

Министерство науки и высшего образования РФ

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

Технический колледж имени С.И. Мосина

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ
РАБОТЫ**

по дисциплине

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ
НЕСЛОЖНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ С УЧЕТОМ
СПЕЦИФИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Направление подготовки:

15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств
(по отраслям)

Квалификация выпускника: техник

Форма обучения: очная

Тула 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	4
2. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ	5
2.1 Тематика курсовой работы	5
2.2 Исходные данные к курсовой работе	5
2.3 Задание на курсовую работу	5
2.4 Объем курсовой работы	5
2.5 Работа над курсовой работой	6
3. ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ	8
4. ВВЕДЕНИЕ	9
5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	10
5.1 Описание детали, заготовки и материала	10
5.2 Выбор заготовки и расчет ее массы	11
5.3 Выбор технологического оборудования и оснастки	14
5.4 Разработка операционной технологии	15
5.5 Подбор режущего инструмента и расчет режимов резания	16
6. ПОСТРОЕНИЕ РТК ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ	30
6.1 Расчет требуемого количества основного технологического оборудования из условия выполнения годовой программы	30
6.2 Выбор промышленного робота	33
6.3 Выбор захватного устройства	35
6.4 Выбор транспортных устройств	42
6.5 Разработка компоновочной схемы РТК	43
6.6 Основные сведения о программировании роботов	47

6.7 Циклограмма работы РТК	48
7. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ РТК В GPSS WORLD.....	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	60
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	61
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	63

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа выполняется с целью закрепления знаний по курсу "Теоретические основы разработки и моделирования несложных систем автоматизации с учетом специфики технологических процессов" 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 моделирования работы РТК.

2. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

2.1 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. С помощью GPSS World производится моделирование работы РТК. Это позволяет осветить в курсовом проекте все аспекты синтеза РТК.

2.2 Исходные данные к курсовой работе

Исходными данными являются тип и габаритные размеры изготавливаемой детали, ее материал и величина шероховатости обработанных поверхностей, годовой выпуск (Приложение). Материал детали назначается студентом самостоятельно.

2.3 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.

2.4 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 А2.

2.5 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. Моделирование работы РТК. Предварительно проводится анализ затрат времени при обслуживании роботом группы основного технологического оборудования. Осуществляется расчет коэффициента загрузки промышленного робота и основного технологического оборудования.

3. 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
- «Циклограмма работы РТК» – лист формата А2

4. 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.

5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

5.1 Описание детали, заготовки и материала

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

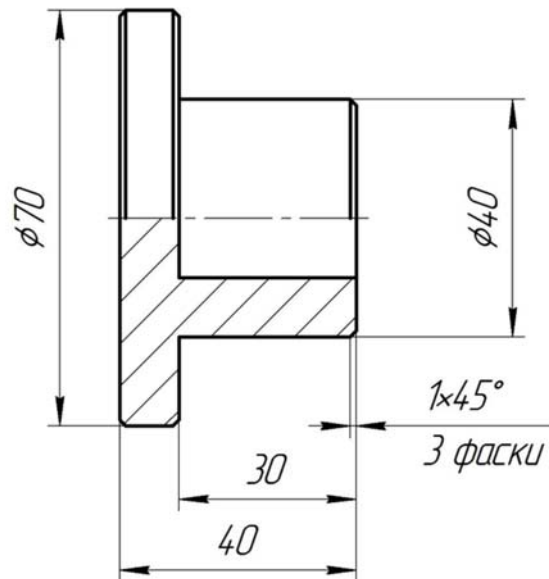


Рисунок 1 – Эскиз детали

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.

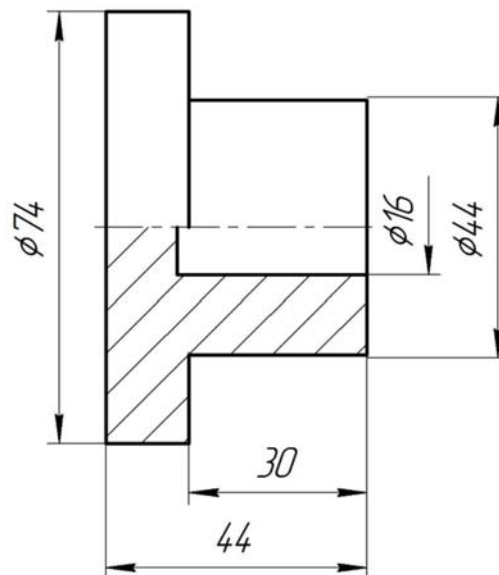


Рисунок 2 – Эскиз заготовки

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: $\sigma_B = 160\text{--}170 \text{ МПа}$.

