выбора станка в системе SprutCAM

Общий вид станка приведен на рисунке 8.



Рисунок 8 – Токарный центр EMCO MAXXTURN 65

Основные характеристики станка взяты из брошюры [3], приведенной на официальном сайте его изготовителя [2]. Станок EMCO MAXXTURN 65 имеет систему ЧПУ Fanuc-31iB, оснащен 12-позиционной револьверной головкой с приводным инструментом, а также имеет управляемую ось Y. Основные характеристики станка EMCO MAXXTURN 65 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики станка EMCO MAXXTURN 65

Максимальный диаметр точения	500 мм
Максимальная длина детали	550 мм
Наибольший диаметр детали над станиной	610 мм
Наибольший диаметр детали над салазками	360 мм
Максимальный диаметр прутковой заготовки	65 мм
Длина хода по оси X	260 мм
Длина хода по оси Z	610 мм
Максимальная скорость вращения шпинделя	5000 об/мин
Максимальная мощность привода	29 кВт
Максимальный крутящий момент	250 Нм
Диаметр отверстия шпинделя	73 мм
Скорость быстрого хода оси X	30 м/мин
Скорость быстрого хода оси Z	40 м/мин
Число инструментальных гнезд револьверной головки	12
Максимальное количество приводного инструмента	12
Максимальная скорость вращения приводного инструмента	5000 об/мин

Продолжение таблицы 1

Максимальная мощность привода	6,7 кВт
Погрешность позиционирования по осям X/Y/Z	3,5/ 3,5/ 4 мкм

Станок EMCO MAXXTURN 65 оснащен быстрой 12-позиционной револьверной головкой с сервоприводом для инструментов VDI40. Все гнезда могут держать инструмент для сверления, фрезерования и нарезки резьбы.

Так как отношение длины детали к ее диаметру $L/D = 44/74 = 0.59 < 4$, крепление производится в трехкулачковом самоцентрирующем патроне по ГОСТ 2675-80. Для закрепления заготовки был выбран трехкулачковый патрон ПЗК-200 диаметром 200 мм с прямыми и обратными кулачками.

1.4 Разработка операционной технологии

Проектирование технологического процесса (ТП) осуществляется с целью получения исходных данных для создания роботизированного технологического комплекса (РТК).

Технологический процесс разрабатывается с учетом основных и вспомогательных операций, в том числе операций наладки и переналадки.

Технологический процесс получения детали состоит из операций, выполняющихся за два установа. Список операций технологического процесса приведем в таблице 2.

Таблица 2 – Список операций ТП получения детали

№ операции	Название операции
Первый установ	
1	Подрезка торца на Ø70
2	Наружное точение Ø74 до Ø70
3	Точение фаски на Ø70
Второй установ	
4	Подрезка торца до Ø44
5	Точение фаски на Ø70
6	Подрезка торца Ø40
7	Растачивание отверстия Ø16 до Ø20
8	Наружное точение Ø40
9	Точение фаски на Ø40

Для подготовки управляющей программы для станка с ЧПУ осуществим выбор инструмента и расчет режимов резания для каждой операции технологического процесса получения детали.

1.5 Подбор режущего инструмента и расчет режимов резания

В качестве режущего инструмента выберем режущие неперетачиваемые пластины и державки из каталога фирмы Sandvik Coromant [4]. Выбор именно этого инструмента обоснован тем, что данная фирма является ведущим производителем режущего инструмента и инструментальной оснастки, а также предлагает широкий ассортимент сменных пластин с большим спектром геометрии и сплавов для всех видов токарной и фрезерной обработки деталей из различных материалов.

Для подбора режущего инструмента и расчета режимов резания используется справочник по инструменту CoroPlus® ToolGuide, приведенный на официальном сайте изготовителя инструментов Sandvik Coromant [5].

При использовании справочника ToolGuide необходимо перейти на сайт <http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/coroplus-toolguide>, где в верхнем окне указать настройки языка – (Текущий язык-русский). Окно настройки приведено на рисунке 9.

Для входа в справочник по инструменту CoroPlus® ToolGuide необходимо нажать кнопку «Вход в ToolGuide», расположенную над описанием основных функций ToolGuide. В результате открывается окно, изображенное на рисунке 10.

На первом шаге система ToolGuide предлагает выбрать тип детали, для которой будет подбираться инструмент и рассчитываться режимы резания. В данном случае деталь представляет собой тело вращения, поэтому выбираем тип детали «Симметричная вращающаяся».

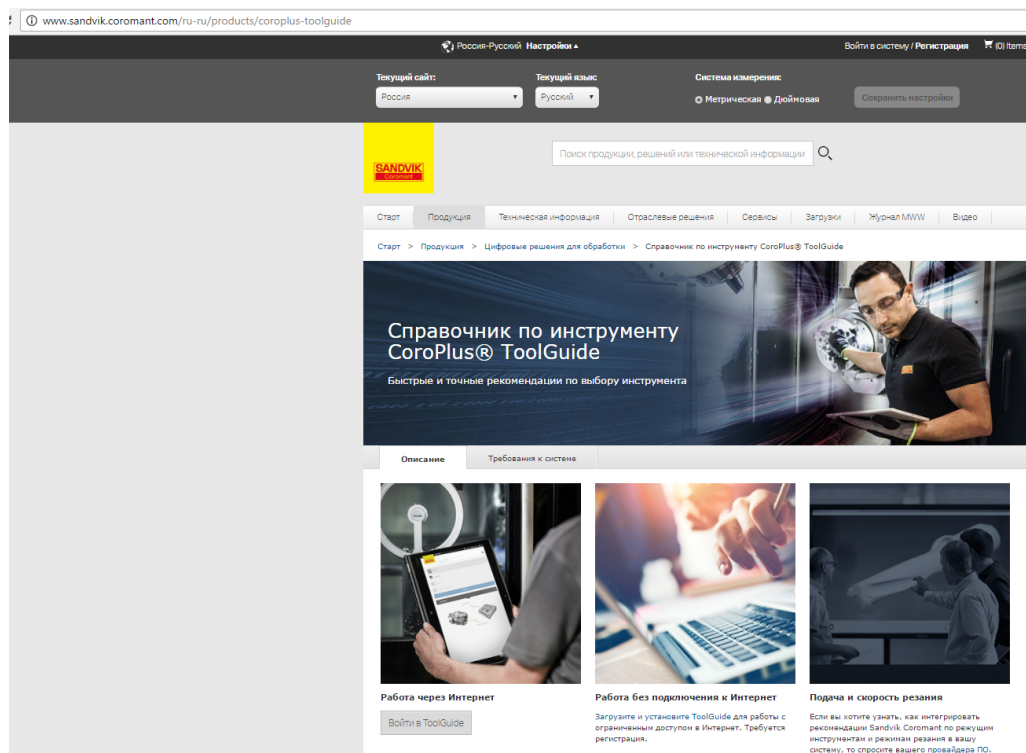


Рисунок 9 – Окно настройки языка справочника по инструменту CoroPlus® ToolGuide

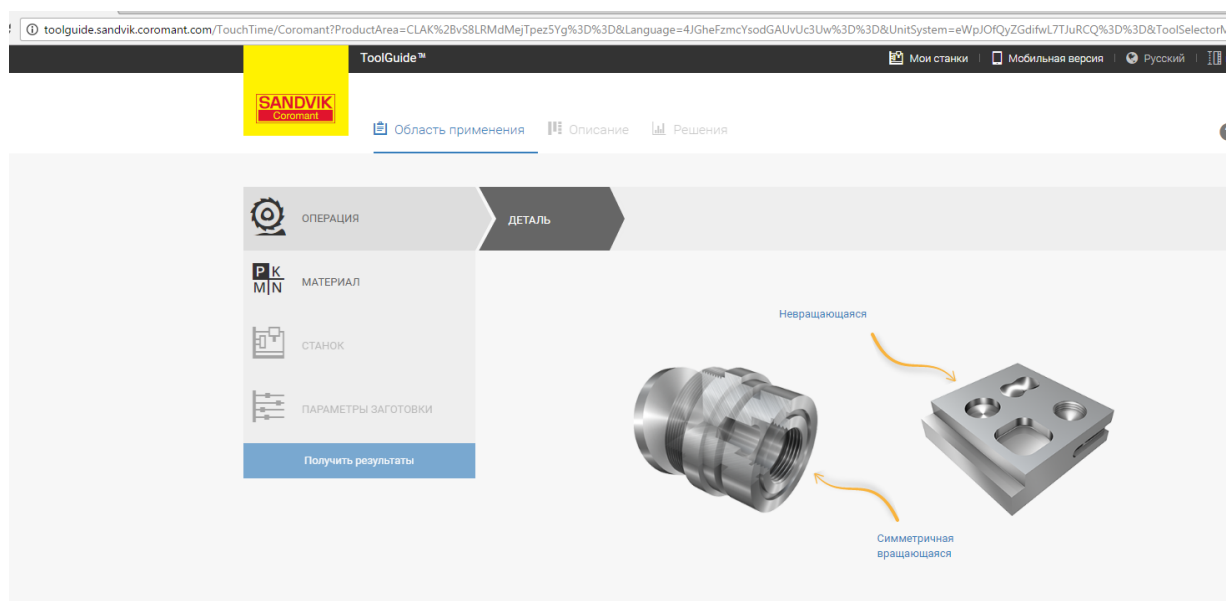


Рисунок 10 – Окно справочника по инструменту CoroPlus® ToolGuide

На втором шаге (рисунок 11) выбирается вид токарной обработки (наружная обработка, внутренняя обработка, нарезание резьбы и т.д.) В зависимости от типа детали выбирается соответствующий вид операции. После выбора вида токарной обработки осуществляется выбор обрабатываемой поверхности. Пример окна для наружной токарной обработки изображен на рисунке 12.

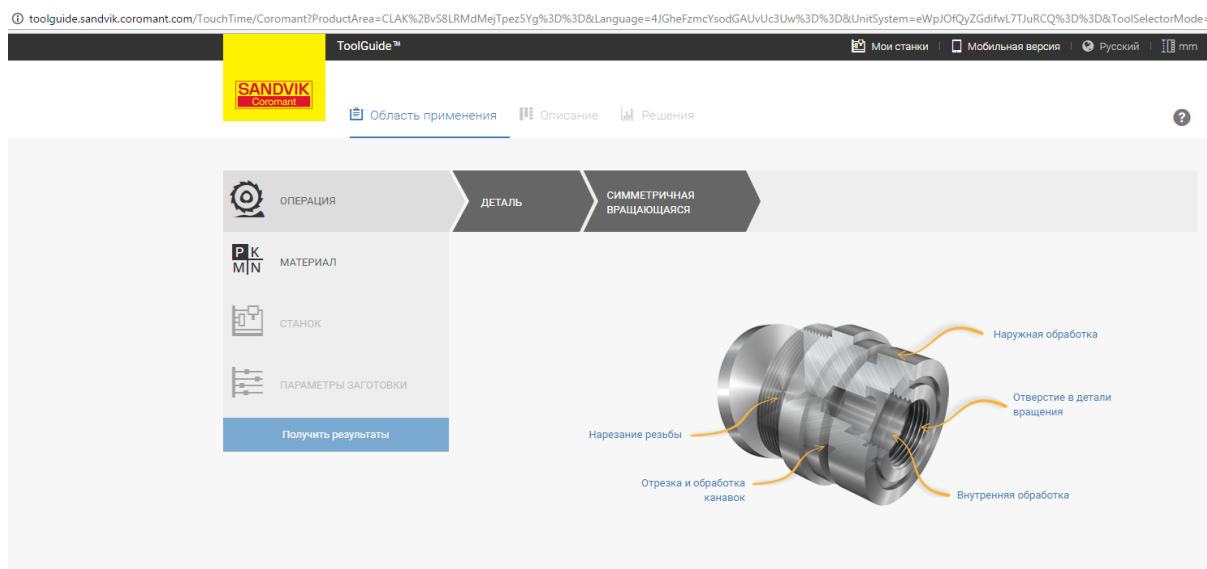


Рисунок 11 – Окно выбора вида токарной операции

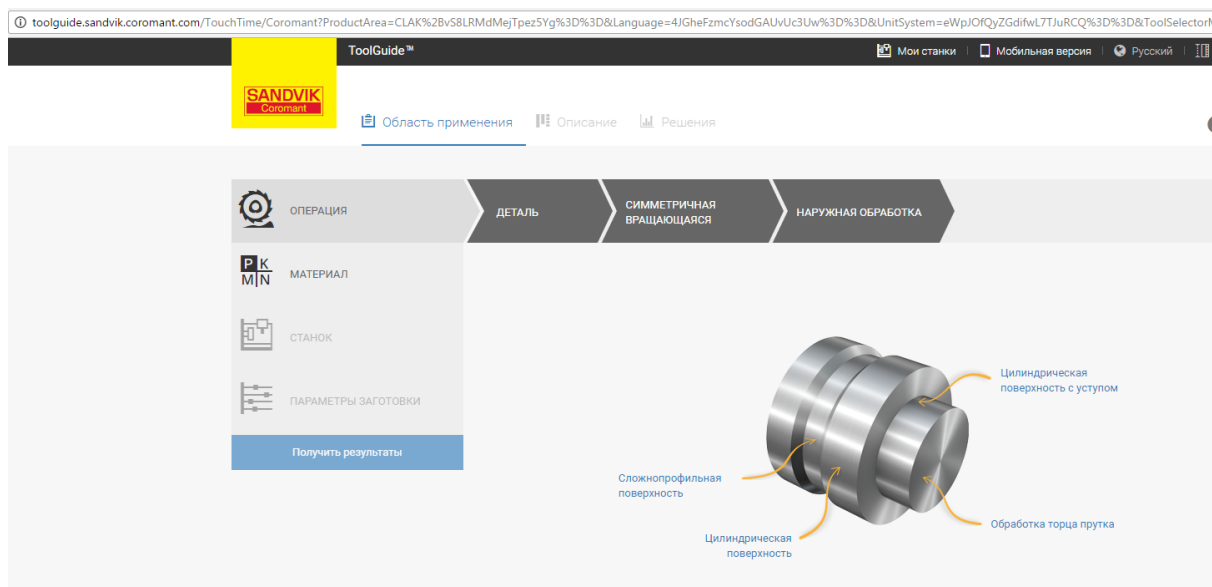


Рисунок 12 – Окно выбора обрабатываемой поверхности

В результате выбора типа обрабатываемой поверхности появляется окно, изображенное на рисунке 13. В данном окне приведены три основных пункта – выбор материала, выбор станка и задание параметров обработки.

Выбор материала заготовки осуществляется нажатием соответствующего пункта. Выбор материала заготовки выполняется по шести группам в соответствии со стандартом ISO 513:

ISO P – Сталь.

ISO M – Нержавеющая сталь.

ISO K – Чугун.

ISO N – Цветные металлы.

ISO S – Жаропрочные сплавы.

ISO H – Материалы высокой твердости.

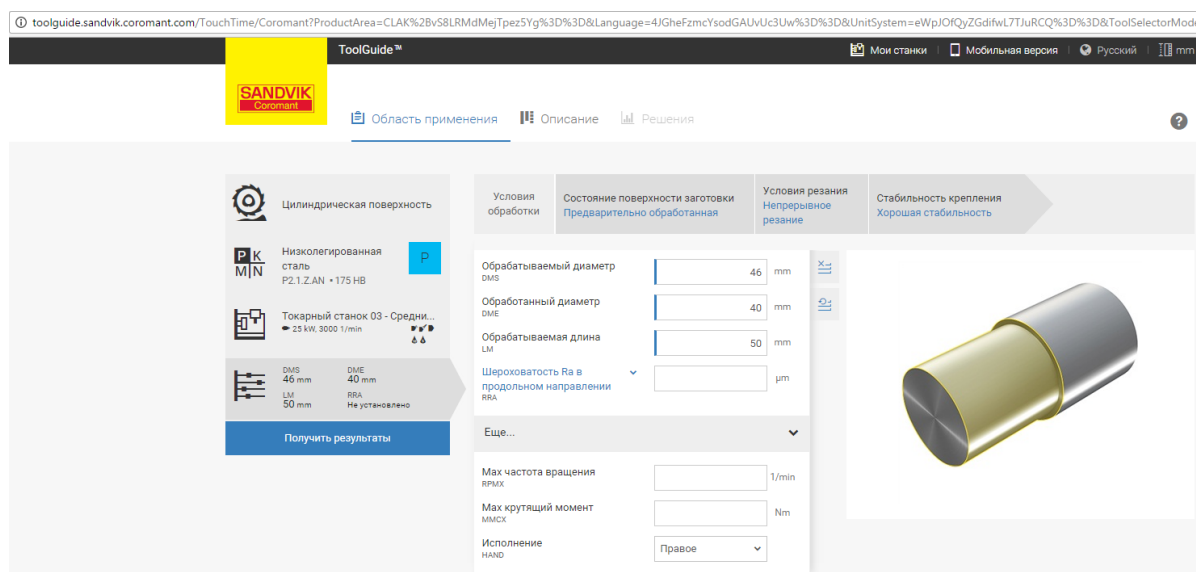


Рисунок 13 – Результат выбора обрабатываемой поверхности

Также при выборе материала учитываются его свойства, приведенные в пункте 1.1, а именно твердость и химический состав. Окно выбора материала заготовки представлено на рисунке 14. При нажатии на значение твердости можно ввести свое значение твердости по Бриннелю (HB) в соответствии со свойствами заданного материала.

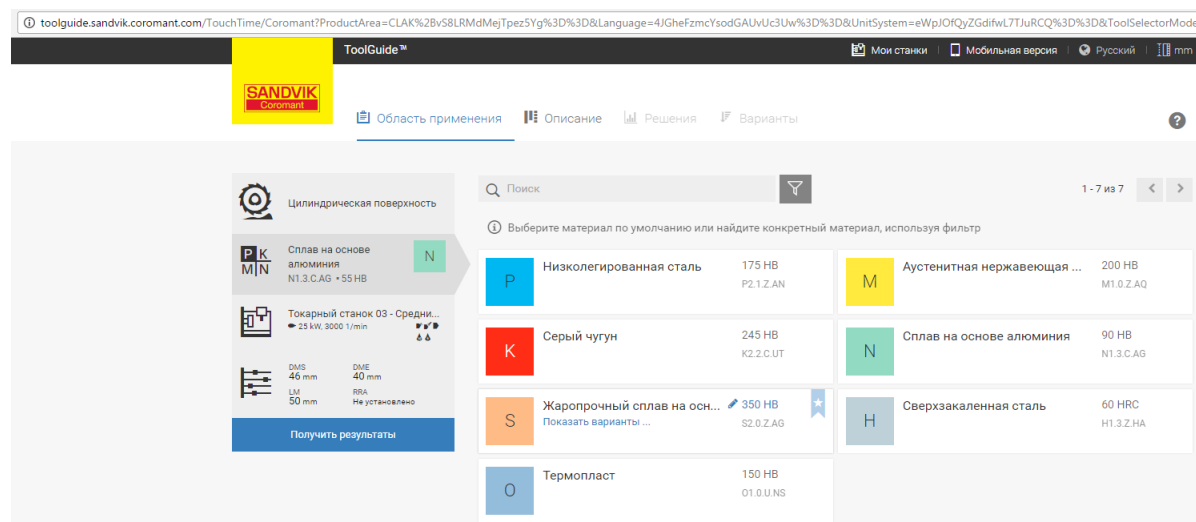


Рисунок 14 – Окно выбора материала заготовки

В соответствии с заданием выберем сплав на основе алюминия и введем его твердость, которая равна 55 HB (рисунок 15).

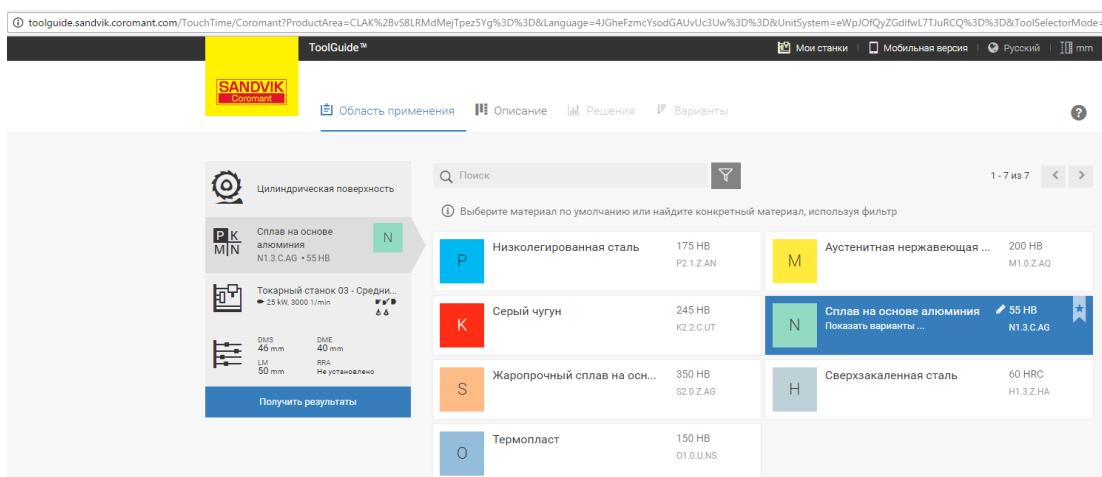


Рисунок 15 – Выбор материала в соответствии с заданием

Следующим шагом выбирается станок. Его выбор осуществляется из списка, который появляется при нажатии на пункт меню «Станок». Окно выбора станка приведено на рисунке 16.

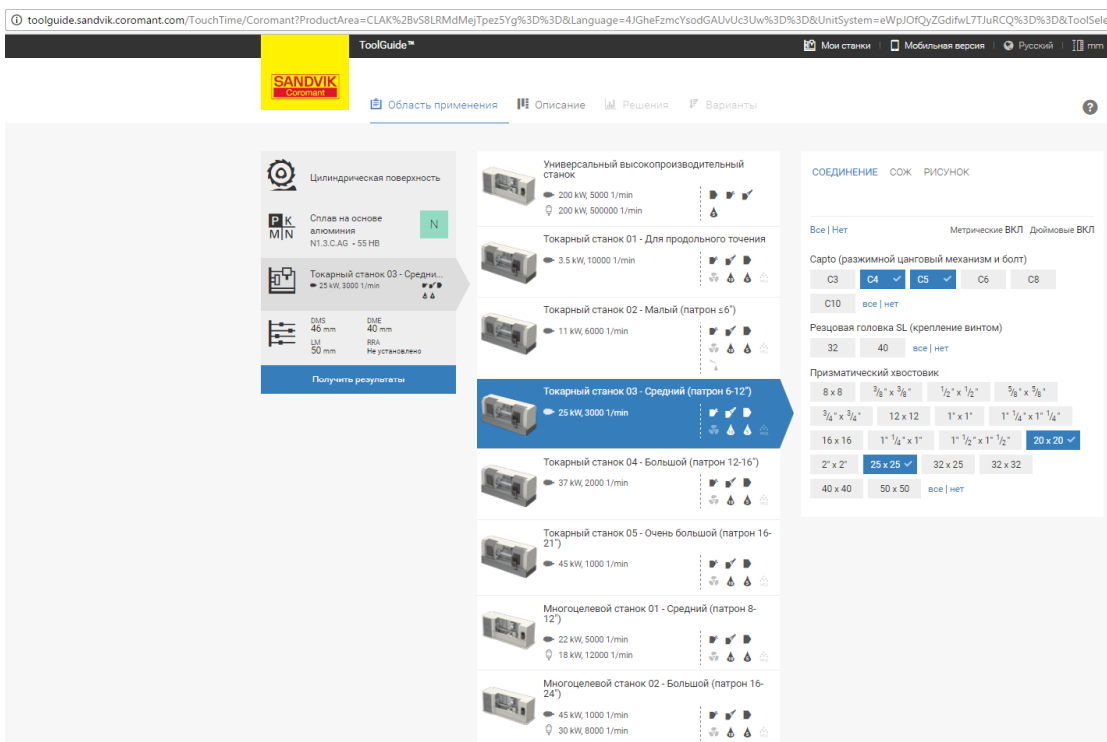


Рисунок 16 – Окно выбора станка

В соответствии с характеристиками выбранного станка EMCO MAXXTURN 65 выбираем из списка «Токарный станок 02 – Малый», так как он наиболее сходен по характеристикам с выбранным реальным станком.

После выбора станка осуществляется ввод значений обрабатываемой поверхности. Окно ввода параметров обработки приведено на рисунке 17.

The screenshot shows the Sandvik ToolGuide web application. The top navigation bar includes the Sandvik logo and links for 'Область применения' (Application area), 'Описание' (Description), and 'Решения' (Solutions). The main content area is titled 'Цилиндрическая поверхность' (Cylindrical surface). It contains a table of parameters for a 'Сплав на основе алюминия N1.3.CAG + 55 HB' (Aluminum alloy N1.3.CAG + 55 HB) being processed on a 'Токарный станок 02 - Малый' (Lathe 02 - Small). The parameters include 'Обрабатываемый диаметр' (Workpiece diameter) of 74 mm, 'Обработанный диаметр' (Finished diameter) of 70 mm, 'Обрабатываемая длина' (Workpiece length) of 12 mm, and 'Шероховатость Rz в продольном направлении' (Surface finish Rz in longitudinal direction) of 40 µm. A 3D model of a cylindrical part is shown on the right.

Рисунок 17 – Окно ввода параметров обработки

В качестве исходных данных в данном окне задается:

- основные параметры обработки: значение обрабатываемого (диаметр обрабатываемой части заготовки) и обработанного диаметров (диаметр обрабатываемой части детали); ширина обработки (глубина резания); значение шероховатости обработанной поверхности (возможно введение значений Rz и Ra при нажатии на название параметра);
- состояние поверхности заготовки (предварительно обработанная, легкая корка, толстая корка);
- условия резания (непрерывное или с переменной глубиной резания);
- стабильность крепления заготовки (превосходная, хорошая, удовлетворительная).

Для выполнения подбора инструмента и расчета режимов резания необходимо нажать кнопку «Получить результаты». В результате выполнения расчета появляется окно результатов подбора инструмента и режимов резания, изображенное на рисунке 18.

В данном окне все данные разбиты на 4 колонки. В первой указаны введенные для расчета параметры, выбранный материал и станок. Во второй колонке указаны сведения о режущем инструменте, который наиболее эффективен и является оптимальным для заданной операции. В третьей колонке указаны режимы резания, рассчитанные исходя из подобранного инструмента и введенных параметров. В четвертой колонке приведены

другие возможные варианты инструментов, обработка которыми менее эффективна, чем указанным во второй колонке инструментом.

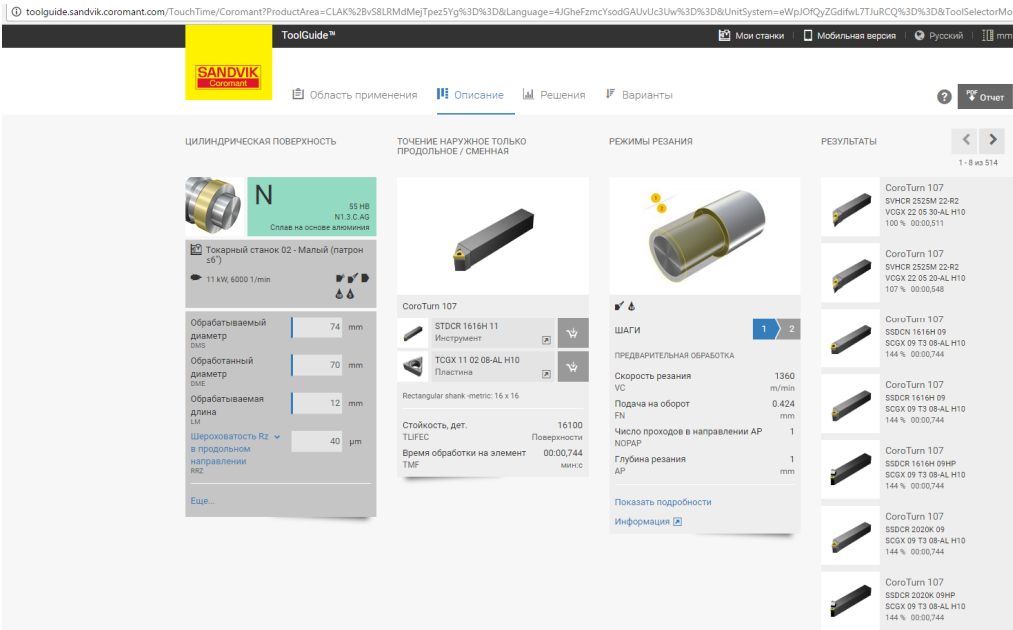


Рисунок 18 – Окно результатов подбора инструмента и режимов резания

Для получения характеристик пластины необходимо нажать на маркировку пластины. Окно с характеристиками пластины приведено на рисунке 19. То же самое можно проделать и для получения характеристик державки.



Рисунок 19 – Окно с характеристиками пластины.

Для получения подробной информации о режимах резания необходимо в колонке «Режимы резания» нажать кнопку «Подробнее». В результате появится окно, наподобие изображенного на рисунке 20.

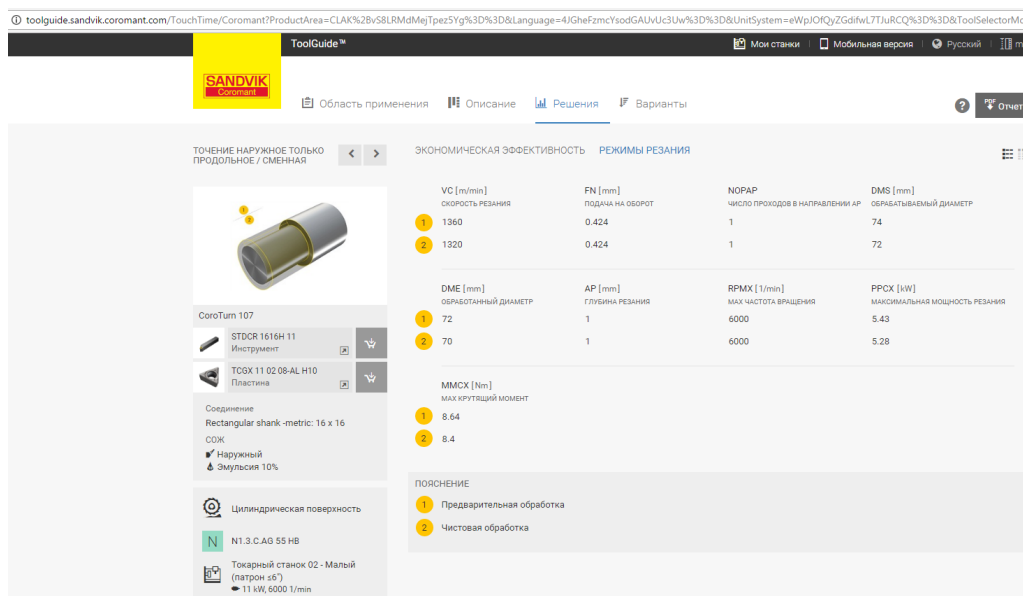


Рисунок 20 – Окно с параметрами режимов резания

В результате расчета режимов резания с помощью справочника по инструменту CoroPlus® ToolGuide можно получить следующие основные параметры: скорость резания; подача на оборот; глубина резания; максимальная частота вращения шпинделя; максимальная мощность резания и т.д.

В окне, изображенном на рисунке 20, можно увидеть значения скорости резания и подачи для каждого прохода. В данном случае обработка ведется в 2 этапа: первый проход – черновой (обозначен цифрой 1), второй проход – чистовой (обозначен цифрой 2).

Для каждой операции технологического процесса обработки детали в соответствии с таблицей 2 был осуществлен подбор инструмента и расчет режимов резания с помощью справочника по инструменту CoroPlus® ToolGuide, приведенного на официальном сайте изготовителя инструментов Sandvik Coromant [5].

Для подрезки торца выбираем режущую пластину TCGX 16 T3 04-AL H10 из твердого сплава марки H10 со следующими параметрами, приведенными в таблице 3. Данная пластина предназначена для обработки

алюминиевых сплавов. В качестве державки используется призматическая державка для точения STDCR 2020K 16. Ее параметры также приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные параметры режущего инструмента для подрезки торца

Наименование параметра	Значение
Пластина TCGX 16 T3 04-AL H10	
Форма пластины	Т
Материал пластины	Сплав H10
Эффективная длина режущей кромки (LE)	16,098 мм
Задний главный угол	7°
Толщина пластины (S)	3,969 мм
Радиус при вершине (RE)	0,397 мм
Диаметр вписанной окружности (IC)	9,525 мм
Державка STDCR 2020K 16	
Сечение державки	20х20 мм
Главный угол в плане	45°
Максимальный вылет	21 мм
Длина	125 мм
Функциональная ширина	21,99 мм

Внешний вид пластины приведен на рисунке 21.

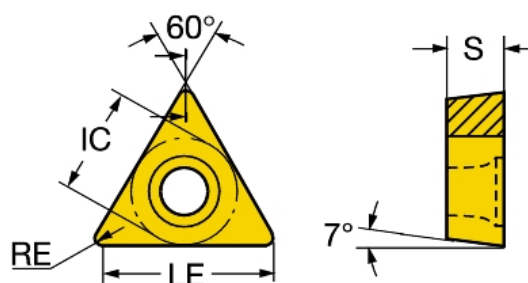


Рисунок 21 – Внешний вид пластины TCGX 16 T3 08-AL H10

Для наружного чернового точения выберем режущую пластину SSGX 12 04 08-AL H10 из твердого сплава марки H10 с параметрами, приведенными в таблице 4. В качестве державки используется призматическая державка для точения SCLCR 2020K 12. Ее параметры также приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Основные параметры режущего инструмента для наружного чернового точения

Наименование параметра	Значение
Пластина CCGX 12 04 08-AL H10	
Форма пластины	С
Материал пластины	Сплав H10
Эффективная длина режущей кромки (LE)	12,096 мм
Задний главный угол	7°
Толщина пластины (S)	4,763 мм
Радиус при вершине (RE)	0,794 мм
Диаметр вписанной окружности (IC)	12,7 мм
Державка SCLCR 2020K 12	
Сечение державки	20х20 мм
Главный угол в плане	95°
Максимальный вылет	21,7 мм
Длина	125 мм
Функциональная ширина	25 мм

Внешний вид пластины приведен на рисунке 22.

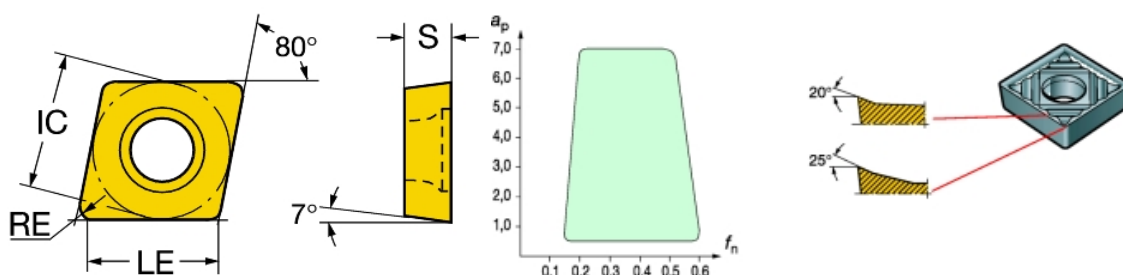


Рисунок 22 – Внешний вид пластины CCGX 12 04 08-AL H10

Для наружного чистового точения выберем режущую пластину CCGX 12 04 04-AL H10 из твердого сплава марки H10 с параметрами, приведенными в таблице 5. В качестве державки используется призматическая державка для точения SCLCR 2020K 12, характеристики которой приведены в таблице 4.

Таблица 5 – Основные параметры режущего инструмента для наружного чистового точения

Наименование параметра	Значение
Пластина CCGX 12 04 04-AL H10	
Форма пластины	С
Материал пластины	Сплав H10
Эффективная длина режущей кромки (LE)	12,496 мм
Задний главный угол	7°

Продолжение таблицы 5

Толщина пластины (S)	4,763 мм
Радиус при вершине (RE)	0,397 мм
Диаметр вписанной окружности (IC)	12,7 мм

Для растачивания отверстий будем использовать пластину TCGX 09 02 04-AL H10 из твердого сплава марки H10 с параметрами, приведенными в таблице 6. В качестве державки используется расточная оправка для точения A12M-STFCR 11, характеристики которой также приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Основные параметры режущего инструмента для растачивания отверстий

Наименование параметра	Значение
Пластина TCGX 09 02 04-AL H10	
Форма пластины	Т
Материал пластины	Сплав H10
Эффективная длина режущей кромки (LE)	8,97 мм
Задний главный угол	7°
Толщина пластины (S)	2,381 мм
Радиус при вершине (RE)	0,397 мм
Диаметр вписанной окружности (IC)	5,715 мм
Державка A12M-STFCR 11	
Минимальный диаметр отверстия (DMIN1)	16 мм
Диаметр корпуса	12 мм
Главный угол в плане	91°
Минимальный вылет (OHN)	18 мм
Максимальный вылет (OHX)	48 мм
Высота хвостовика (H)	11 мм
Длина (LF)	150 мм
Функциональная ширина (WF)	9 мм

Внешний вид пластины приведен на рисунке 23а. Внешний вид державки приведен на рисунке 23б.

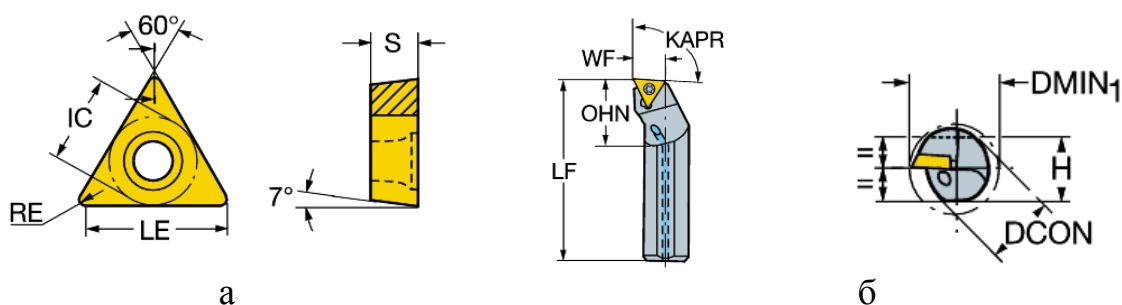


Рисунок 23 – Внешний вид пластины TCGX 11 02 04-AL H10 (а) и державки A12M-STFCR 11 (б)

В результате использования справочника по инструменту CoroPlus® ToolGuide [5] были получены режимы резания для выполнения операций технологического процесса с порядком, приведенным в таблице 1. Результаты расчета сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты расчета режимов резания

Наименование операции	Параметры режимов резания
1. Подрезка торца на Ø70	скорость резания – 697 м/мин
	подача на оборот – 0,283 мм/об.
	глубина резания – 1 мм
	максимальная частота вращения – 3000 об/мин.
	максимальная мощность резания – 2,01 кВт.
	число проходов – 2.
2. Наружное точение Ø74 до Ø70	скорость резания – 660 м/мин
	подача на оборот – 0,3 мм/об.
	число проходов – 1
	глубина резания – 2 мм
	максимальная частота вращения – 3000 об/мин.
	максимальная мощность резания – 3,75 кВт
3. Точение фаски на Ø70 мм	скорость резания – 641 м/мин
	подача на оборот – 0,3 мм/об.
	глубина резания – 1 мм
	максимальная частота вращения – 3000 об/мин
	максимальная мощность резания – 1,9 кВт
4. Подрезка торца до Ø44:	скорость резания – 660 м/мин
	подача на оборот – 0,61 мм/об..
	глубина резания – 2 мм
	максимальная частота вращения – 3000 об/мин.
	максимальная мощность резания – 7,64 кВт
5. Подрезка торца Ø40	скорость резания – 415 м/мин
	подача на оборот – 0,61 мм/об.
	глубина резания – 2 мм
	максимальная частота вращения – 3000 об/мин.
	максимальная мощность резания – 4,8 кВт

Продолжение таблицы 7

6. Растачивание отверстия Ø16 до Ø20	скорость резания – 314 м/мин
	подача на оборот – 0,2 мм/об.
	глубина резания – 2 мм
	максимальная частота вращения – 5000 об/мин
	максимальная мощность резания – 1,28 кВт
7. Наружное точение Ø40	скорость резания – 377 м/мин
	подача на оборот – 0,2 мм/об.
	число проходов – 1
	глубина резания – 2 мм
	максимальная частота вращения – 3000 об/мин.
8. Точение фаски на Ø40 мм	максимальная мощность резания – 1,54 кВт
	скорость резания – 358 м/мин.
	подача на оборот – 0,2 мм/об.
	глубина резания – 1 мм
	максимальная частота вращения – 3000 об/мин.
	максимальная мощность резания – 0,751 кВт

Данные таблицы 7 в дальнейшем будут использованы при подготовке управляющей программы для станка с ЧПУ для получения основного времени обработки.

1.6 Подготовка управляющей программы для станка с ЧПУ

Подготовку управляющей программы для станка с ЧПУ также произведем в системе SprutCAM. Основное назначение данной системы – разработка управляющих программ ЧПУ для обработки деталей.

Геометрическую модель обрабатываемой детали и заготовки, созданную в системе КОМПАС-3D, импортируем в систему SprutCAM. Импорт детали и заготовки происходит во вкладке «3D модель» с помощью нажатия клавиши «Импорт». Результат импорта детали приведен на рисунке 24.

Переход в режим формирования технологии обработки осуществляется выбором закладки «Технология» в главном окне системы. Процесс обработки представляет собой последовательность технологических операций различных типов. Создание новых операций, редактирование их параметров

и расчет, а также изменение порядка операций в технологическом процессе производится в режиме формирования обработки. Технологический процесс может содержать произвольное количество операций различных типов. Операции будут выводиться в результирующую управляющую программу в порядке их вхождения в список.

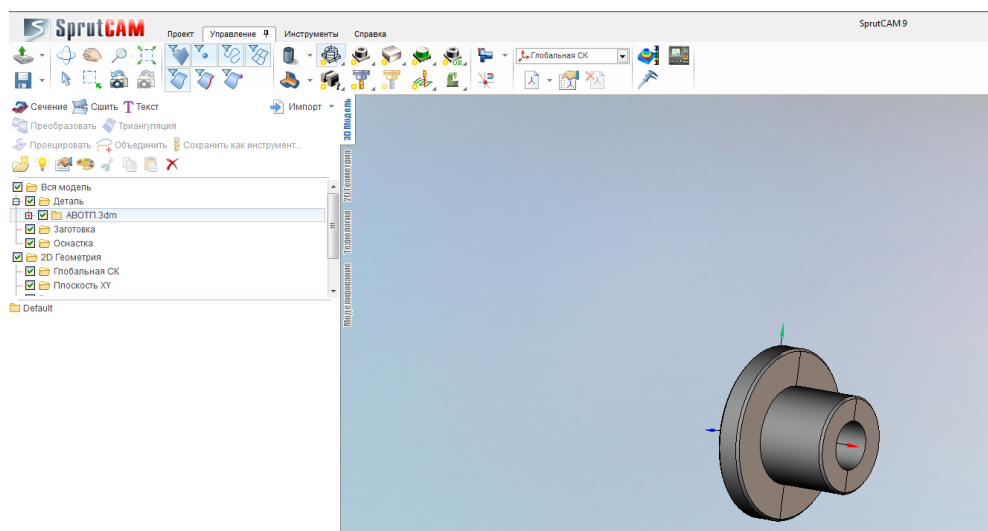


Рисунок 24 – Интерфейс системы SprutCAM

Зададим операции, которые необходимы для получения детали нужной формы из заготовки, в соответствии со списком операций технологическим процессом обработки детали, приведенным в таблице 2. Для этого необходимо на вкладке «Технология» нужно нажать на кнопку «Новая операция» и затем выбрать необходимый тип операции. На рисунке 25 приведено окно «Новая операция» вкладки «Технология». В поле Тип операции выбирается тип создаваемой технологической операции.

Каждая операция обладает определенным набором геометрических параметров. Все типы операций имеют обрабатываемую модель, рабочее задание, заготовку и ограничивающую модель.

Задание геометрических параметров инструмента и прочих технологических параметров, связанных с его использованием производится на странице Инструмент в окне параметров операции Задание параметров выбранных операций производится на странице «Технология».

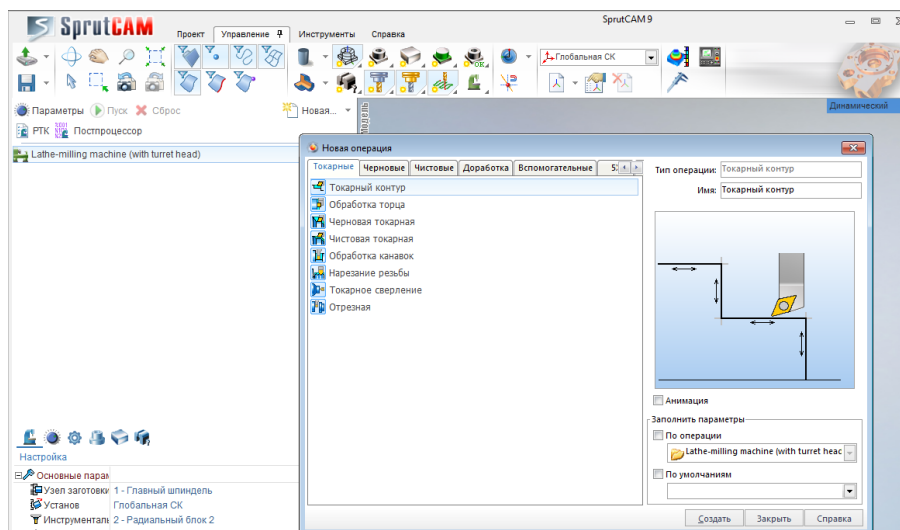


Рисунок 25 – Добавление новой операции в системе SprutCAM

Зададим параметры установа заготовки в токарном станке в виде координат и углов. Для задания параметров установа заготовки необходимо во вкладке «Технология» внизу окна перейти во вкладку «Настройка», где напротив пункта «Установ» нажать кнопку (рисунок 26 а) и в открывшемся окне задать необходимые значения установа детали в трехкулачковый патрон. Основные параметры первого установа заготовки приведены на рисунке 26 б.

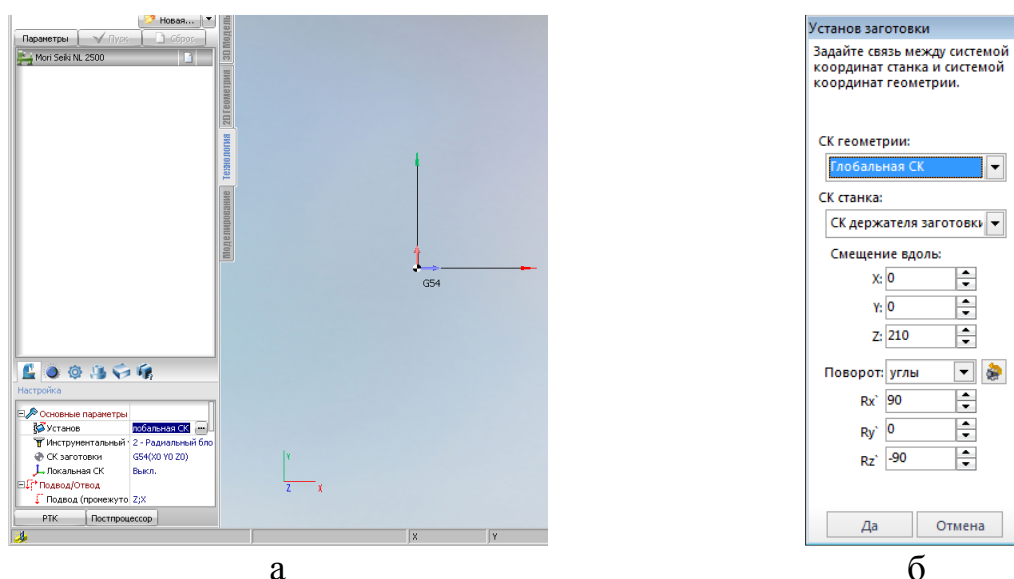


Рисунок 26 – Задание параметров установа для детали (а) и параметры первого установа заготовки (б)

Зададим во вкладке технология первую операцию согласно списку операций технологического процесса обработки детали, приведенного в таблице 2.

1. Подрезка торца Ø74.

На первом шаге зададим параметры инструмента, используемого при выполнении данной операции в соответствии со значениями для выбранного инструмента, приведенными в таблице 3. Окно задания параметров инструмента приведено на рисунке 27.

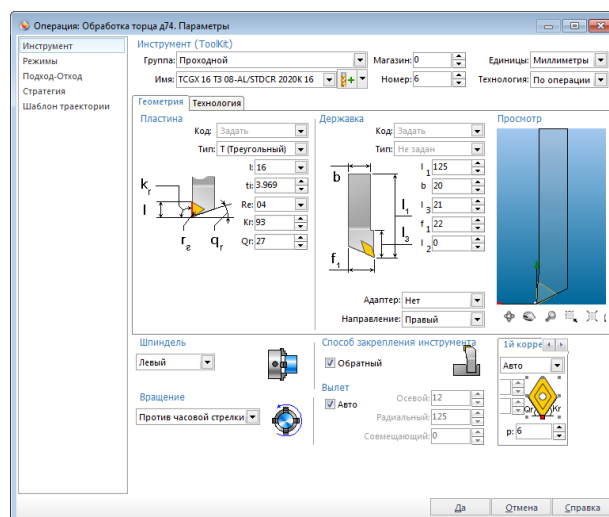


Рисунок 27 – Параметры инструмента при подрезке торца Ø74

Во вкладке «Режимы» зададим режимы резания (скорость резания, максимальную частоту вращения шпинделя и подачу) для текущей операции согласно данным, приведенным в таблице 7 для данной операции. Результаты ввода параметров режима резания приведены на рисунке 28.

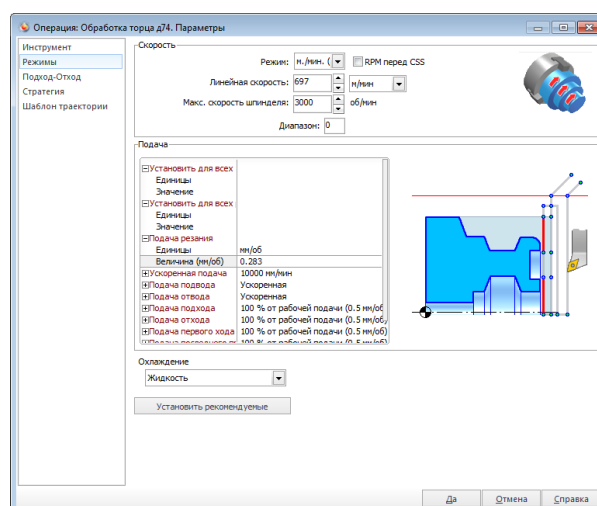


Рисунок 28 – Параметры режимов резания при выполнении операции

Далее во вкладке «Подход-Отход» зададим направления подхода и отхода резца и их значение при выполнении операции «Подрезка торца». Параметры приведены на рисунке 29.

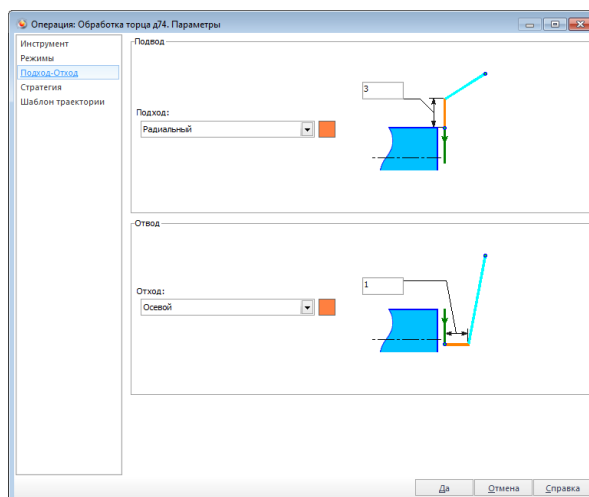


Рисунок 29 – Параметры подхода и отхода инструмента

Задание множества параметров, определяющих стратегию обработки детали, производится во вкладке «Стратегия» в окне Параметры операции. В этой вкладке в соответствии с режимами резания, приведенными в таблице 7, зададим глубину резания, равную 1 мм на черновой проход и 1 мм на чистовой проход. Окно ввода параметров стратегии изображено на рисунке 30.

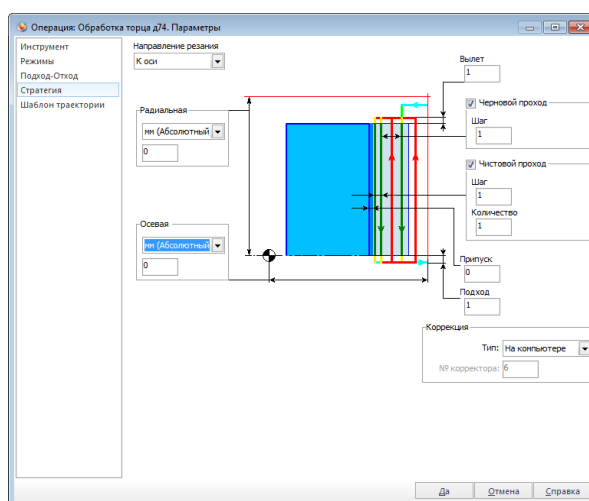


Рисунок 30 – Параметры стратегии обработки

Выделим созданную операцию и нажмем «Пуск» для расчета траектории. При удачном выполнении расчета напротив наименования операции появится зеленая галочка, а в окне модели появится траектория движения инструмента. Результат выполнения операции Подрезка торца Ø74 приведен на рисунке 31.

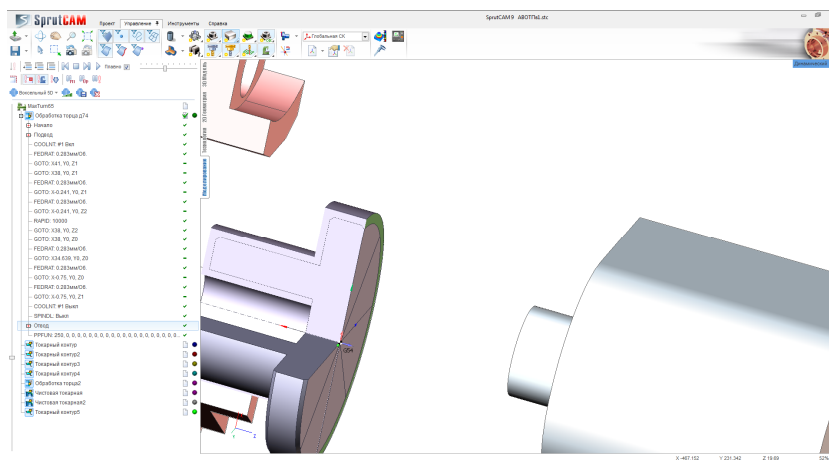
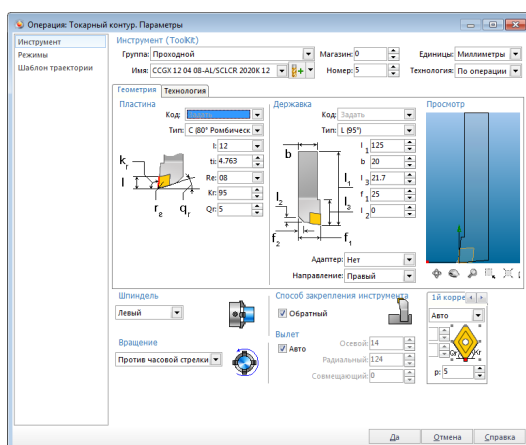


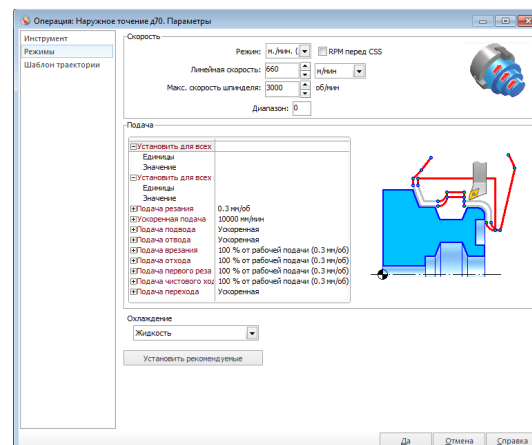
Рисунок 31 – Результат выполнения операции «Подрезка торца Ø74»

2. Наружное точение Ø 70

Аналогично предыдущей операции зададим параметры инструмента в соответствии со значениями для выбранного инструмента, приведенными в таблице 4 (рисунок 32а), и режимы резания для текущей операции согласно значениям, приведенным в таблице 7 (рисунок 32б). В стратегии обработки зададим глубину резания в соответствии с таблицей 7.



а



б

Рисунок 32 – Параметры инструмента (а) и режимы резания (б) при выполнении операции Наружное точение Ø 70

Результат выполнения данной операции приведен на рисунке 33.

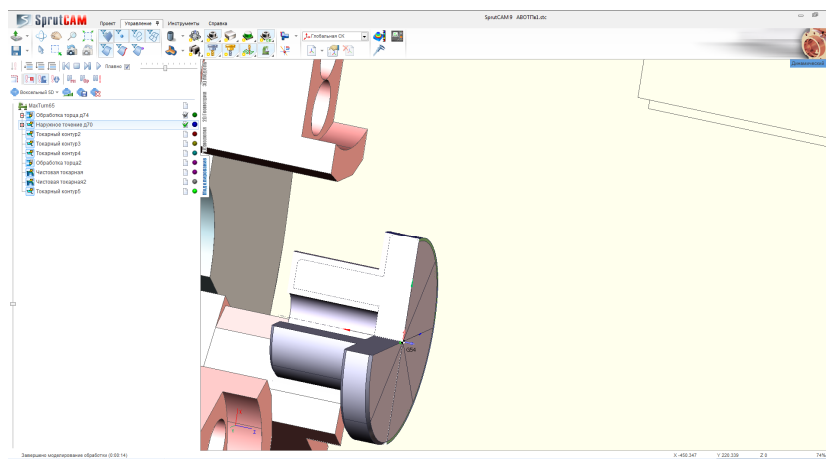
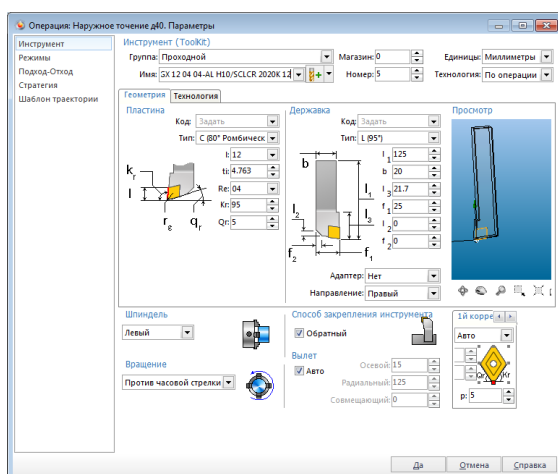


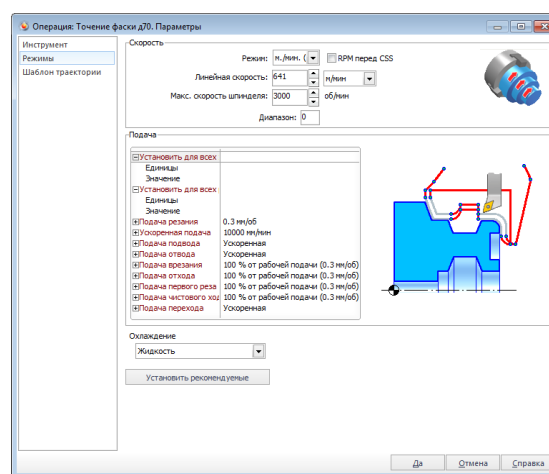
Рисунок 33 - Результат выполнения операции «Наружное точение Ø70»

3. Точение фаски на Ø 70.

Аналогично предыдущей операции зададим параметры инструмента в соответствии со значениями для выбранного инструмента, приведенными в таблице 5 (рисунок 34а), и режимы резания для текущей операции согласно значениям, приведенным в таблице 7 (рисунок 34б). В стратегии обработки зададим глубину резания в соответствии с таблицей 7.



а



б

Рисунок 34 – Параметры инструмента (а) и режимы резания (б) при выполнении операции

Результат выполнения данной операции приведен на рисунке 35.

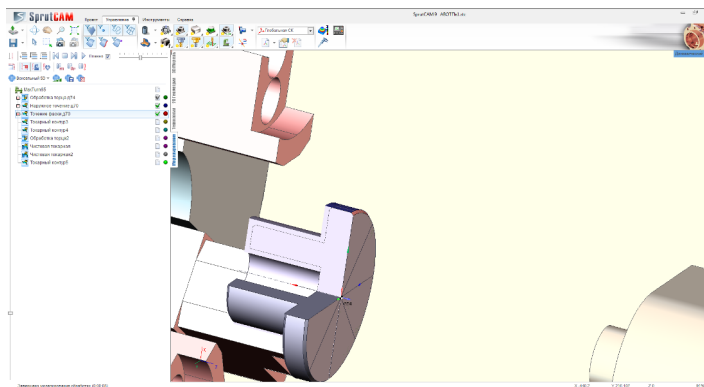


Рисунок 35 – Результат выполнения операции «Точение фаски на $\varnothing 70$ »

В соответствии с таблицей 2 после выполнения этих операций следуют операции второго установа. Поэтому необходимо задать параметры второго установа заготовки. Окно с заданными параметрами второго установа заготовки изображено на рисунке 36. Для разворота детали зададим угол R_x равным -90 градусов. После ввода параметров выполним формирование операций второго установа.

4. Подрезка торца до $\varnothing 44$.

Аналогично предыдущим операциям зададим параметры инструмента в соответствии со значениями для выбранного инструмента, приведенными в таблице 3 (рисунок 37а), и режимы резания для текущей операции согласно значениям, приведенным в таблице 7 (рисунок 37б). В стратегии обработки зададим глубину резания в соответствии с таблицей 7.

Установ заготовки

Задайте связь между системой координат станка и системой координат геометрии.

СК геометрии: Глобальная СК

СК станка: СК держателя заготовки

Смещение вдоль:

X: 0

Y: 0

Z: 174

Поворот: углы

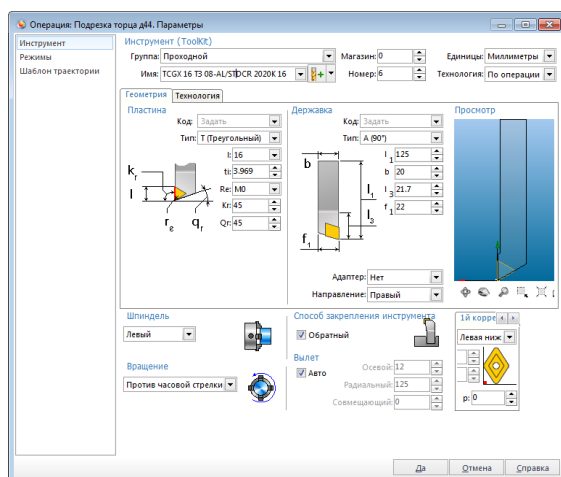
Rx: -90

Ry: 0

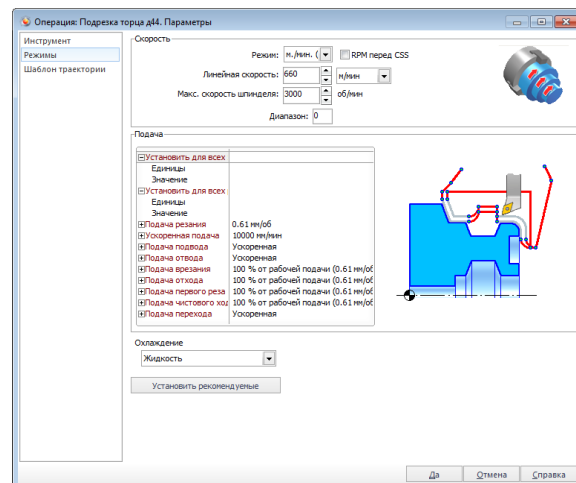
Rz: -90

Да Отмена

Рисунок 36 – Параметры второго установа детали



а



б

Рисунок 37 – Параметры инструмента (а) и режимы резания (б) при выполнении операции

Результат выполнения данной операции приведен на рисунке 38.

5. Точение фаски на $\varnothing 70$

Аналогично предыдущей операции зададим параметры инструмента в соответствии со значениями для выбранного инструмента, приведенными в таблице 5 (рисунок 39а), и режимы резания для текущей операции согласно значениям, приведенным в таблице 7 (рисунок 39б). В стратегии обработки зададим глубину резания в соответствии с таблицей 7.

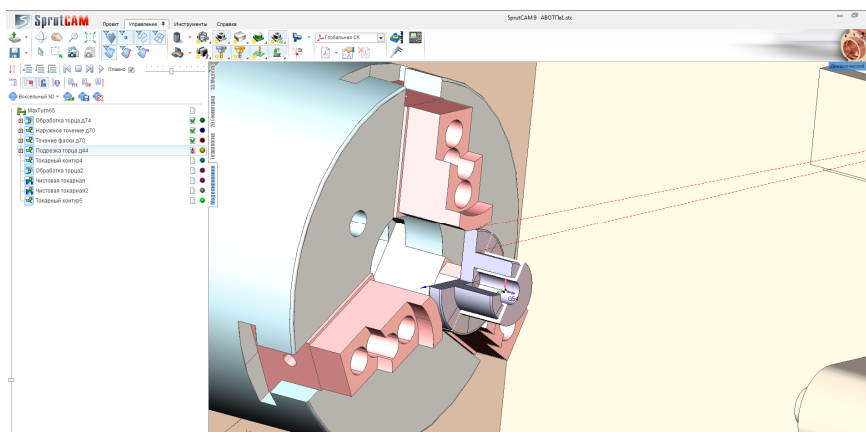
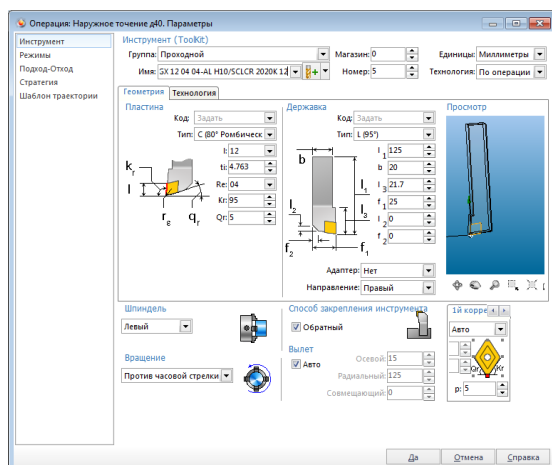
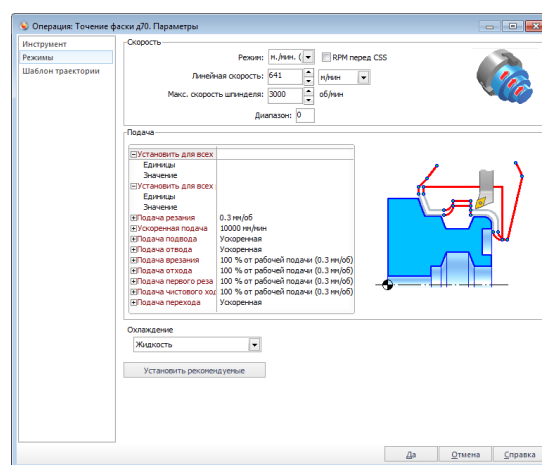


Рисунок 38 – Результат выполнения операции «Подрезка торца до $\varnothing 44$ »



а



б

Рисунок 39 – Параметры инструмента (а) и режимы резания (б) при выполнении операции

Результат выполнения данной операции приведен на рисунке 40.

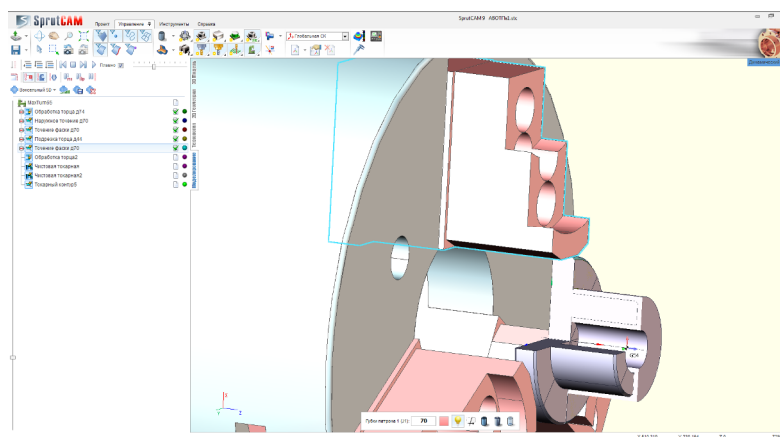
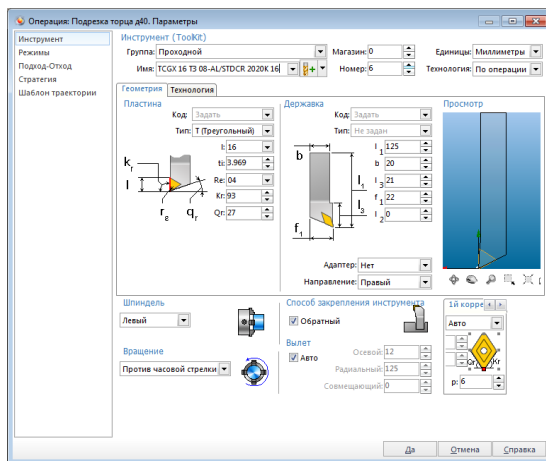


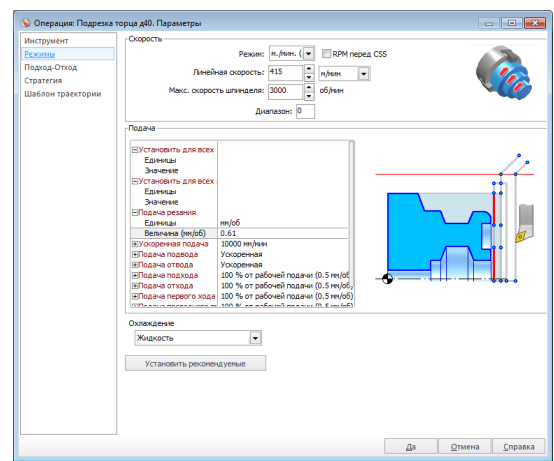
Рисунок 40 – Результат выполнения операции «Точение фаски на Ø70»

6. Подрезка торца Ø 40.

Аналогично предыдущим операциям зададим параметры инструмента в соответствии со значениями для выбранного инструмента, приведенными в таблице 3 (рисунок 41а), и режимы резания для текущей операции согласно значениям, приведенным в таблице 7 (рисунок 41б). В стратегии обработки (рисунок 42б) зададим глубину резания в соответствии с таблицей 7.

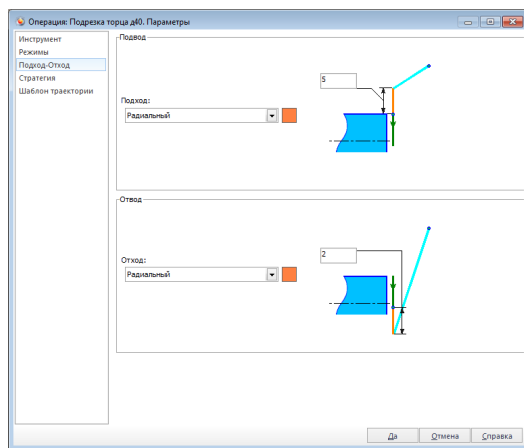


а

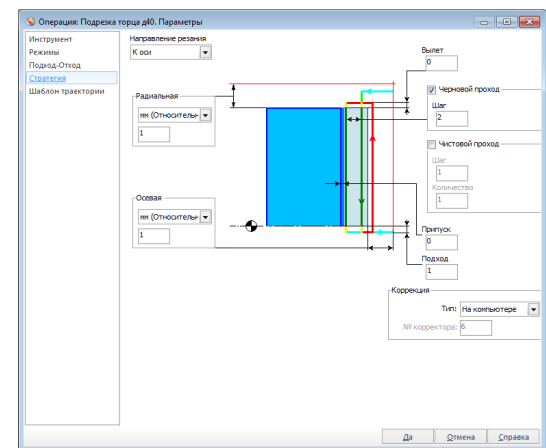


б

Рисунок 41 – Параметры инструмента (а) и режимы резания (б) при выполнении операции



а



б

Рисунок 42 – Параметры подхода-отхода (а) и параметры стратегии обработки (б) при выполнении операции

Результат выполнения данной операции приведен на рисунке 43.

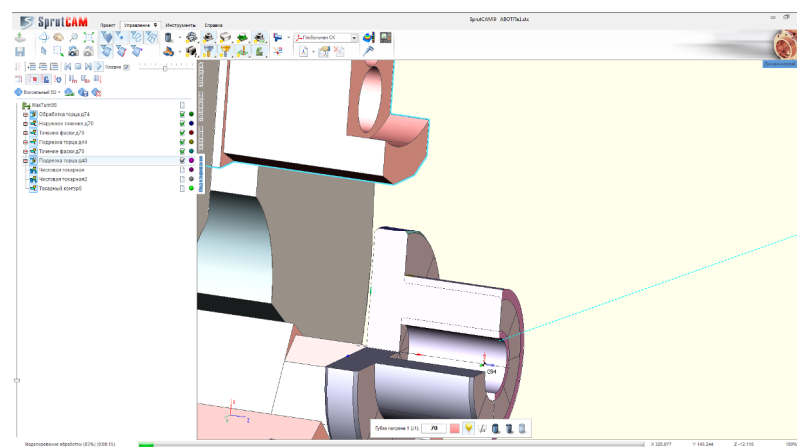
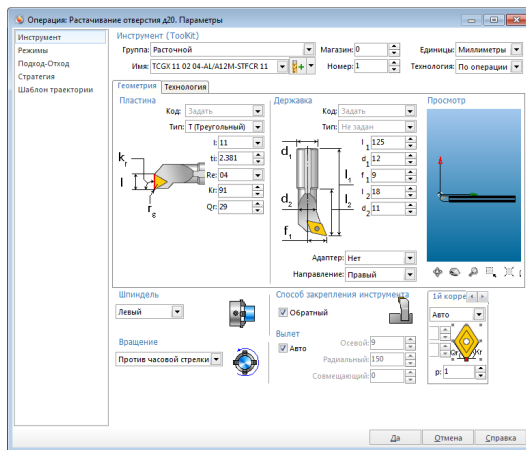


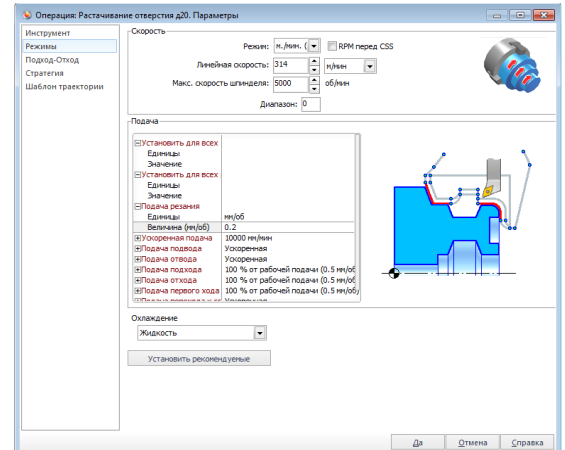
Рисунок 43 – Результат выполнения операции «Подрезка торца Ø40»

7. Растачивание отверстия Ø20.

Аналогично предыдущим операциям зададим параметры инструмента в соответствии со значениями для выбранного инструмента, приведенными в таблице 6 (рисунок 44а), и режимы резания для текущей операции согласно значениям, приведенным в таблице 7 (рисунок 44б). Также зададим параметры подхода-отхода инструмента (рисунок 45а), а в стратегии обработки (рисунок 45б) зададим глубину резания в соответствии с таблицей 7.

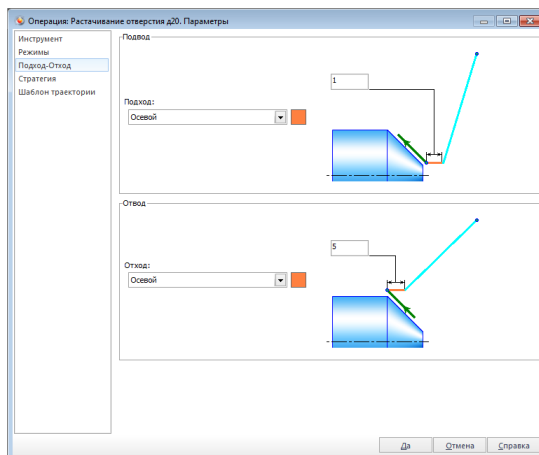


а

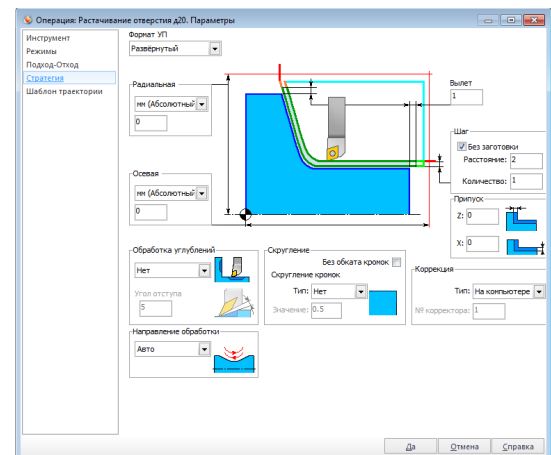


б

Рисунок 44 – Параметры инструмента (а) и режимы резания (б) при выполнении операции Растачивание отверстия Ø20



а



б

Рисунок 45 – Параметры подхода-отхода (а) и параметры стратегии обработки (б) при выполнении операции Растачивание отверстия Ø20

Результат выполнения данной операции приведен на рисунке 46.

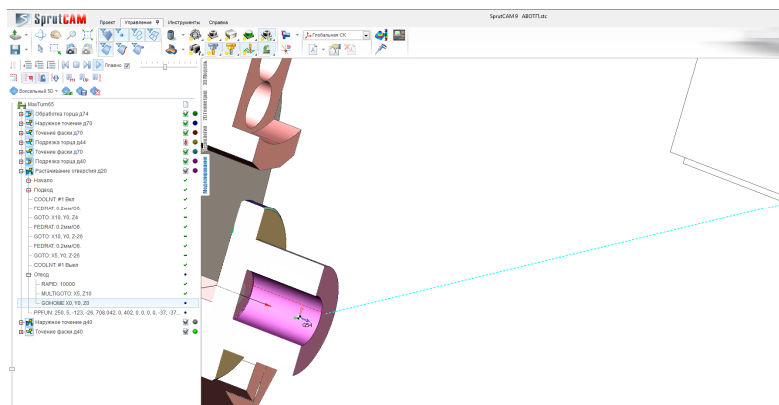
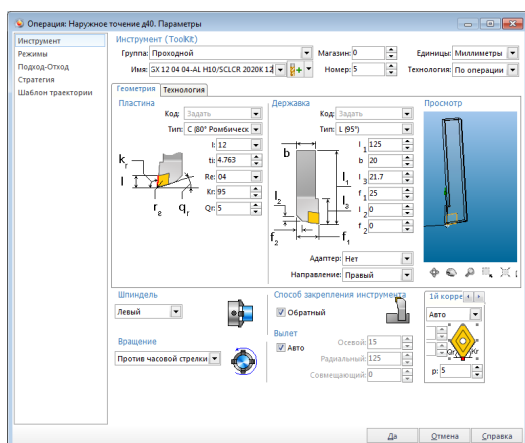


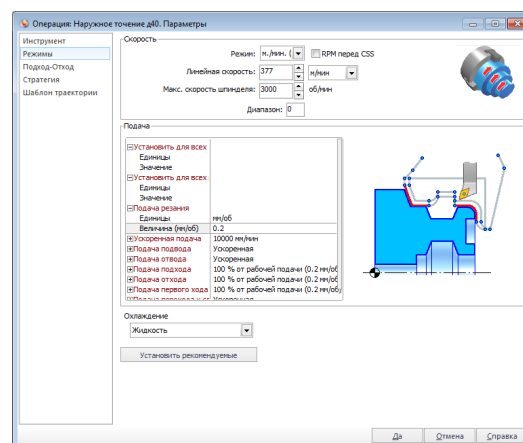
Рисунок 46 – Результат выполнения операции «Растачивание отверстия Ø20»

8. Наружное точение Ø40.

Аналогично предыдущим операциям зададим параметры инструмента в соответствии со значениями для выбранного инструмента, приведенными в таблице 5 (рисунок 47а), и режимы резания для текущей операции согласно значениям, приведенным в таблице 7 (рисунок 47б). В стратегии обработки зададим глубину резания в соответствии с таблицей 7.



а



б

Рисунок 47 – Параметры инструмента (а) и режимы резания (б) при выполнении операции «Наружное точение Ø40»

Результат выполнения данной операции приведен на рисунке 49.

9. Точение фаски на Ø 40.

Аналогично предыдущей операции зададим параметры инструмента в соответствии со значениями для выбранного инструмента, приведенными в таблице 5 (рисунок 50а), и режимы резания для текущей операции согласно значениям, приведенным в таблице 7 (рисунок 50б). В стратегии обработки зададим глубину резания в соответствии с таблицей 7.

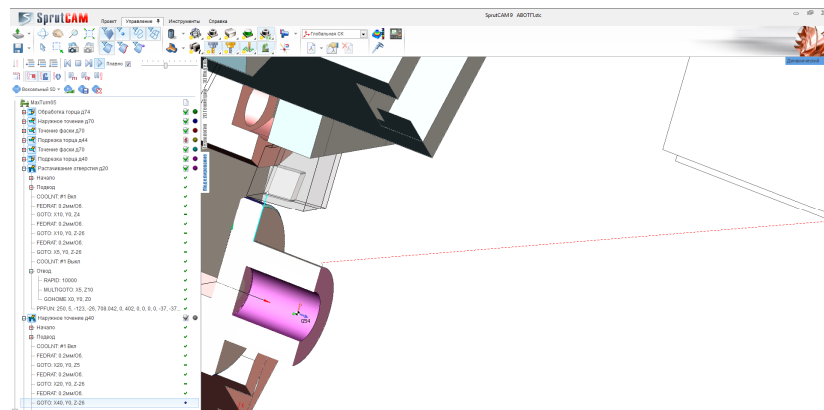
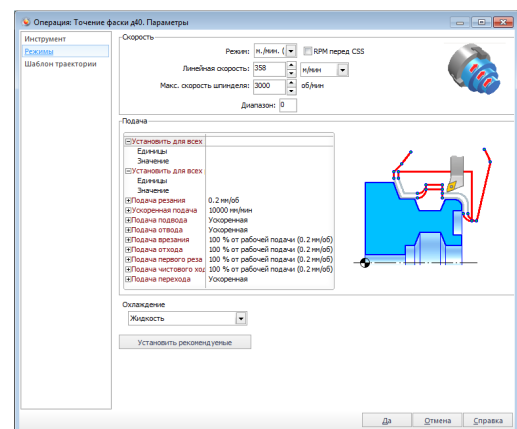
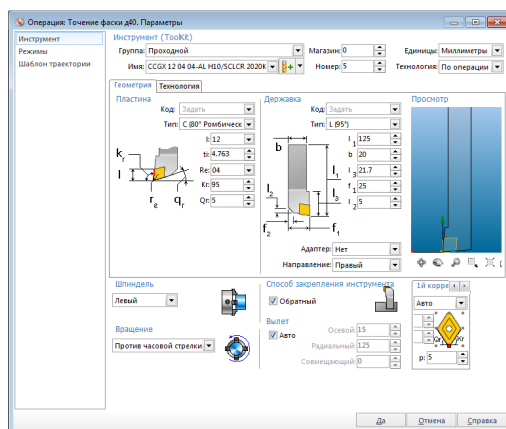


Рисунок 49 – Результат выполнения операции «Наружное точение Ø40»



а

б

Рисунок 50 – Параметры инструмента (а) и режимы резания (б) при выполнении операции Точение фаски Ø40

Результат выполнения данной операции приведен на рисунке 51.

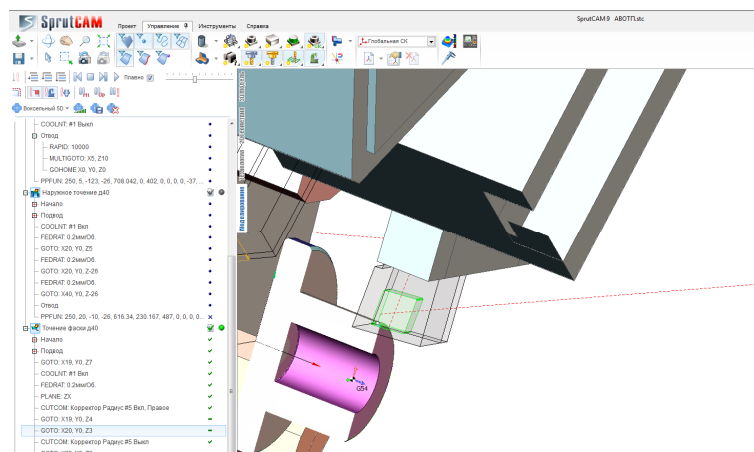


Рисунок 51 – Результат выполнения операции «Точение фаски Ø40»

После того, как все переходы были смоделированы, выведем готовую управляющую программу для станка с ЧПУ с использованием постпроцессора выбранного ранее станка Emco MAXXTURN 65. Он представляет собой программу, которая преобразует файл траектории движения инструмента и технологических команд (промежуточный файл),

сформированный CAD/CAM – системой, в файл УП в соответствии с требованиями конкретного комплекса станок – СЧПУ.

Для формирования управляющей программы нажмем на вкладке «Технология» кнопку «Постпроцессор» и далее выберем систему ЧПУ, в коды которой будет переведена управляющая программа. Окно выбора постпроцессора представлено на рисунке 43.

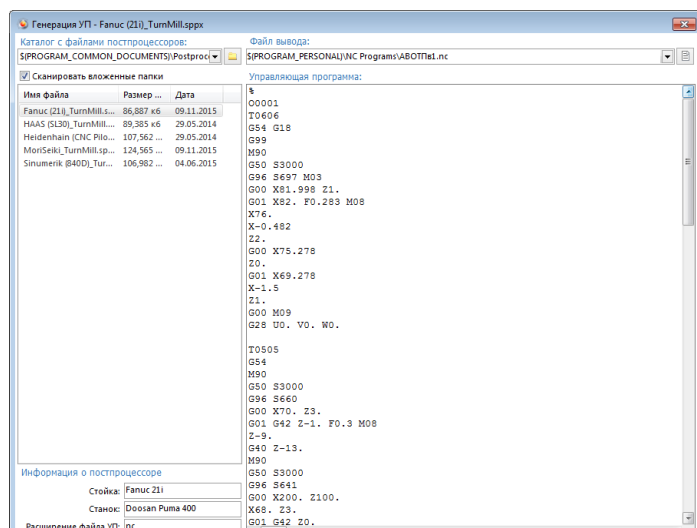


Рисунок 52 – Окно выбора постпроцессора

Управляющая программа для станка с ЧПУ приведена в приложении 1.

Также сформируем расчетно-технологическую карту (РТК) обработки детали. Для ее формирования на вкладке «Технология» нажмем кнопку РТК, выберем шаблон карты и сформируем ее. Внешний вид расчетно-технологической карты приведен на рисунке 53.

Из расчетно-технологической карты выпишем основные операции обработки детали, номер используемого инструмента и время обработки, которые приведены в таблице 8.

Основные сведения об используемом в каждой операции инструменте приведены в таблице 9.

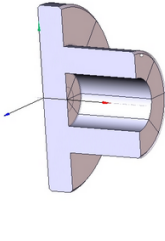


MaxTurn65				Generated by SprutCAM® version 9			
				C:\Users\... \Documents\SprutCAM\Version 9\Project\... \ABOTPi.stc			
							
							
Список операций							
N	Тип операции	Комментарий операции	N инструм.	Время ч:мм:с	Имя программы	Комментарий	
1	Обработка торца	Обработка торца Ø74	6	00:00:14	ABOTPi1.nc.tst	From: x(235) y(-20) z(474.5); GoHome: x(0) y(0) z(0); Вылет: X(11.6) Y(124.6) Z(0);	
2	Токарный контур	Наружное точение Ø70	5	00:00:05	ABOTPi1.nc.tst	From: x(235) y(-10) z(487); GoHome: x(0) y(0) z(0); Вылет: X(14.2) Y(124.2) Z(0);	
3	Токарный контур	Точение фаски Ø70	5	00:00:07	ABOTPi1.nc.tst	From: x(35) y(0) z(-13); GoHome: x(0) y(0) z(0); Вылет: X(14.6) Y(124.6) Z(0);	
4	Токарный контур	Подрезка торца Ø44	6	00:00:09	ABOTPi1.nc.tst	From: x(235) y(-10) z(474.5); GoHome: x(0) y(0) z(0); Вылет: X(12) Y(125) Z(0);	
001.001.01.01							
Стр.	Page	Docum N	Descr	Date	ABOTPi		
Г. Разр.	Page	Altes					
Пров.							
Н. Компр.							
Г. Компр.							
УТВ.							

Рисунок 53 – Внешний вид расчетно-технологической карты

Таблица 8 – Расчетно-технологическая карта обработки детали

№	Наименование операции	Номер инструмента	Время ч:мм:сс
Первый установ			
1	Обработка торца Ø74	6	00:00:14
2	Наружное точение Ø70	5	00:00:05
3	Точение фаски Ø70	5	00:00:07
Второй установ			
4	Подрезка торца до Ø44	6	00:00:09
5	Точение фаски Ø70	5	00:00:09
6	Подрезка торца Ø40	6	00:00:08
7	Растачивание отверстия Ø20	1	00:00:09
8	Наружное точение Ø40	5	00:00:10
9	Точение фаски Ø40	5	00:00:06
Суммарное время			00:01:20

Таблица 9 – Используемый при обработке инструмент

6	TCGX 16 T3 08-AL/STDCR 2020K 16	1,4,6	
5	CCGX 12 04 08-AL/SCLCR 2020K 12	2	
11	CCGX 12 04 04-AL H10/SCLCR 2020K 12	3,5,8,9	
1	TCGX 11 02 04-AL/A12M-STFCR 11	7	

В результате подготовки управляющей программы для станка с ЧПУ нами было получено время обработки, которое будет использоваться в дальнейшем при построении циклограммы.

2. Построение РТК для обработки детали

2.1 Расчет требуемого количества основного технологического оборудования из условия выполнения годовой программы

Требуемое количество выбранного оборудования каждого типа определяется на основании разработанного маршрутного технологического процесса с учетом годовой программы выпуска $B=30000$ шт/год и эффективного годового фонда времени $\Phi_{об}=3850$ часов при односменной работе. Количество каждого вида оборудования P_c определяется по формуле:

$$P_c = \frac{T_{шт} + T_n}{\Phi_{об}},$$

где $T_{шт}$ – годовое время работы каждого типа оборудования, ч:

$$T_{шт} = \frac{t_{шт} \cdot B}{60};$$

T_n – годовое время наладки каждого вида оборудования как на обработку новой партии заготовок, так и на обслуживание РТК в начале рабочей смены, ч. При проведении проектных работ можно определить по зависимости

$$T_n = \frac{t_n}{60} \left(\frac{B}{N} + \frac{\Phi}{t_{см}} \right),$$

где N – размер партии деталей, запускаемых в производство. N можно определить по зависимости $N = B/S$, где S – число запусков в год. В условиях серийного производства S равно 4; 6; 12 и 24 (принимая $S=4$); $t_{см}$ – продолжительность рабочей смены, ч (обычно $t_{см} = 8$ ч).

Результаты расчета количества станков округляются до целого в большую сторону.

Штучное время определяется по формуле:

$$t_{шт} = t_o + t_b + t_{об} + t_l,$$

где t_o – основное технологическое время, в течение которого осуществляется изменение размеров заготовки (обработка). Величина t_o определяется при расчете режимов резания при обработке каждой из подлежащих обработке поверхностей.

Вспомогательное время $t_{\text{в}}$ – это время, затрачиваемое на выполнение действий вспомогательного характера, сопутствующее основной работе (установка, крепление и снятие заготовки, время холостых ходов и поворота инструментального держателя):

$$t_{\text{в}} = t_{\text{yc}} + t_{\text{xx}} + t_{\text{п}} + t_{\text{ц}},$$

где t_{yc} – время на установку, крепление и снятие заготовки. На проектной стадии это время принимается равным 0,1 мин. При расчете времени цикла уже скомпонованного РТК t_{yc} определяется по фактическим характеристикам основного технологического оборудования и оснастки (например, скорости перемещения кулачков, зажима заготовки схватом ПР и другие вспомогательные движения);

t_{xx} – время холостых ходов, принимается с учетом характеристик современного оборудования 0,1 мин;

$t_{\text{п}}$ – время поворота инструментального держателя (например, револьверной головки) для токарных станков составляет 5 секунд.

Время $t_{\text{ц}}$ на проектной стадии рассчитывается на загрузку-разгрузку станка, на котором выполняется лимитирующая (наиболее продолжительная) операция в предположении того, что в проектируемом РТК все остальное время работы ПР перекрывается временем работы этого станка.

При первоначальных расчетах можно принять $t_{\text{в}}$ равным 0,5 мин.

Сумму ($t_{\text{o}} + t_{\text{в}}$) называют оперативным временем – $t_{\text{оп}}$. Величина оперативного времени равна:

$$t_{\text{оп}} = 1,33 + 0,5 = 1,83 \text{ мин.}$$

Времена $t_{\text{об}}$ – обслуживания рабочего места и $t_{\text{л}}$ – личных надобностей принимаются в процентах от оперативного времени $t_{\text{оп}}$:

$$t_{\text{об}} = 0,06 \cdot t_{\text{оп}} = 0,06 \cdot 1,83 = 0,11 \text{ мин.}$$

$$t_{\text{л}} = 0,04 \cdot t_{\text{оп}} = 0,04 \cdot 1,83 = 0,07 \text{ мин.}$$

Под временем наладки подразумевается величина наладочных работ на партию деталей. На проектной стадии величину $t_{\text{н}}$ основного оборудования

можно принять равной 30 мин. Время наладки большинства ПР – 10 мин., тактовых столов – 5 мин.

Время наладки всего РТК определяется как сумма времени переналадки основного технологического оборудования, ПР и вспомогательного оборудования.

Время наладки будет равно $t_n = 30 + 10 + 5 = 45$

Определяем штучное время:

$$t_{шт} = 1,33 + 0,5 + 0,11 + 0,07 = 2,01 \text{ мин.}$$

Годовое время работы станка:

$$T_{шт} = \frac{2,01 \times 30000}{60} = 1005 \text{ ч.}$$

Годовое время наладки оборудования:

$$T_n = \frac{45}{60} \times \left(4 + \frac{3850}{8} \right) = 363,94 \text{ ч.}$$

Количество оборудования P_c :

$$P_c = \frac{1005 + 363,94}{3850} = 0,356$$

Результат расчета количества станков округляем до целого в большую сторону, т.е. принимаем $P_c = 1$.

Результаты сведем в таблицы 4 и 5

Таблица 10 – Исходные данные

Наименование показателя	Станок EMCO maxxturn 65
Основное время t_o , мин	1,33
Вспомогательное время t_v , мин	0,5
Оперативное время обработки детали $t_{оп}$, мин	1,83
Время на обслуживание рабочего места $t_{об}$, мин	0,11
Время на личные надобности $t_{л}$, мин	0,07
Штучное время обработки $t_{шт}$, мин	2,01
Время наладки t_n , мин	45
в том числе	
основного оборудования	30
промышленного робота	10
вспомогательного оборудования	5
Годовой выпуск деталей	30000
Материал и вид заготовки	Литье сплав АЛ2
Масса заготовки, кг	0,26

Таблица 11 – Расчет необходимого количества оборудования

Наименование показателя	Станок EMCO maxxturn 65
Годовой объем продукции (деталей), В шт	30000
Годовое время наладки $T_{ни}$, час	363,94
Годовое штучное время работы $T_{шт}$, час	1005
Расчетное количество оборудования	0,356
Принятое количество единиц основного технологического оборудования	1

В результате было определено необходимое количество оборудования для построения роботизированного технологического комплекса

2.2 Выбор промышленного робота

Промышленный робот (ПР) — автоматическая машина, представляющая собой совокупность манипулятора и перепрограммируемого устройства управления, для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций, заменяющих аналогичные функции человека при перемещении предметов производства и (или) технологической оснастки.

Требуемая модель промышленного робота определяется исходя из грузоподъемности и размеров рабочей зоны ПР. При этом грузоподъемность робота должна превышать массу объекта манипулирования не менее чем на 10%. При подборе промышленного робота в его грузоподъемность необходимо включать не только массу заготовки, но и массу захватного устройства (в сборе с пальцами).

Исходя из массы заготовки (0,264 кг) и характеристик рабочей зоны в качестве промышленного робота был выбран промышленный робот с шести координатным манипулятором типа «рука» ABB IRB 1600-6/1,45 с максимальной грузоподъемностью 6 кг и максимальным радиусом зоны обслуживания 1,45 м. Такой робот имеет достаточные габариты рабочей зоны и обеспечивает удобный подход в процессе загрузки и разгрузки станка. Также он обладает необходимой точностью позиционирования, достаточной грузоподъемностью, а габариты рабочей зоны позволяют выполнять загрузку и разгрузку деталями различных видов.

Характеристики выбранного робота ABB IRB 1600-6/1.45 были взяты с официального сайта ABB [10] и приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Характеристики ПР ABB IRB 1600-6/1.45

Параметр	Значение
Количество степеней свободы	6
Диапазон перемещения	
Ось вращения J1	360°
Ось вращения J2	240°
Ось вращения J3	310°
Ось вращения J4	380°
Ось вращения J5	230°
Ось вращения J6	800°
Погрешность позиционирования	± 0,02 мм
Повторяемость отработки заданной траектории	0,19 мм
Максимальная грузоподъемность	6 кг
Максимальный радиус зоны обслуживания R	1450 мм
Размер базы робота	484 x 648 мм
Высота робота	1294 мм
Масса	250 кг

На рисунке 54 приведены общий вид промышленного робота ABB IRB 1600-6/1.45, а также его рабочее пространство и габаритные размеры.

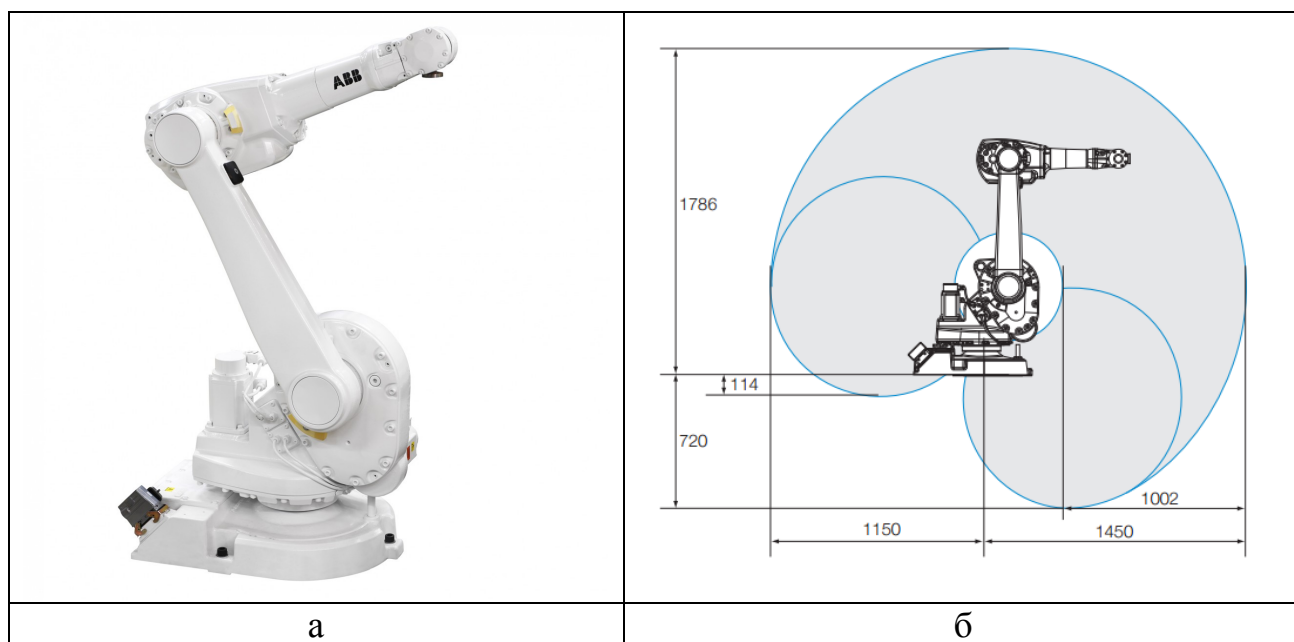


Рисунок 54 – Промышленный робот ABB IRB 1600-6/1.45

а – общий вид, б – схема рабочей зоны робота

Электронный блок робота ABB IRB 1600 имеет цифровой блок ввода-вывода, который осуществляет связь с внешними приборами посредством цифровых 24-вольтовых входных и выходных сигналов

2.3 Выбор захватного устройства

Захватные устройства (ЗУ) промышленных роботов и манипуляторов служат для захватывания и удержания в определенном положении объектов манипулирования. Эти объекты могут иметь различные размеры, форму, массу и обладать разнообразными физическими свойствами, поэтому ЗУ относятся к числу сменных элементов ПР. Как правило, ПР комплектуют набором типовых (для данной модели) ЗУ, которые можно менять в зависимости от требований конкретного рабочего задания. К ЗУ предъявляются требования общего характера и специальные, связанные с конкретными условиями работы. К числу обязательных требований относятся надежность захватывания и удержания объекта, стабильность базирования, недопустимость повреждений или разрушения объектов.

В качестве захватного устройства для робота выбираем захватное устройство из каталога фирмы Schunk [11], представленного на официальном сайте компании https://ru.schunk.com/ru_en/homepage. Выбор захватного устройства выполняется исходя из диаметра захватываемой заготовки и ее массы.

В данном случае масса заготовки составляет 264 г., а диаметр захватываемой части – 44 мм. С учетом массовых и габаритных характеристик заготовки из каталога фирмы Schunk был выбран двухпальцевый захват с параллельными пальцами Schunk PGN-Plus 80-1.

Выбор данного захвата обоснован тем, что он обеспечивает свободный захват заготовки при максимально раздвинутых пальцах (данное расстояние равно 53 мм) и с запасом обеспечивает захват данной детали, так как максимальный вес захватываемой детали равен 2,1 кг.

Выбор пневмомеханического захвата обусловлен тем, что он обеспечивает достаточное усилие при небольшой массе, имеет сравнительно простую конструкцию и систему управления.

Захват PGN-plus 80-1 предназначен для захвата небольших деталей массой до 2,1 кг. Он представляет собой двухпальцевое пневматическое захватное устройство, использующее клиновой передаточный механизм для перемещения пальцев.

Технические характеристики захватного устройства Schunk PGN-Plus 80-1 из брошюры изготовителя [12] приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Технические характеристики захватного устройства

Параметр	Значение
Ход одного пальца	8 мм
Сила закрытия	415 Н
Сила открытия	465 Н
Вес захвата	0,5 кг
Максимальный вес захватываемой детали	2,1 кг
Время открытия/ закрытия	0,04 с
Максимально возможная длина пальца	110 мм
Максимальна возможная масса пальца	0,6 кг

Двухпальцевый захват с параллельными пальцами (рисунок 55) позволяет удерживать захватываемую деталь без доработки их конструкции. Достаточно лишь установить на захвате пальцы нужной формы и размера.

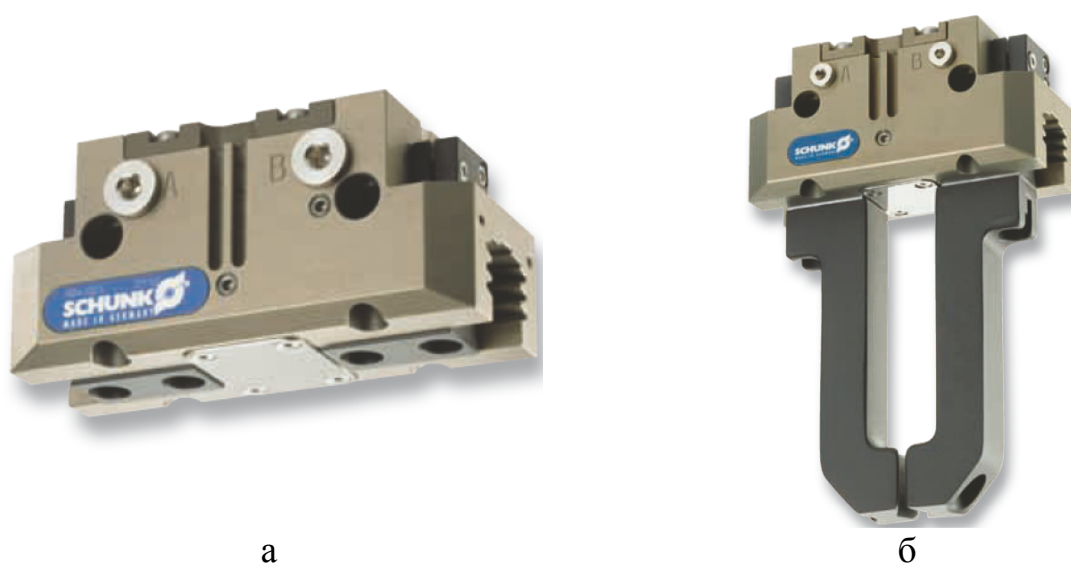


Рисунок 55 - Двухпальцевый захват с параллельными пальцами серии PGN-plus: а – захват без пальцев, б – захват с пальцами (пример)

Устройство пневматического захватного устройство Schunk PGN-Plus
приведено на рисунке 56. Основные элементы приведены в таблице 14.

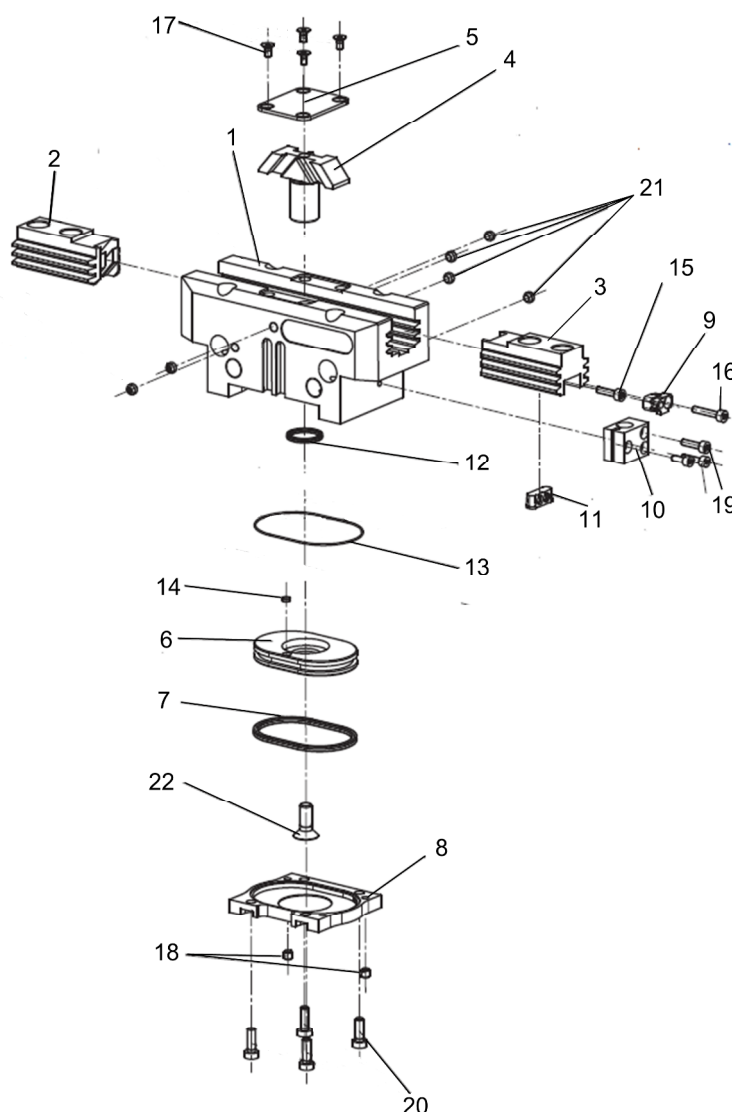


Рисунок 56 – Устройство пневматического захвата Schunk PGN-Plus

Таблица 14 – Основные элементы захватного устройства

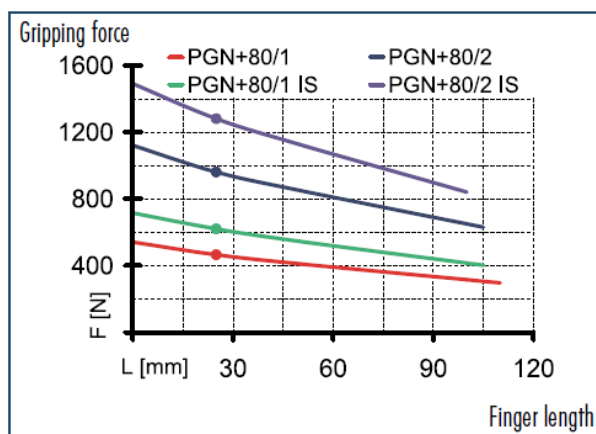
№ позиции	Наименование	Количество
1	Корпус	1
2	Кулачок левый	1
3	Кулачок правый	1
4	Поршень	1
5	Щиток	1
6	Поршень цилиндра	1
7	Кольцо квадратного сечения	1
8	Крышка	1
9	Контактный кулачок	2
10	Держатель бесконтактного выключателя	2

Продолжение таблицы 14

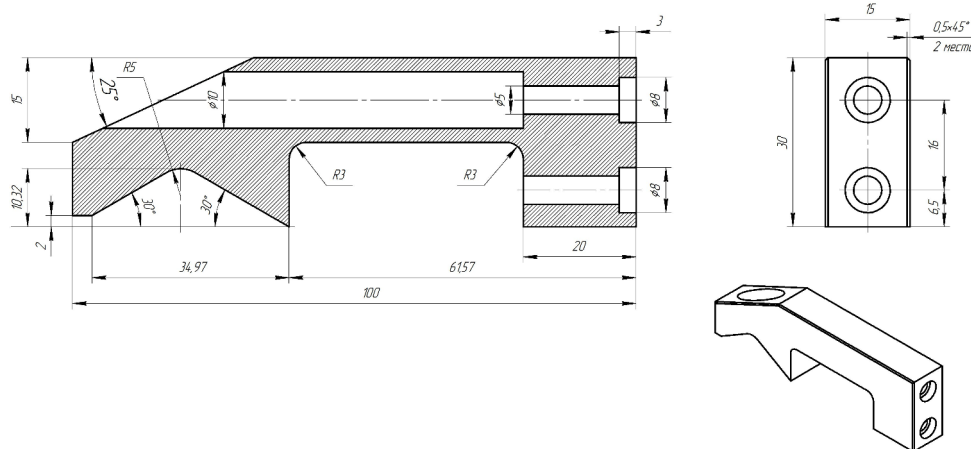
11	Держатель контактного кулачка	2
12	Кольцо квадратного сечения	1
13	Прокладка плоская	1
14	Круглый магнит	1
15	Винт М2 х 6	2
16	Винт М2 х 10	2
17	Винт с потайной головкой М2,5 х 4	4
18	Резьбовая шпилька М3 х 3	1
19	Винт М3 х 12	4
20	Винт М4 х 10	4
21	Резьбовая шпилька М5 х 4	7
22	Винт с потайной головкой М6 х 16	1

Принцип действия захватного устройства следующий. Под действием подводимого под давлением воздуха движется вверх-вниз поршень цилиндра 6 и связанный с ним поршень 4. Поршень цилиндра 6 крепится к поршню 4 с помощью винта 22. На конце поршня 4 установлен клиновой механизм, с помощью которого раздвигаются по направляющим кулачки 2 и 3. Снизу поршень 4 закрывается щитком 5 с помощью винтов 17. Для контроля положения кулачков используются контактные кулачки 9, бесконтактные выключатели 10. Контактный кулачок 9 закрепляется с помощью держателя контактного кулачка 11.

Сила захвата детали зависит от подаваемого в захватное устройство давления воздуха, поэтому регулируя давления подаваемого воздуха можно получить любое значение силы захвата вплоть до максимальной для данного захватного устройства. Также Сила захвата определяется длиной пальца захватного устройства. В данном случае длина пальца составляет 100 мм, следовательно максимальная сила захвата – 350 Н.



Для захвата исходной детали и заготовки были сконструированы пальцы. Для захвата детали использовались симметричные призматические пальцы с углом призмы 120 градусов. При этом длина пальца не должна превышать максимально возможную, регламентируемую техническими характеристиками захватного устройства. Чертеж пальца приведен на рисунке 57а.



Профилирование пальца осуществлялось исходя из размера захватываемой части заготовки (в данном случае – 40 мм). Для этого была построена окружность диаметром 60 мм и две линии из центра под 30° каждая. Вокруг окружности был построен контур будущих пальцев с углом 120° между линиями с помощью касательных линий, проведенных к окружности в точках ее пересечения с линиями, проведенными под 30° из центра окружности. Далее с учетом размеров кулачка захватного устройства

(расстояние между отверстиями, расстояние между кулачками) был спроектирован дальнейший контур губок (рисунок 57б)

С учетом диаметров отверстий в пальцах для их крепления к захватному устройству был получен окончательный вид пальцев, приведенный на рисунке 57а.

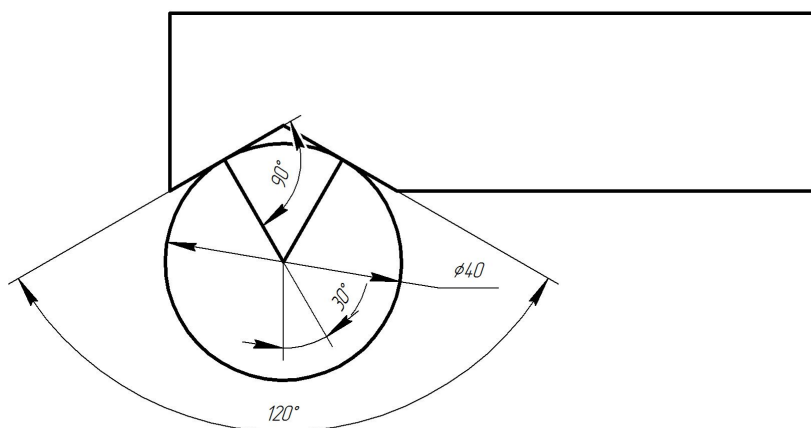


Рисунок 57б– Профилирование пальца захватного устройства

Для крепления пальцев в монтажные отверстия захватного устройства используются центрирующие втулки и винты в соответствии со сборочным чертежом захватного устройства.

Крепление пальца к кулачку производится с использованием винта с резьбой М5 на максимальную глубину вкручивания в кулачок 10 мм. Для надежного центрирования пальцев и обеспечения точности крепления пальца к кулачкам захватного устройства используются центрирующие гильзы. В данном случае диаметр центрирующей гильзы равен 8 мм. В пальце сделаны углубления под данные центрирующие гильзы.

Поскольку отверстия на захватном устройстве и фланце робота не совпадают, то для соединения захватного устройства с выходным звеном промышленного робота, выбранного в пункте 2.2 ,был сконструирован кронштейн. Его внешний вид и эскиз приведен на рисунке 58.

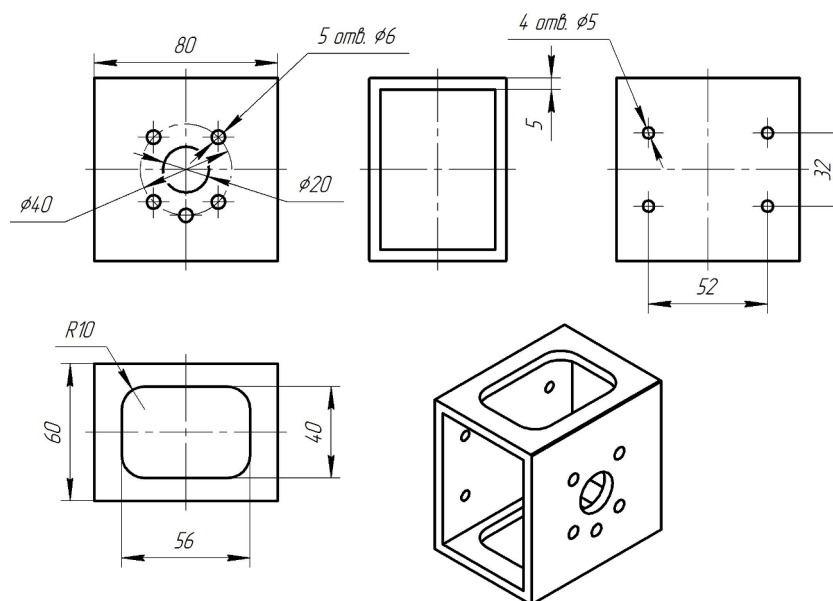
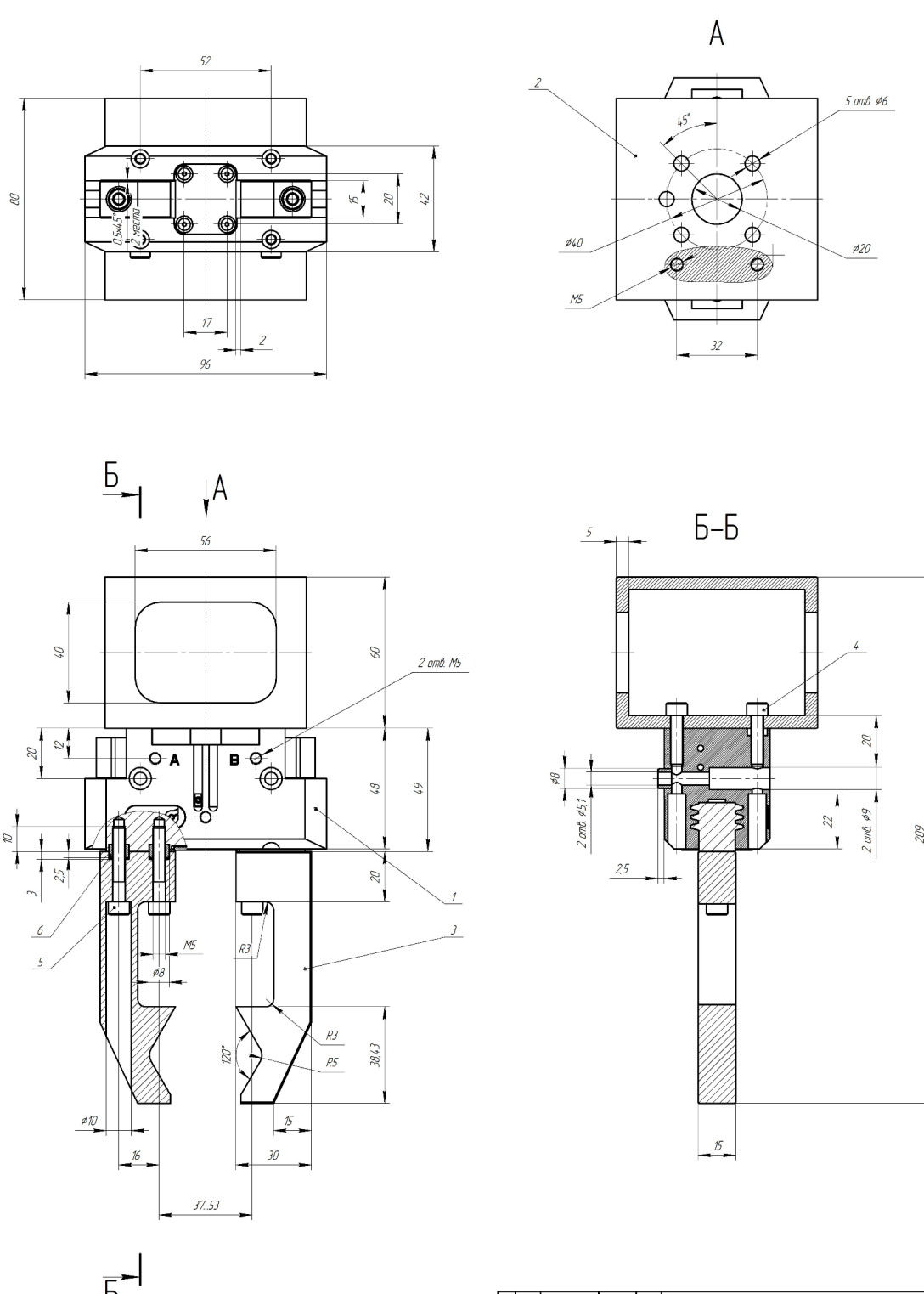


Рисунок 58 – Эскиз кронштейна

С одной стороны кронштейна имеются отверстия для его крепления к фланцу робота, а с другой – для крепления захватного устройства. На боковых сторонах кронштейна сделаны прорезы для свободного доступа к винтам крепления.

Захват Schunk PGN-plus 80-1, пальцы и кронштейн с соответствующими крепежными изделиями образуют захватное устройство, применяемое в РТК для операций с деталями.

Сборочный чертеж ЗУ имеет следующий вид:



2.4 Выбор транспортных устройств

Для подачи заготовок для загрузки станка промышленным роботом используется стол с заготовками. Заготовка устанавливается непосредственно на стол, так как форма и размеры заготовки позволяют это сделать. Робот забирает заготовку всегда с одной и той же позиции.

Для разгрузки станка и транспортирования готовых деталей используется ленточный конвейер. Внешний вид ленточного конвейера приведен на рисунке 59.

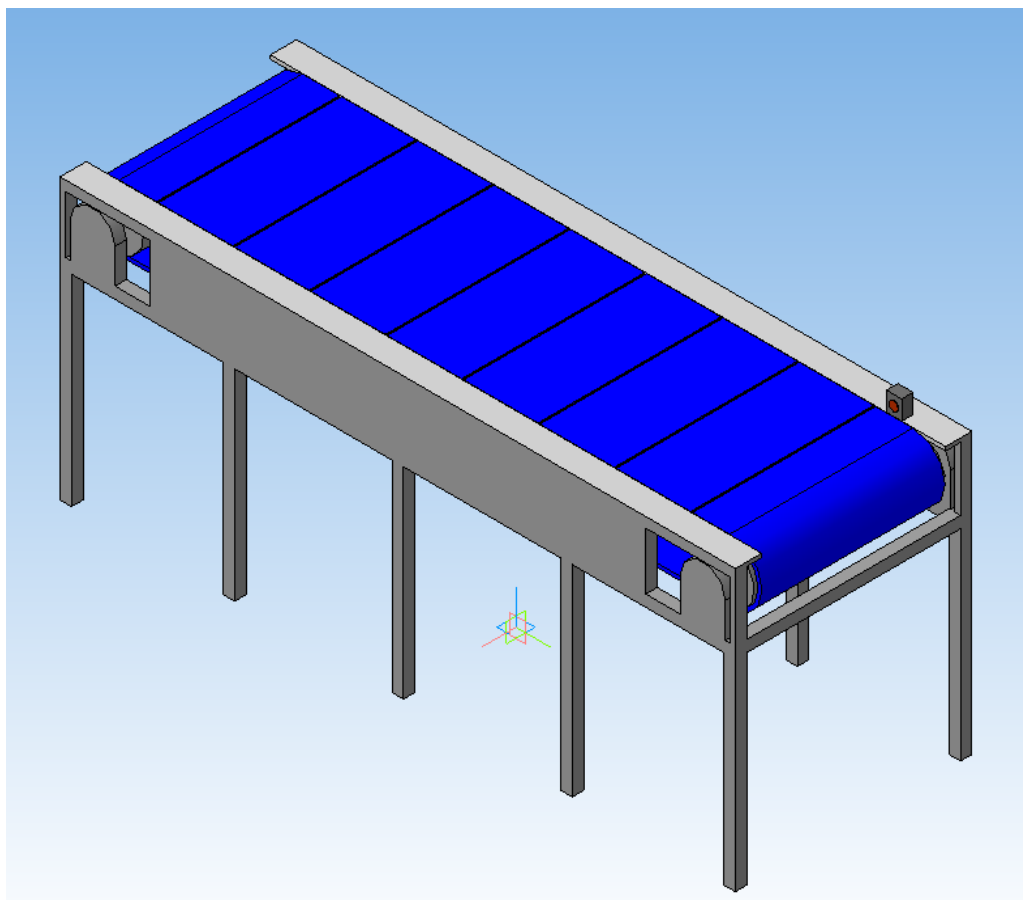


Рисунок 59 – Внешний вид ленточного конвейера

Готовая деталь устанавливается непосредственно на конвейер. На конце конвейера стоит датчик, который включает привод конвейера и подает сигнал роботу на то, что ленточный конвейер свободен.

2.5 Разработка компоновочной схемы РТК

Структуру РТК разрабатываем на основе результатов комплексного анализа технологических операций и процессов, выбора модели промышленного робота и его функций.

Промышленный робот в составе РТК механической обработки выполняет следующие функции: загрузку, разгрузку основного оборудования; ориентацию заготовки в пространстве перед установкой в приспособление; укладку в приемное устройство.

Операция установки заготовки включает в себя захватывание ее со стола с заготовками, ориентацию в пространстве, перемещение к станку и установка в патрон. Цикл начинается с опроса станка о готовности повторения цикла и получения обратной команды о готовности приспособления станка (для токарных станков команды о том, что приспособление и патрон ориентированы в данном положении), о нахождении рабочих органов станка в исходном положении. После установки заготовки на станок проводят опрос о наличии заготовки в приспособлении, затем дается команда на закрепление и проверяется правильность положения ее. Включают привод главного движения. После окончания обработки и получения обратной команды об этом, дается команда на раскрепление заготовки в зажимном приспособлении станка. Промышленный робот выполняет отвод заготовки, ее поворот на 180° и далее устанавливает заготовку в патрон. После выполнения второй части обработки промышленный робот захватывает заготовку и переносит ее к ленточному конвейеру.

По результатам анализа выполняем схему размещения РТК. На схеме указываем рабочее пространство робота, предлагаемые способы подачи деталей и расположение вспомогательного оборудования. Это позволяет определить необходимую зону для размещения оборудования.

В данном случае РТК состоит из токарного станка EMCO Maxxturn 65, промышленного робота ABB IRB 1600-6/1.45, стола для размещения

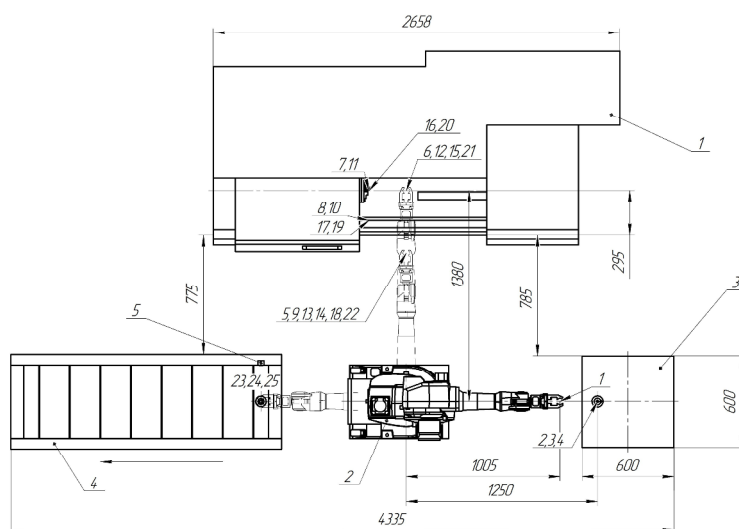
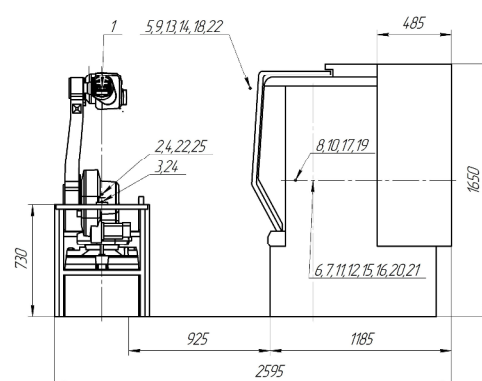
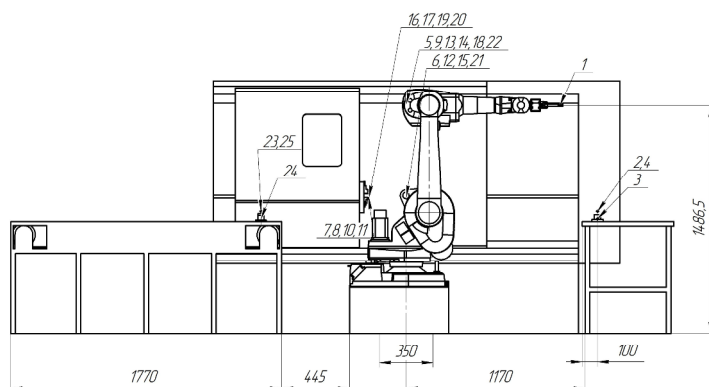
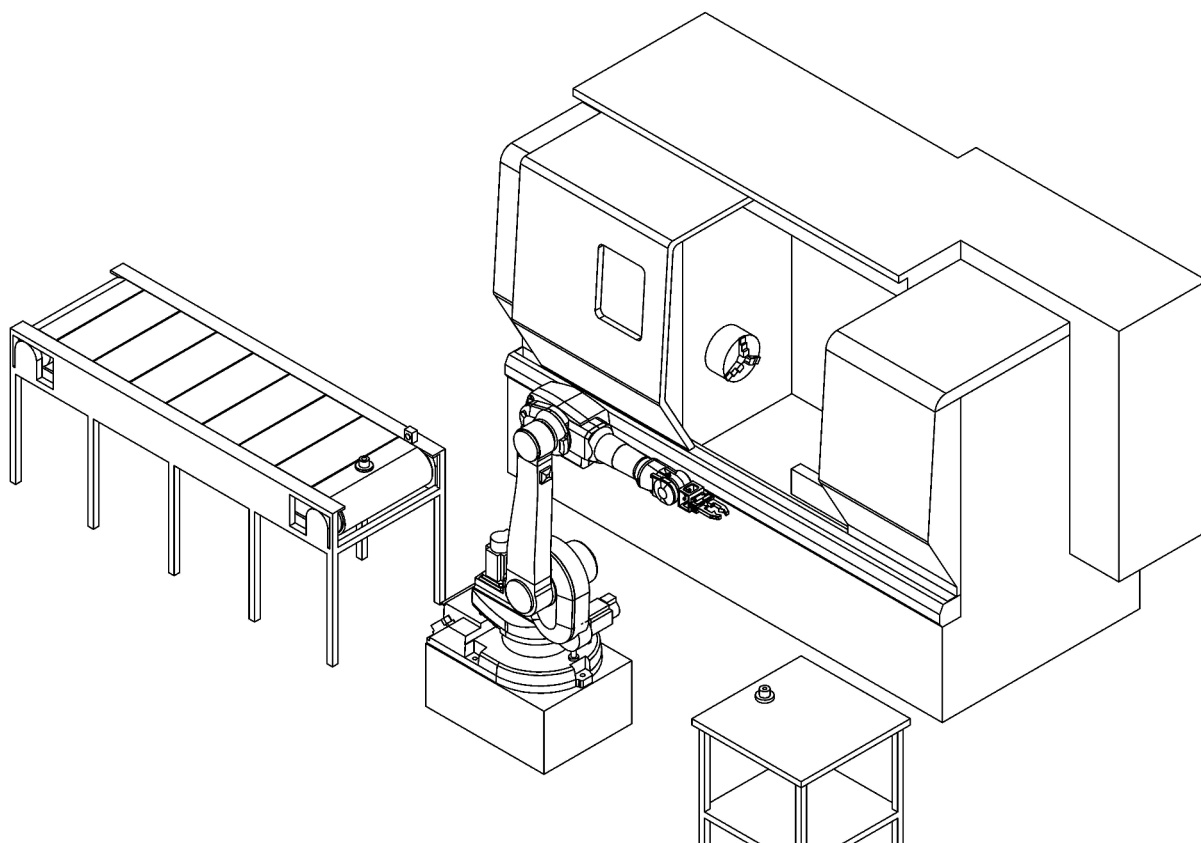
заготовок, ленточного конвейера для размещения готовых деталей, технологического оснащения и общей системы управления. Заготовки доставляются на стол. В рассматриваемом примере заготовка со стола роботом передается для обработки на станок. Затем робот снимает обработанную с одной стороны заготовку, поворачивает ее на 180° и снова устанавливает для обработки с другой стороны. Обработанная деталь передается роботом на ленточный конвейер. В состав технологического оснащения РТК входят: трехкулачковый патрон, захватное устройство, определенный заранее набор инструментального обеспечения. Вместе с технологическим оборудованием они составляют ресурсы, имеющиеся в распоряжении технолога до начала проектирования технологического процесса.

Рабочая планировка РТК приводится в графической части. Планировка обеспечивает:

- возможность выполнения промышленным роботом манипуляционных действий в соответствии с технологической характеристикой;
- оптимальное расположение основного и вспомогательного оборудования в пределах зоны обслуживания ПР в соответствии с технологическим процессом;
- возможность обслуживания и ремонта ПР, основного технологического и вспомогательного оборудования;
- возможность ведения наблюдения за оборудованием, входящим в состав РТК, не заходя в рабочую зону ПР.

Компоновка РТК содержит основные сведения, которые необходимы для программирования робота.

Разработанная планировка представлена ниже:



Состав РТК

- 1 - Станок EMCO Maxxturn 65
- 2 - Промышленный робот ABB IRB 1600-6/1.45
- 3 - Стол с заготовками
- 4 - Ленточный конвейер
- 5 - Оптический датчик

2.6 Основные сведения о программировании роботов

Основными сведениями для процесса программирования робота являются: координаты нахождения захватываемой детали, координаты положения робота, координаты установочной оснастки станка, координаты выходного накопителя.

Точки захвата (Target) задаются в программе в виде координат X, Y, Z. По данным точкам формируется траектория движения робота в пространстве.

Возможны два вида движения робота:

- линейное перемещение прямой, задается с помощью команды MoveL;
- движение осей MoveJ.

Инструкция позиционирования содержит следующие данные:

- вид траектории перемещения;
- конечная позиция для движения робота;
- величина зоны огибания, то есть как близко должен приблизиться робот к конечному положению, прежде чем начнет движение к следующей позиции. При выборе fine робот достигает позиции точно;

- вид инструмента.

Инструкция позиционирования выглядит следующим образом:

MoveL p1, v100, z10, tool1, где

- MoveL – вид траектории (L – линейная, J – движение осей, C – дугообразное);
- p1 – конечная позиция, содержится в описании p1 данных позиции;
- v100 – скорость движения инструмента, в данном случае 100 мм/с;
- z10 – зона огибания (точность), в данном случае 10 мм;
- tool 1 – наименование инструмента.

Параметр захвата и относящаяся к нему рабочая точка описываются в описании данных. Управление схватом происходит благодаря цифровому выходному сигналу, которое описано в системных параметрах.

В данную программу также можно добавить связь с цифровыми входами и выходами робота. Например, цифровой выход, управляющий разжимом и зажимом захватного устройства.

Для функционирования РТК в соответствии с его компоновкой и [13, 14] была написана программа, которая управляет движением промышленного робота.

```

MODULE MyModule
PERS tooldata
Schunk_1:=[TRUE, [[0,0,129.78], [1,0,0,0]], [2, [1,1,1], [1,0,0,0], 0,0,0]];
PERS wobjdata
Wobj_stanok:=[FALSE, TRUE, "", [[2700,537,153.169], [0,0,0,1]], [[0,0,0], [1,0,0,0]]];
CONST robtarget ppatron:=[[1300,278.5,696.831], [0.5,-0.5,-0.5,0.5], [0,0,-2,1], [9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget pvpatron:=[[1300,537,696.831], [0.5,-0.5,-0.5,0.5], [-1,-1,-1,1], [9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget othod2:=[[1450,274.5,696.831], [0.5,0.5,-0.5,-0.5], [0,0,0,1], [9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget
ozhid:=[[688.237183172,0.000216037,928.379509033], [0.499999485,-0.499999658,0.500000499,-0.500000358], [0,-1,-1,0], [9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget othod:=[[1450,278.5,696.831], [0.5,-0.5,-0.5,0.5], [0,0,-2,1], [9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget pvpatron_2:=[[1300,537,696.831], [0.5,0.5,-0.5,-0.5], [-1,-1,1,1], [9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget ppatron_2:=[[1300,274.5,696.831], [0.5,0.5,-0.5,-0.5], [0,0,0,1], [9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
PERS wobjdata Workobj_Pick:=[FALSE, TRUE, "", [[0,-900,475], [1,0,0,0]], [[0,0,0], [1,0,0,0]]];
CONST robtarget Home:=[[0.000380712,-1212.78,1243], [0.500000078,0.499999922,0.500000078,-0.499999922], [-1,0,0,0], [9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget Pick:=[[0,-50,22.5], [0.5,0.5,0.5,-0.5], [-2,-1,0,1], [9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget GTPick_10:=[[0,-50,65], [0.5,0.5,0.5,-0.5], [-2,-1,0,1], [9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
PERS wobjdata
Workobject_Place:=[FALSE, TRUE, "", [[0,1500,475], [1,0,0,0]], [[0,0,0], [1,0,0,0]]];
CONST robtarget GTPlace_10:=[[0,-550,65], [0.5,-0.5,0.5,0.5], [0,-1,0,1], [9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget Place:=[[0,-550,22.5], [0.5,-0.5,0.5,0.5], [0,-1,0,1], [9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
PROC main()
    Path_10;
ENDPROC
PROC Path_10()
    MoveJ Home,v100,z5,Schunk_1\WObj:=wobj0;
    MoveJ GTPick_10,v100,fine,Schunk_1\WObj:=Workobj_Pick;
    setDO DO1_10,1;
    MoveL Pick,v20,fine,Schunk_1\WObj:=Workobj_Pick;

```

```

SetDO DO1_10,0;
MoveL GTPick_10,v60,fine,Schunk_1\WObj:=Workobj_Pick;
MoveJ ozhid,v100,z10,Schunk_1\WObj:=wobj0;
MoveJ pvpatron,v100,z5,Schunk_1\WObj:=Wobj_stanok;
MoveL ppatron,v20,fine,Schunk_1\WObj:=Wobj_stanok;
SetDO DO1_10,0;
MoveL othod,v100,fine,Schunk_1\WObj:=Wobj_stanok;
MoveJ ozhid,v100,z5,Schunk_1\WObj:=wobj0;
WaitDI DI10_1,1;
MoveJ othod,v100,fine,Schunk_1\WObj:=Wobj_stanok;
MoveL ppatron,v50,fine,Schunk_1\WObj:=Wobj_stanok;
setDO DO1_10,0;
MoveL pvpatron,v100,fine,Schunk_1\WObj:=Wobj_stanok;
MoveJ ozhid,v100,z5,Schunk_1\WObj:=wobj0;
MoveJ ozhid2,v100,fine,Schunk_1\WObj:=wobj0;
MoveJ pvpatron_2,v100,z5,Schunk_1\WObj:=Wobj_stanok;
MoveL ppatron_2,v50,fine,Schunk_1\WObj:=Wobj_stanok;
setDO DO1_10,1;
MoveL othod2,v50,fine,Schunk_1\WObj:=Wobj_stanok;
MoveJ ozhid2,v100,z5,Schunk_1\WObj:=wobj0;
WaitDI DI10_1,1;
MoveJ othod2,v100,fine,Schunk_1\WObj:=Wobj_stanok;
MoveL ppatron_2,v50,fine,Schunk_1\WObj:=Wobj_stanok;
setDO DO1_10,0;
MoveL pvpatron_2,v50,fine,Schunk_1\WObj:=Wobj_stanok;
MoveJ ozhid2,v100,z5,Schunk_1\WObj:=wobj0;
MoveJ GTPlace_10,v100,fine,Schunk_1\WObj:=Workobject_Place;
MoveL Place,v50,fine,Schunk_1\WObj:=Workobject_Place;
setDO DO1_10,1;
MoveL GTPlace_10,v50,fine,Schunk_1\WObj:=Workobject_Place;
MoveJ ozhid,v100,z5,Schunk_1\WObj:=wobj0;
MoveJ Home,v100,z5,Schunk_1\WObj:=wobj0;
ENDPROC
ENDMODULE

```

В начале данной программе приведены описание данных позиций, формирующих траекторию движения промышленного робота. Процедура Path_10 описывает траекторию движения инструмента и использует приведенные выше константы. Управление схватом происходит благодаря цифровому выходному сигналу с обозначением DO1_10, которое описано в системных параметрах. Значение сигнала 1 означает, что схват держит деталь, если сигнал 0 - деталь отсутствует. Цифровой сигнал DI10_1 используется для связи контроллера робота со станком для передачи сигнала конца обработки детали.

С использованием этой программы промышленный робот выполняет загрузку и разгрузку станка деталями в соответствии с разработанной структурой РТК.

2.7 Циклограмма работы РТК

Чтобы обеспечить согласованное функционирование ПР и технологического оборудования, необходимо согласовать циклы их работы. Для этих целей разработаем циклограмму работы РТК, состоящую из типовых переходов. Длительность отдельных переходов определяется исходя из величин перемещений рабочих органов станка и робота и скоростей соответствующих перемещений.

На основании написанной программы с учетом скорости перемещения работа и координат, а также расчетно-технологической карты обработки детали (таблица 8) была построена циклограмма работы РТК.

Время позиционирования промышленного робота существенно зависит от выбранной скорости позиционирования. Время позиционирования было получено в результате моделирования работы РТК на базе промышленного робота ABB IRB 1600 в программе ABB RobotStudio.

Время для 1 перехода было получено в результате установки в программе точки остановки на строке MoveL GTPick_10,v60,fine,Schunk_1\WObj:=Workobj_Pick. Полученное время приведено в нижней части программы (рисунок 60).

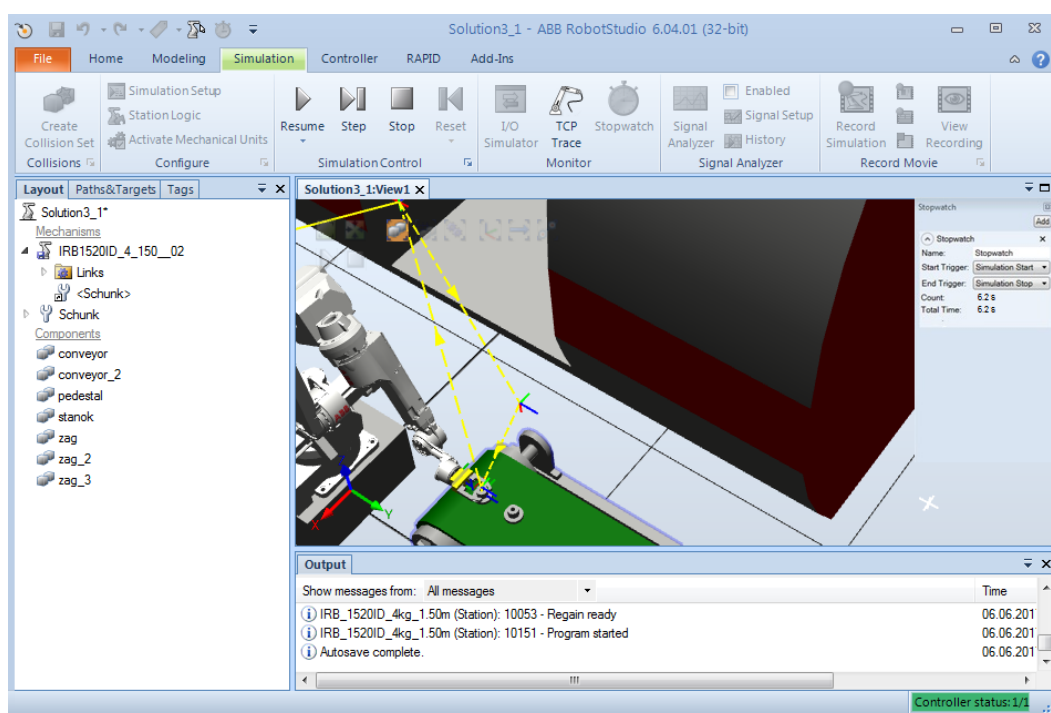


Рисунок 60 – Время для перехода 1.

Аналогично были получены времена переходов для всех остальных переходов. Результаты приведены на рисунках 61-68.

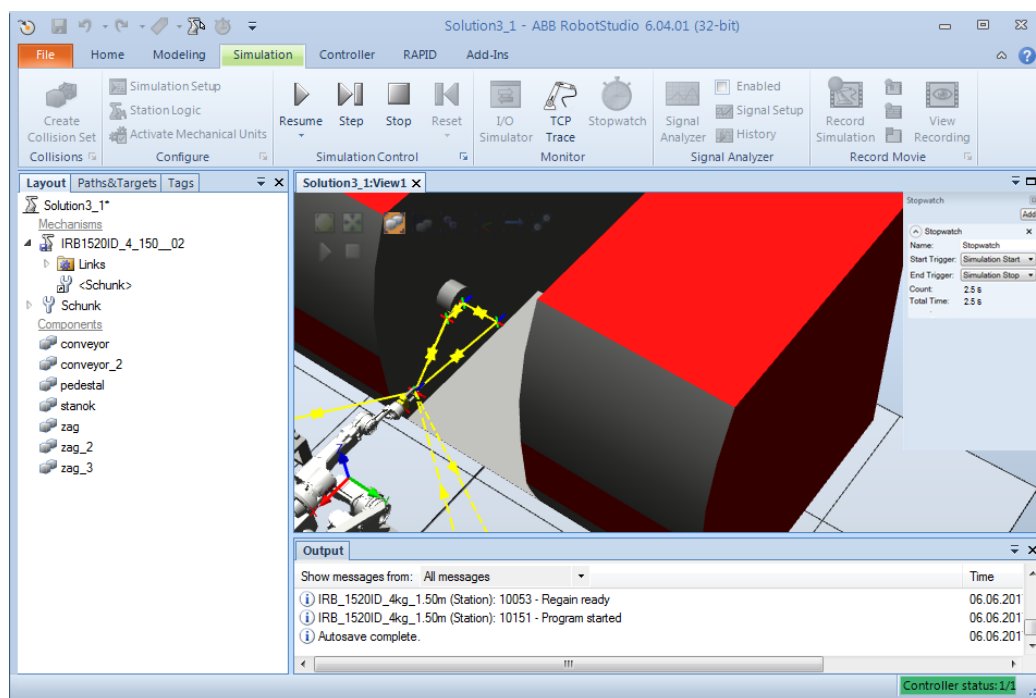


Рисунок 61 – Время выполнения 2 перехода

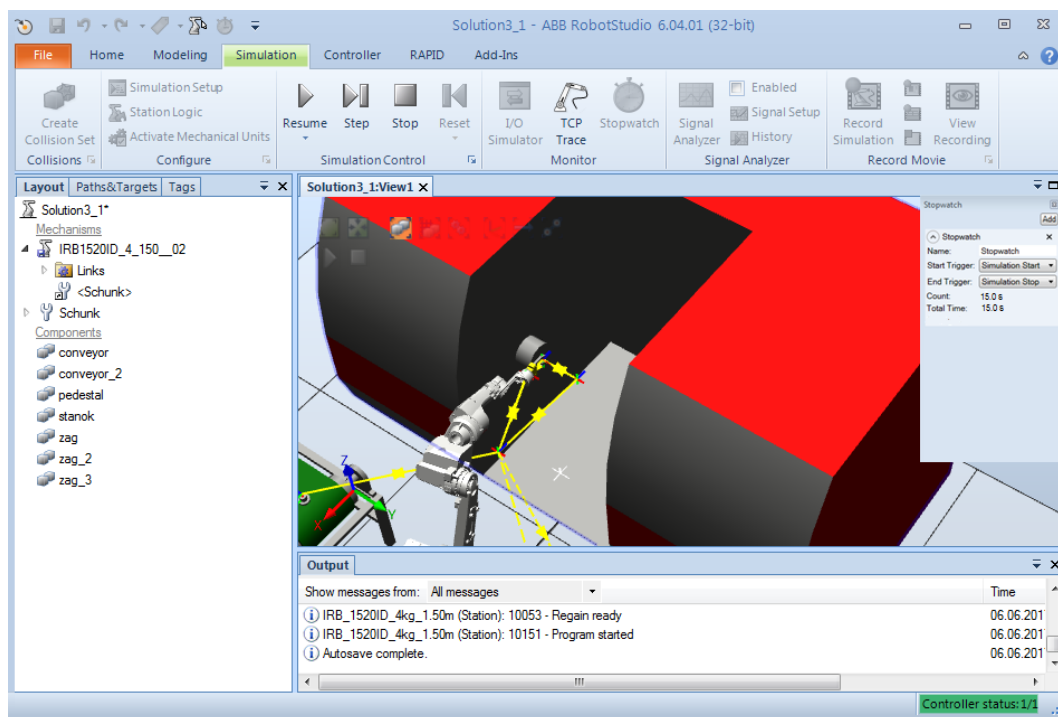


Рисунок 62 – Время выполнения 3 перехода

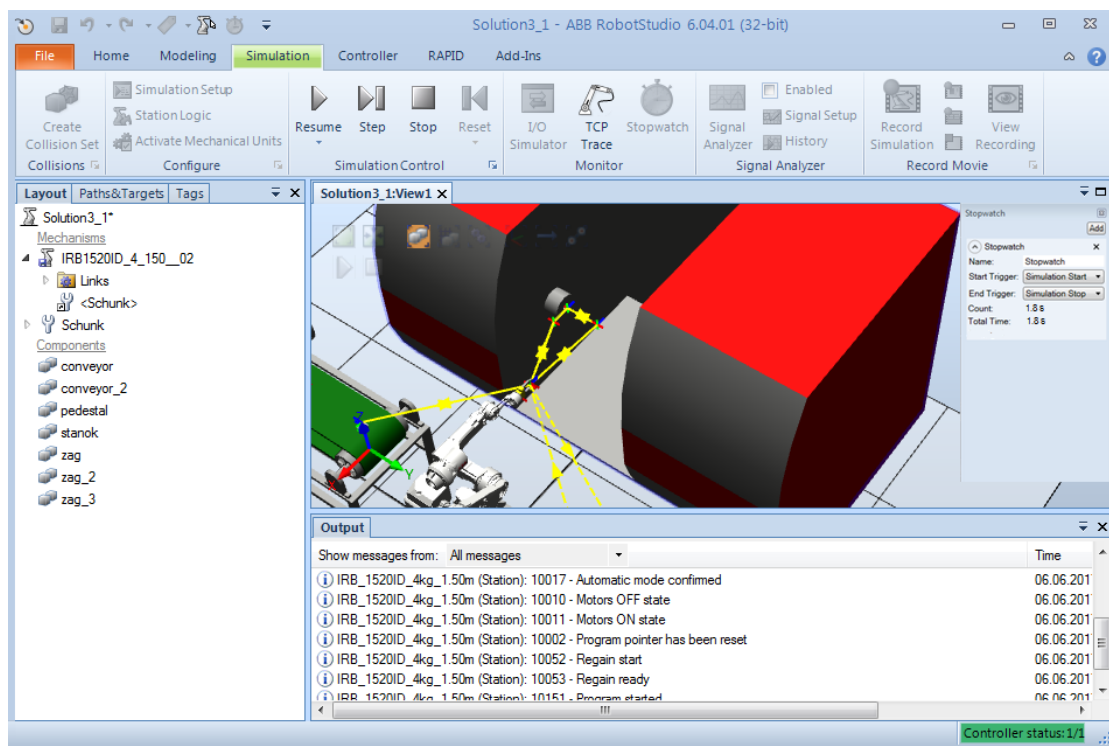


Рисунок 63 – Время выполнения 4 перехода

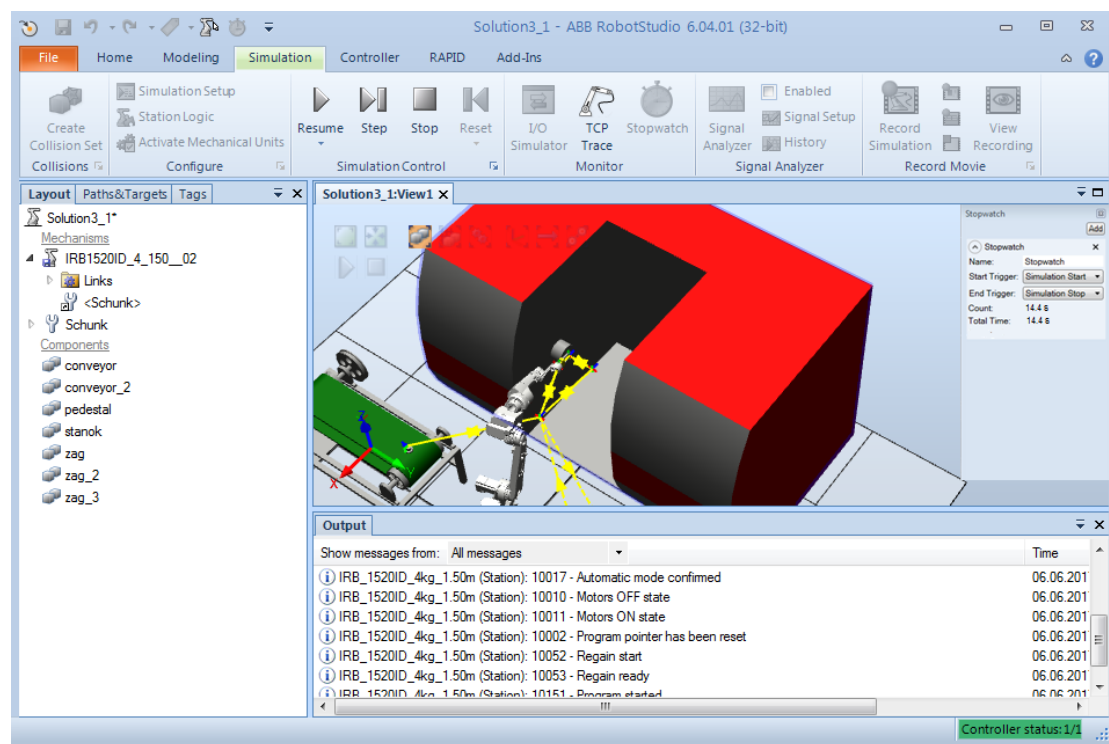


Рисунок 64 – Время выполнения 6 перехода

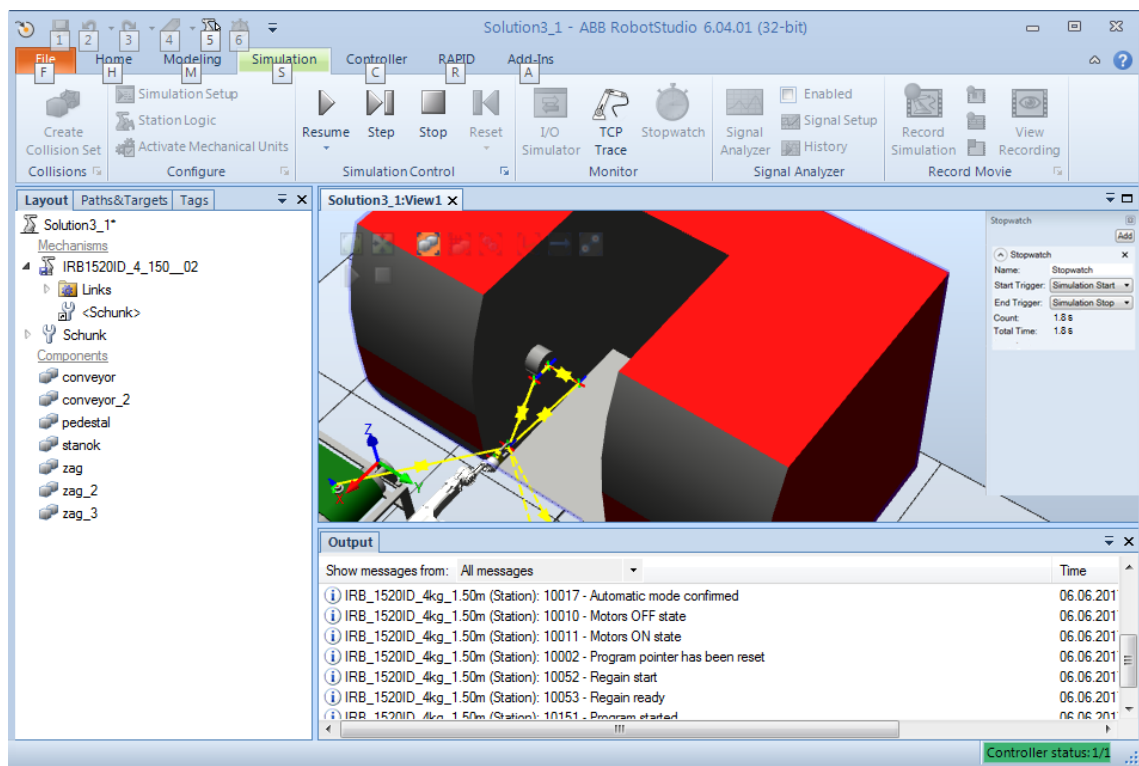


Рисунок 65 – Время выполнения 7 перехода

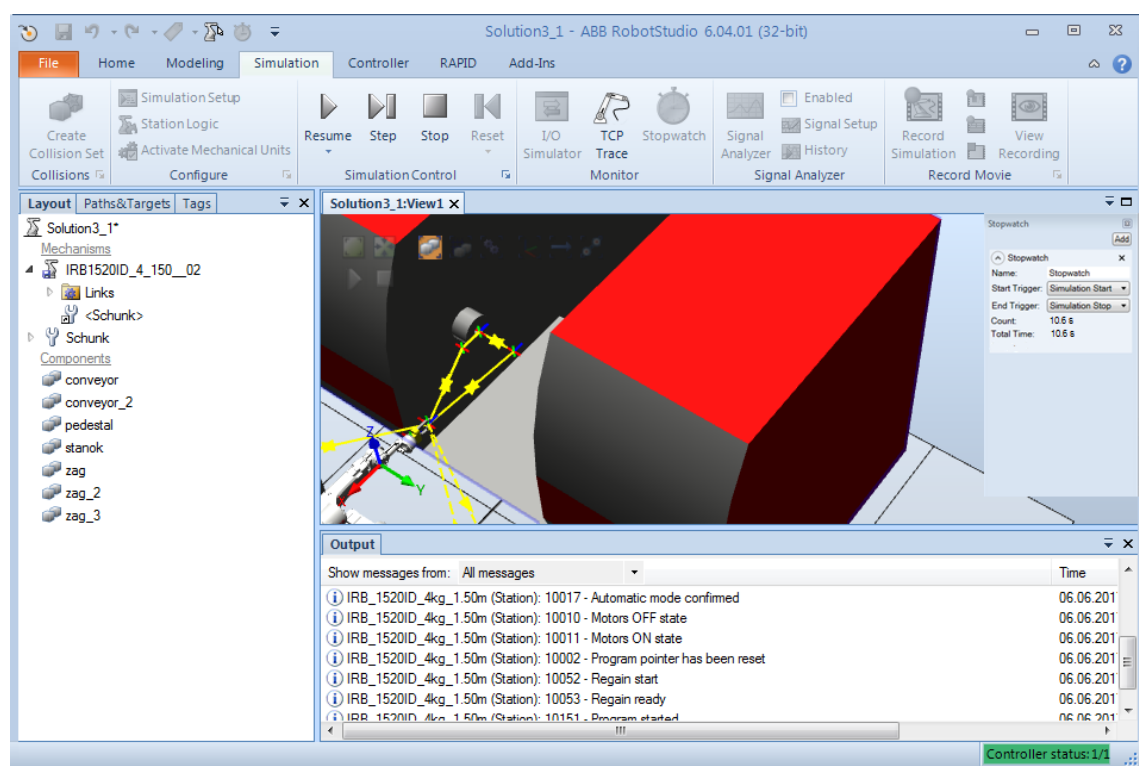


Рисунок 66 – Время выполнения 9 перехода

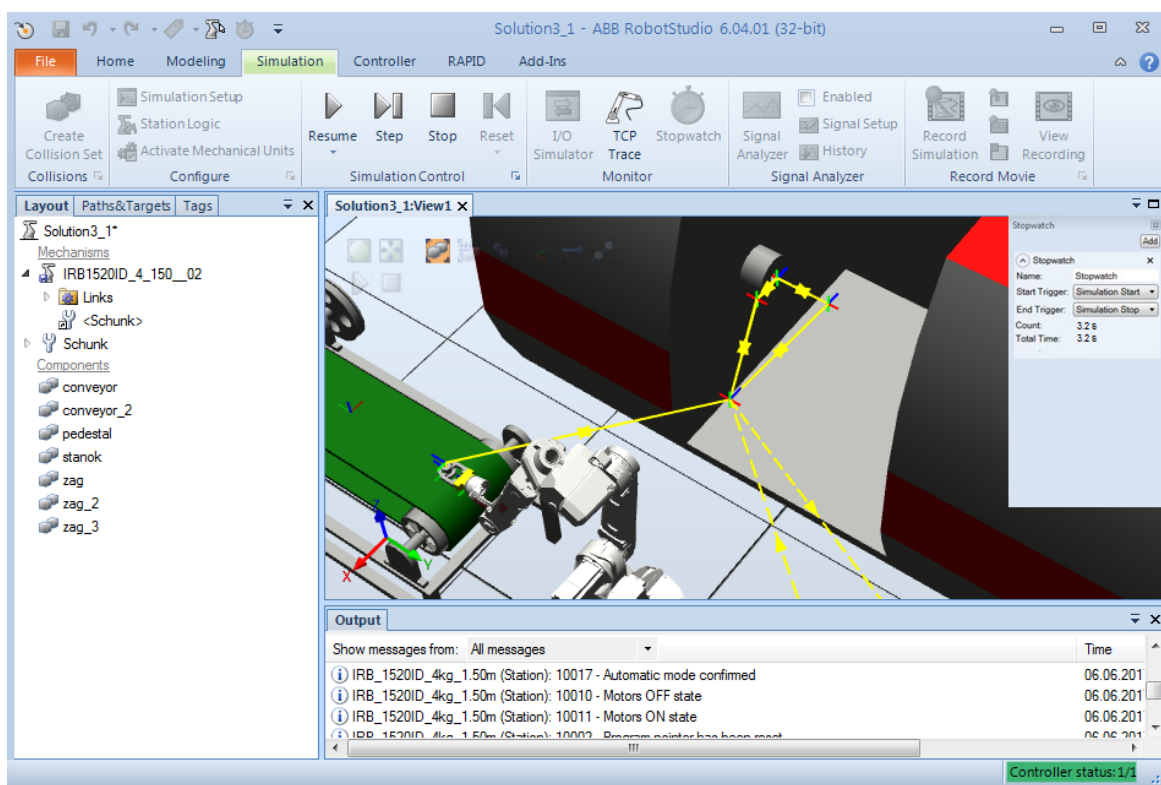


Рисунок 67 – Время выполнения 10 перехода

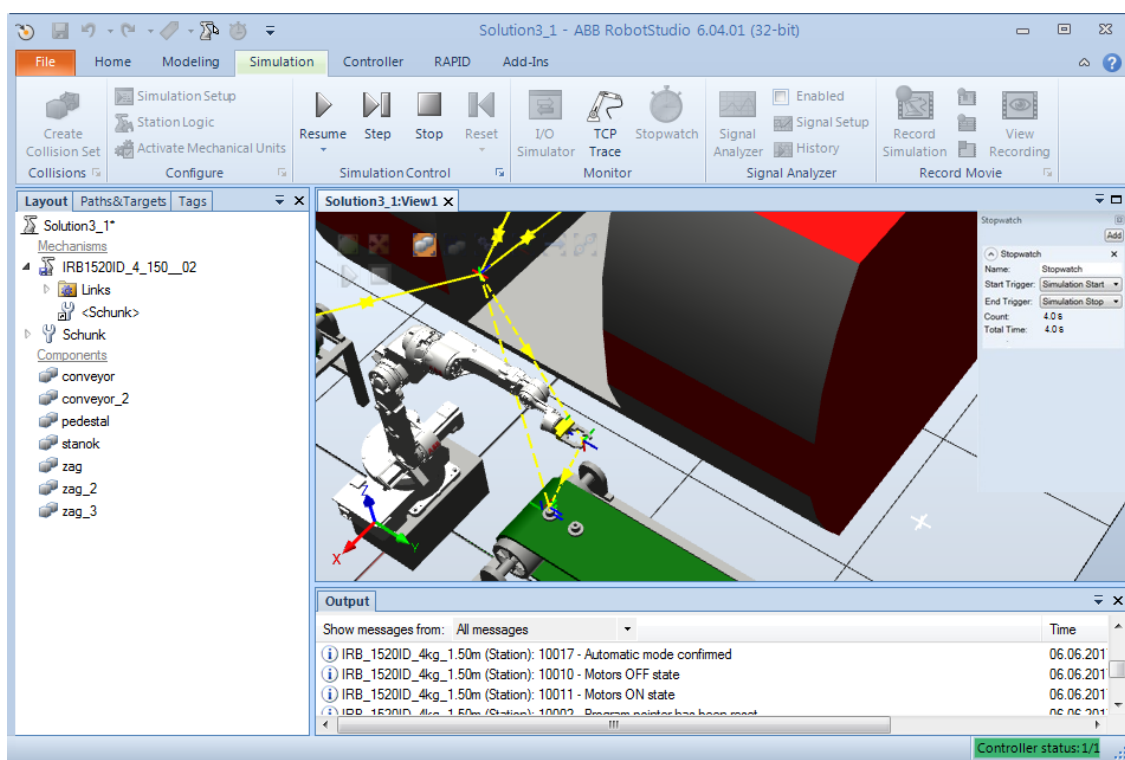


Рисунок 68 – Время выполнения 11 перехода

По полученным результатам моделирования была построена таблица 15, где приведено время выполнения каждого перехода, которое понадобится для построения циклограммы.

Таблица 15 – Время процесса загрузки/разгрузки и обработки детали

№ п/п	Название перехода	Время
1	Опускание руки и захват заготовки (позиции 1,2,3)	6,2 с
2	Взятие заготовки со стола и поворот к станку (позиции 3,4,5)	2,5 с
3	Установка заготовки в патрон и зажим патрона (позиции 5,6,7)	15,0 с
4	Отвод руки из зоны обработки (позиции 8,9)	1,8 с
5	Простой (обработка 1) позиция 9	26,0 с
6	Подвод руки, захват заготовки, отвод руки из зоны обработки, поворот на 180°, установка заготовки в патрон, зажим патрона (позиции 9,10,11,12,13,14,15,16)	14,4 с
7	Отвод руки из зоны обработки (позиции 17,18)	1,8 с
8	Простой (обработка 2)	54,0 с
9	Подвод руки, захват детали, отвод из зоны обработки (позиции 19,20,21,22)	10,6 с
10	Поворот к ленточному конвейеру, опускание руки, разжим захвата (позиции 22,23,24,25)	3,2 с
11	Возврат в исходное положение (позиции 25,1)	4,0 с
Итого время цикла		139,5 с

В результате время цикла составило 139,5 с. На основании полученных значений времени была построена циклограмма работы РТК.

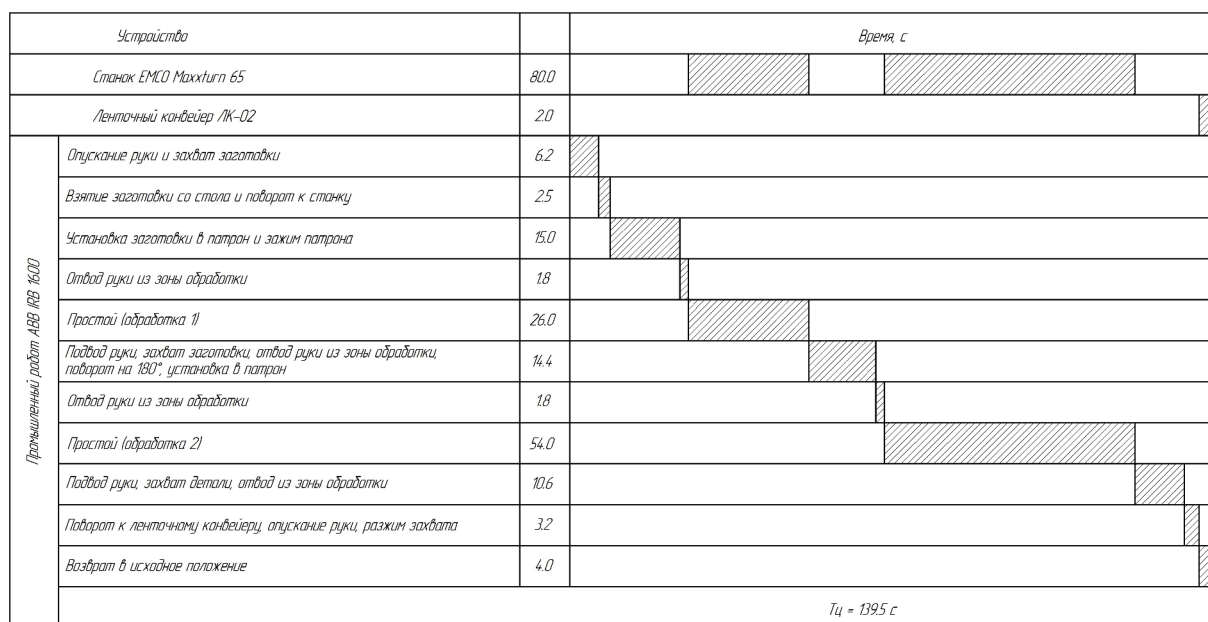


Рисунок 69 – Циклограмма работы РТК

2.8 Разработка циклограммы работы РТК без программных средств

Рассмотрим альтернативный вариант построения циклограммы для робота Kuka Kr 6

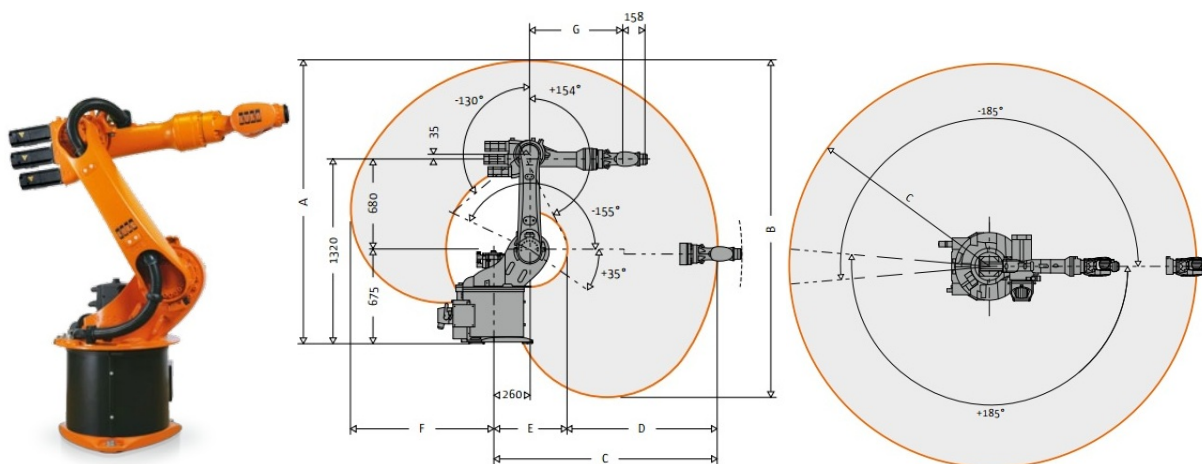


Таблица. 16 - Основные характеристики ПР.

Характеристика	Значения
Радиус действия, макс	1611 мм.
Номинальная грузоподъемность	6 кг.
Номин. доп. нагрузка на манипулятор/карусель	10/20 кг.
Максимальная грузоподъемность	36кг.
Повторяемость позиционирования	±0,05мм.
Количество осей	6
Монтажное положение	Стена, пол, потолок
Площадь установки робота	500 мм.х500 мм.
Вес (без СУ)	235 кг

Скорость перемещения по осям приведена в таблице 17.

Таблица 17.

Ось	Рабочий диапазон	Скорость перемещения
1	+/-185°	156°/с
2	+35°/-155°	156°/с
3	+154°/-130°	156°/с
4	+/-350°	343°/с
5	+/-130°	362°/с
6	+/-350°	659°/с

Для определения скорости линейного позиционирования V_{xp} в диапазоне перемещений $L_x = 0,05...0,8$ м (L_x – вылет консоли руки робота) может быть использована эмпирическая формула:

$$V_{xp} = \frac{2 \cdot L_x \cdot \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{M}},$$

где $L_y = 1.83$ м и $L_x = 0.82$ м – перемещение руки робота по оси Y, $\Delta l = 0,1$ мм – погрешность позиционирования; $M = 3,4$ кг – масса объекта манипулирования.

$$V_{yp} = \frac{2 \cdot 1.83 \cdot \sqrt[4]{0,0001}}{\sqrt[3]{3,4}} = 0,25 \text{ м/с}.$$

$$V_{xp} = \frac{2 \cdot 0.82 \cdot \sqrt[4]{0,0001}}{\sqrt[3]{3,4}} = 0,15 \text{ м/с}$$

Для определения допустимой быстроходности устройств поворота всей руки относительно вертикальной или горизонтальной оси может быть использована формула:

$$\omega = \frac{0,5 \cdot \sqrt{\varphi} \cdot \sqrt[4]{\delta}}{\sqrt[3]{(2L_x)^4}},$$

где ω – угловая скорость, рад/с; $\varphi = 90^\circ = 1,57$ рад. – угол поворота руки, рад; $\delta = 0,01$ рад. – погрешность углового позиционирования.

$$\omega_y = \frac{0,5 \cdot \sqrt{1,57} \cdot \sqrt[4]{0,01}}{\sqrt[3]{(2 \cdot 1.83)^4}} = 0,322 \text{ рад/с} \approx 19^\circ 14' / \text{с}$$

$$\omega_x = \frac{0,5 \cdot \sqrt{1,57} \cdot \sqrt[4]{0,01}}{\sqrt[3]{(2 \cdot 0.82)^4}} = 0,46 \text{ рад/с} \approx 28^\circ 15' / \text{с}$$

Определение времени позиционирования

В большинстве ПР используется закон изменения скорости движения, близкий к трапецеидальному. При трапецеидальном законе изменения скорости время T_i отдельного движения может быть определена по формуле:

$$T_i = \sqrt{\frac{L}{a_k}} \cdot \frac{1 + K(V_o / \sqrt{a_k \cdot L})^2}{V_o / \sqrt{a_k \cdot L}},$$

где L – длина перемещения по i -й координате; a_k – ускорение при торможении или разгоне, м/с²; K – коэффициент, зависящий от соотношения ускорений при разгоне и торможении; V_o – скорость позиционирования по i -й координате.

Наиболее часто встречается случай, когда разгон и торможение осуществляются с одинаковым по модулю ускорением, при этом $K = 1$. Опыт использования ПР показал, что оптимальные скорости перемещения исполнительных устройств достигаются при ускорении $a_k = 4...5$ м/с.

Если вращательное движение рассматривать приведенным к определенному радиусу, то расчетную формулу по определению времени перемещения можно использовать и для вращательных перемещений.

Рассчитаем время каждого из перемещений ПР:

Опускание руки и захват заготовки

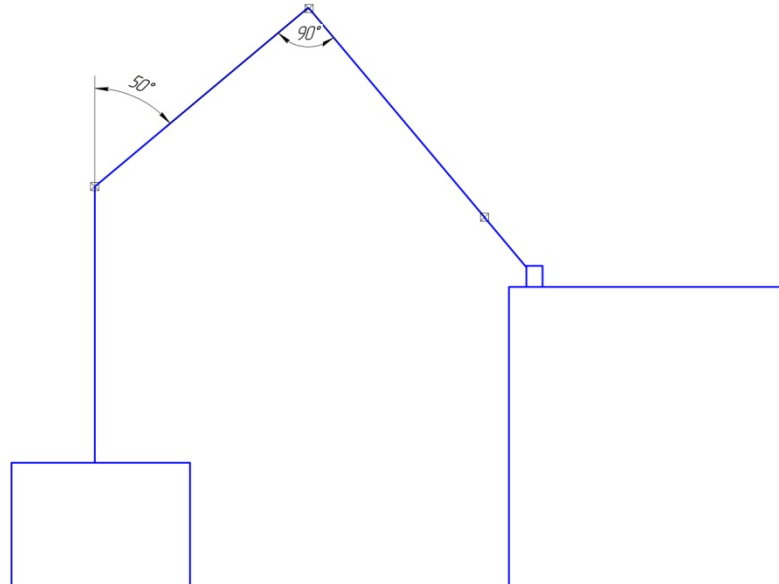


Рисунок 70. Положение робота при схвате заготовки.

$$T_1 = \frac{a}{w} = \frac{50}{19,14} = 2.61 \text{ с} + T_{\text{схвата}} = 2.66$$

Поднятие руки с заготовкой и поворот на 90°

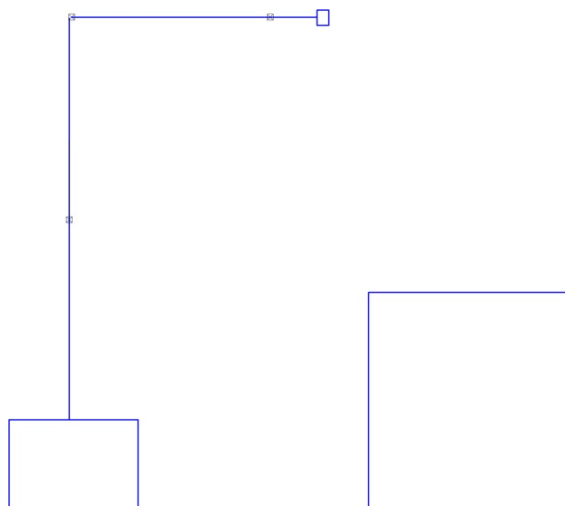


Рисунок 71. Положение робота при поднятии заготовки

$$T_2 = \sum T$$

$$T_{2,1} = \frac{a}{w} = \frac{50}{19,14} = 2,61$$

$$T_{2,2} = \frac{a}{w} = \frac{90}{28,15} = 3,2$$

$$T_2 = \sum T = 2,61 + 3,2 = 5,81$$

Подвод к патрону фиксация заготовки

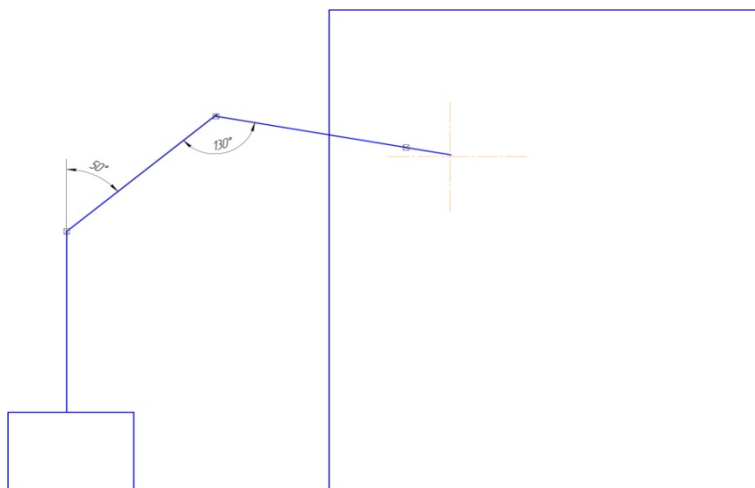


Рисунок 72. Положение робота при фиксации заготовки

$$T_3 = \sum T$$

$$T_{3,1} = \frac{a}{w} = \frac{50}{19,14} = 2,61$$

$$T_{2,2} = \frac{a}{w} = \frac{40}{19,14} = 2,5$$

$$T_2 = \sum T = 2,61 + 2,5 = 5,11 + T_{\text{схватыва}} + T_{\text{разжима}} = 5,31 \text{ с}$$

Разжим ЗУ, отвод руки из зоны обработки

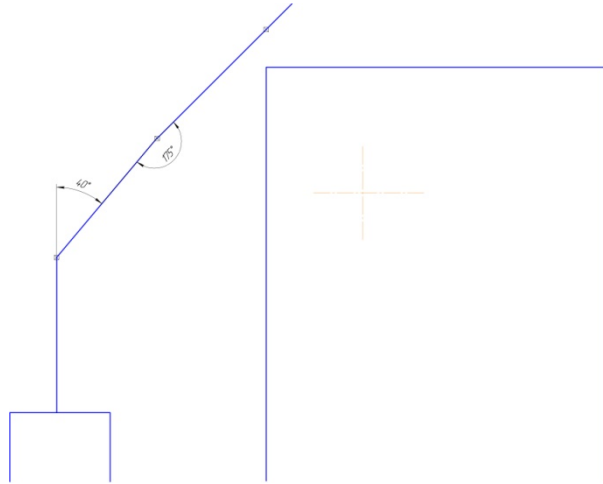


Рисунок 73. Положение робота при отводе руки

$$T_4 = \sum T$$

$$T_{4.1} = \frac{a}{w} = \frac{10}{19,14} = 0,5$$

$$T_{4.2} = \frac{a}{w} = \frac{40}{19,14} = 2,5$$

$$T_4 = \sum T = 0,5 + 2, = 3$$

Подвод к патрону фиксация детали, разжим патрона

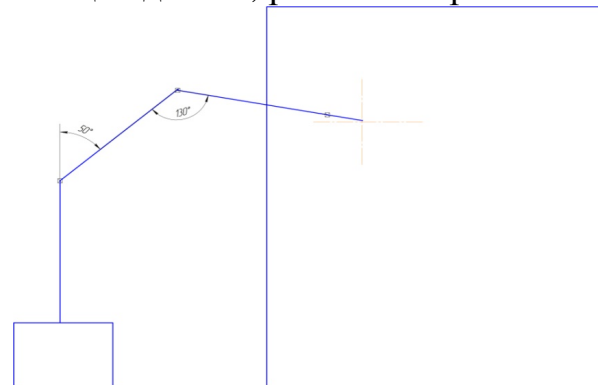


Рисунок 74. Положение робота при фиксации детали

$$T_5 = \sum T$$

$$T_{5.1} = \frac{a}{w} = \frac{10}{19,14} = 0,5$$

$$T_{5.2} = \frac{a}{w} = \frac{40}{19,14} = 2,5$$

$$T_5 = \sum T = 0,5 + 2, = 3 + T_{\text{схвата}} + T_{\text{разжима}} = 3,2 \text{ с}$$

Отвод руки с деталью из зоны обработки поворот на 90°

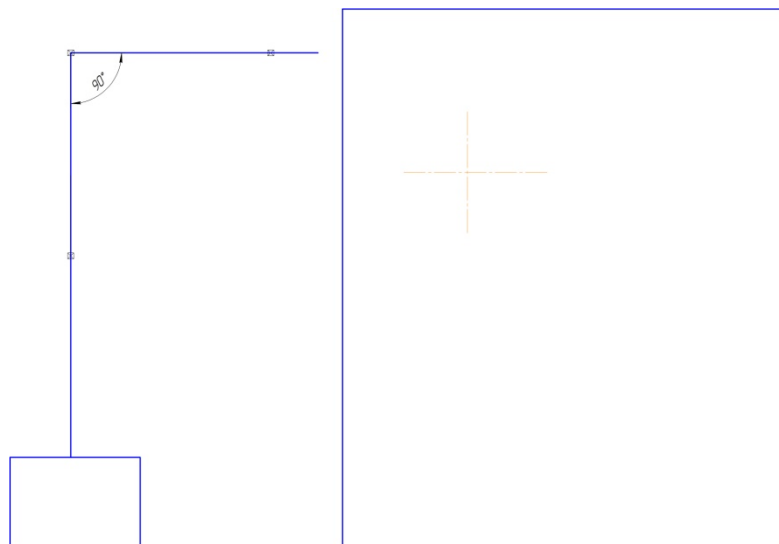


Рисунок 75. Положение робота при отводе детали

$$T_6 = \sum T$$

$$T_{6.1} = \frac{a}{w} = \frac{50}{19,14} = 2,61$$

$$T_{6.2} = \frac{a}{w} = \frac{40}{19,14} = 2$$

$$T_{6.3} = \frac{a}{w} = \frac{90}{28,15} = 3,2$$

$$T_6 = \sum T = 2,61 + 2 + 3,2 = 7,81$$

Опускание руки, разжим захвата

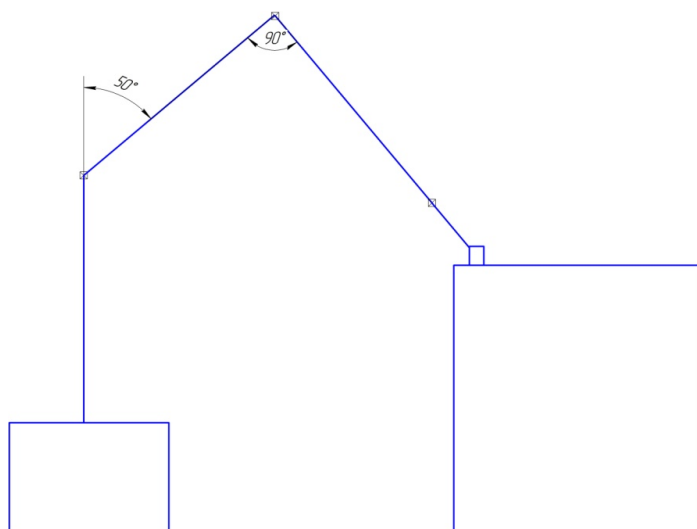


Рисунок 76. Положение робота при опускании детали на конвейер

$$T_7 = \frac{a}{w} = \frac{50}{19,14} = 2,61 \text{ с} + T_{\text{схвата}} = 2,66$$

Подъем руки, возврат в исходное положения

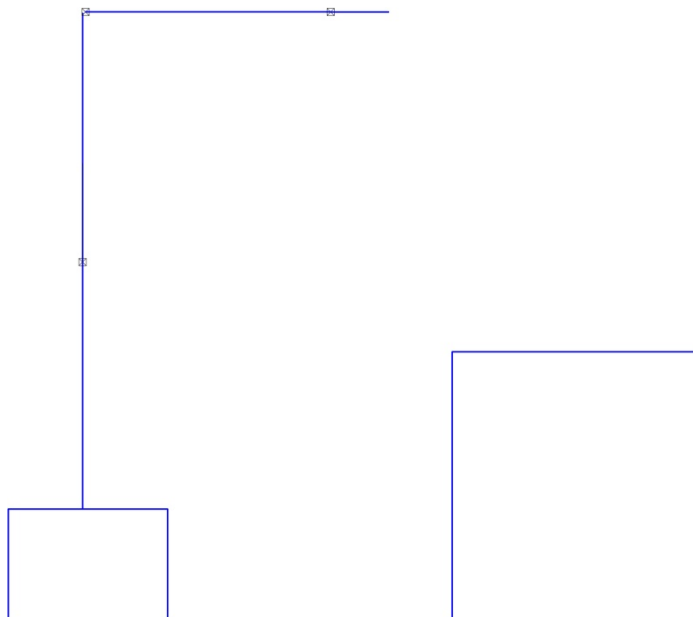


Рисунок 77. Исходное положение работа

$$T_8 = \sum T$$

$$T_{8,1} = \frac{a}{w} = \frac{50}{19,14} = 2,61$$

$$T_{8,2} = \frac{a}{w} = \frac{180}{28,15} = 6,4$$

$$T_6 = \sum T = 2,61 + 6,4 = 9$$

Циклограмма работы в данном случае имеет следующий вид.

Циклограмма работы РТК

Устройство		Время, с	
Прочный рабочий КРБ-3	Станок	72,0	
	Опускание руки и захват заготовки	2,66	
	Поднятие руки с заготовкой и поворот на 90°	5,81	
	Подход к патрону закрепление заготовки	5,31	
	Разжим ЗУ, отвод работа из зоны обработки	3	
	Простой	72	
	Подход к патрону фиксация детали, разжим патрона	3,2	
	Отвод руки с деталью из зоны обработки поворот на 90°	7,81	
	Опускание руки, разжим захвата	2,66	
	Возврат в исходное положение	9	

$$T_{\text{ц}} = 111,45 \text{ с}$$

Заключение

Разработанный РТК предназначен для изготовления указанных в задании деталей в условиях серийного производства. В состав РТК входит токарный станок EMCO Maxxturn 65, промышленный робот ABB IRB 1600-6/1.45, захватное устройство Schunk PGN-plus 80, стол с заготовками и ленточный конвейер. Технологическая оснастка: трехкулачковый патрон, захватное устройство, инструментальная наладка.

В ходе выполнения работы были выполнены следующие этапы:

- 1) формирование маршрутного технологического процесса, определение состава операций обработки детали;
- 2) выбор технологической оснастки и станка, подбор инструмента и расчет режимов резания с помощью справочника по инструменту CoroPlus® ToolGuide;
- 3) выбор промышленного робота, транспортных устройств и захватного устройства для данного вида детали;
- 4) Разработка планировки РТК и программы работы промышленного робота;
- 5) разработка циклограммы работы РТК, отображающей длительность всех действий, выполняемых за один цикл работы РТК.

Список литературы

1. Дальский, А. М. Технология конструкционных материалов : учеб. для вузов / А. М. Дальский, И. А. Арутюнова, Т. М. Барсукова [и др.] ; под ред. А. М. Дальского. – 5-е изд. – М. : Машиностроение, 2004.
2. Электронный ресурс www.emco-world.com
3. Брошюра «Больше ценности за деньги: EMCO MAXXTURN 65» [Электронный ресурс]: http://www.emco-world.com/uploads/tx_commerce/tokarnyj_stanok_MT_65_RU.pdf
4. Каталог инструмента Sandvik Coromant. www.sandvik.coromant.com/tools
5. Справочник по инструменту Sandvik Coromant ToolGuide <http://toolguide.sandvik.coromant.com/TouchTime>
6. Дальский А.М., Суслов А.Г., Косилова А.Г. Справочник технолога-машиностроителя». Том 2/Под ред. А.Г. Косиловой. М.: Машиностроение-1, 2001. – 944 с.
7. И.И. Оголь. Создание управляющих программ с помощью САМ – систем. Издательство Томского политехнического университета, 2014 г.
8. Руководство по эксплуатации и программированию Fanuc 0i-TD для токарной обработки.
9. Руководство пользователя SprutCAM 9 [Электронный ресурс]: http://www.sprut.ru/files/SprutCAM9/documentation/sprutcam_rus_content.htm
10. Электронный ресурс <http://new.abb.com/ru>
11. Электронный ресурс https://ru.schunk.com/ru_en/homepage.
12. Технические характеристики захвата Schunk PGN-plus 80 [Электронный ресурс]: доступ по ссылке: <http://us.schunk.com/fileadmin/pim/docs/IM0004180.PDF>
13. Видеоурок по программированию роботов в среде ABB RobotStudio [Электронный ресурс]: доступ по ссылке: <https://www.youtube.com/watch?v=fpVLvmBS0iw&t>

14. ABB RobotStudio Operating manual [Электронный ресурс]: доступ по ссылке: <https://library.e.abb.com/public/065fbc962276470183f4d170b9915ba6/3HAC032104-en.pdf>

15. Козырев Ю.Г. Применение промышленных роботов: учебное пособие / Ю.Г. Козырев. – М. : КНОРУС, 2016 – 494 с.

Приложение 1

Управляющая программа для станка с ЧПУ Fanuc 21i TurnMill

%	N36 G40 X76.	N70 G00 M09
O0001	N37 G00 M09	N71 G28 U0. V0. W0.
(Обработка торца Ø74)	N38 G28 U0. W0.	
N1 T0606		(Растачивание отверстия Ø20)
N2 G54 G18	(второй установ)	N72 T0101
N3 G99	(Подрезка торца до Ø44)	N73 G54
N4 M90	N39 T0606	N74 M90
N5 G50 S3000	N40 G54	N75 G50 S5000
N6 G96 S697 M03	N41 M90	N76 G96 S314
N7 G00 X81.998 Z1.	N42 G50 S3000	N77 G00 X20. Z5.
N8 G01 X82. F0.283 N9 M08	N43 G96 S660	N78 G01 Z4. F0.2 M08
N10 X76.	N44 G00 X74. Z-26.	N79 Z-26.
N11 X-0.482	N45 G01 G42 X68. F0.61 M08	N80 X10.
N12 Z2.	N46 X44.	N81 G00 Z10. M09
N13 G00 X75.278	N47 G40 Z-24.	N82 G28 U0. V0. W0.
N14 Z0.	N48 G00 M09	
N15 G01 X69.278	N49 G28 U0. V0. W0.	(Наружное точение Ø40)
N16 X-1.5		N83 T0505
N17 Z1.	(Точение фаски Ø70)	N84 G54
N18 G00 M09	N50 T0505	N85 M90
N19 G28 U0. V0. W0.	N51 G54	N86 G50 S3000
	N52 M90	N87 G96 S377
(Наружное точение Ø70)	N53 G50 S3000	N88 G00 X43.846 Z3.768
N20 T0505	N54 G96 S641	N89 G01 X40. Z5. M08
N21 G54	N55 G00 X68. Z-22.	N90 Z-26.
N22 M90	N56 G01 G42 Z-26. F0.3 M08	N91 X80.
N23 G50 S3000	N57 X70. Z-27.	N92 M90
N24 G96 S660	N58 G40 X78.	N93 G50 S3000
N25 G00 X70. Z3.	N59 G00 M09	N94 G96 S358
N26 G01 G42 Z-1. F0.3 M08	N60 G28 U0. W0.	N95 G00 X100. Z10.
N27 Z-9.		(Точение фаски Ø40)
N28 G40 Z-13.	(Подрезка торца Ø40)	N96 X38. Z7.
N29 M90	N61 T0606	N97 G01 G42 Z4.
N30 G50 S3000	N62 G54	N98 X40. Z3.
N31 G96 S641	N63 M90	N99 G40 X46.
N32 G00 X200. Z100.	N64 G50 S3000	N100 M05 M09
	N65 G96 S415	N101 M01
(Точение фаски Ø70)	N66 G00 X47.274 Z4.	N102 G00
N33 X68. Z3.	N67 G01 X37.274 F0.61 M08	N103 G28 U0. W0.
N34 G01 G42 Z0.	N68 X18.5	N104 M30.
N35 X70. Z-1.	N69 X14.5	