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].

5.2 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.

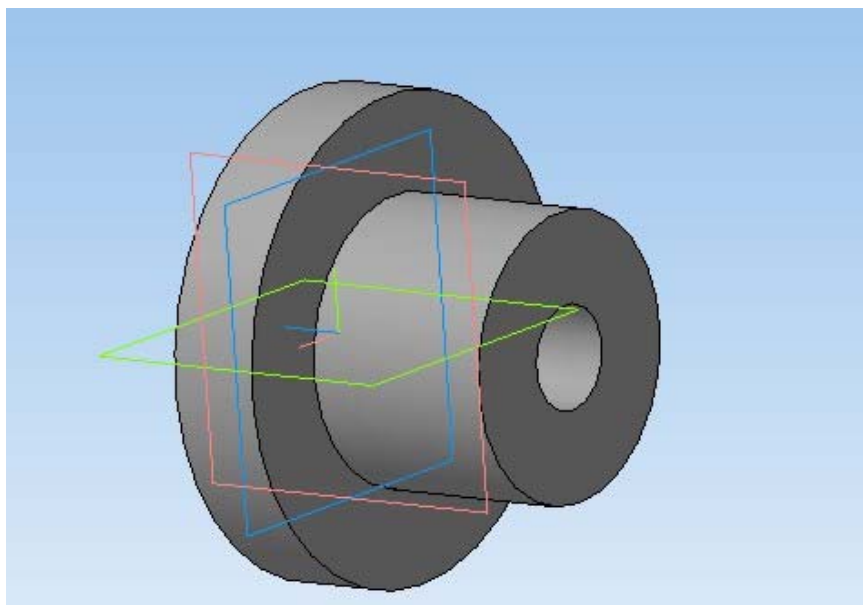


Рисунок 3 - 3D-модель заготовки

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).

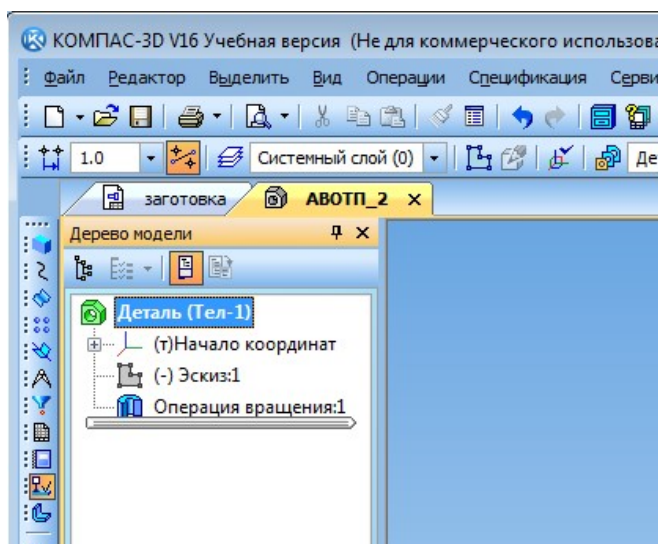


Рисунок 4 – Окно «Дерево модели»

Для определения массы заготовки используются массовоцентровочные 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.

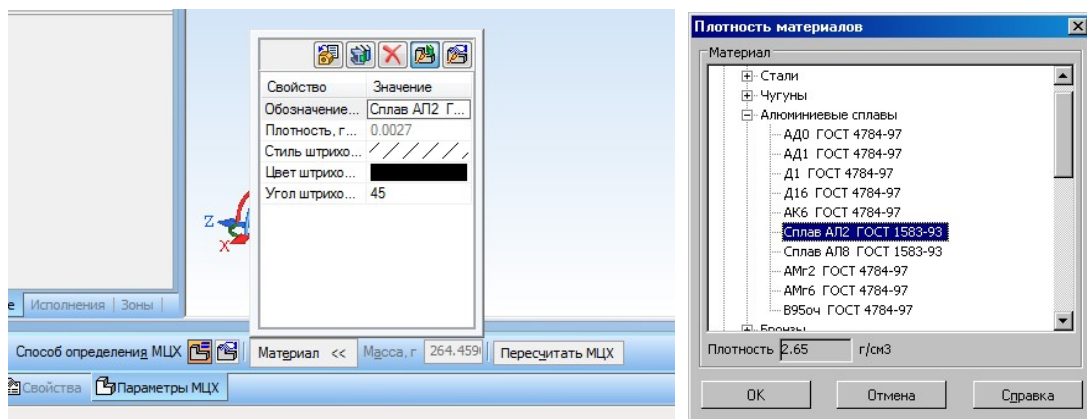


Рисунок 5 – Выбор материала заготовки

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.

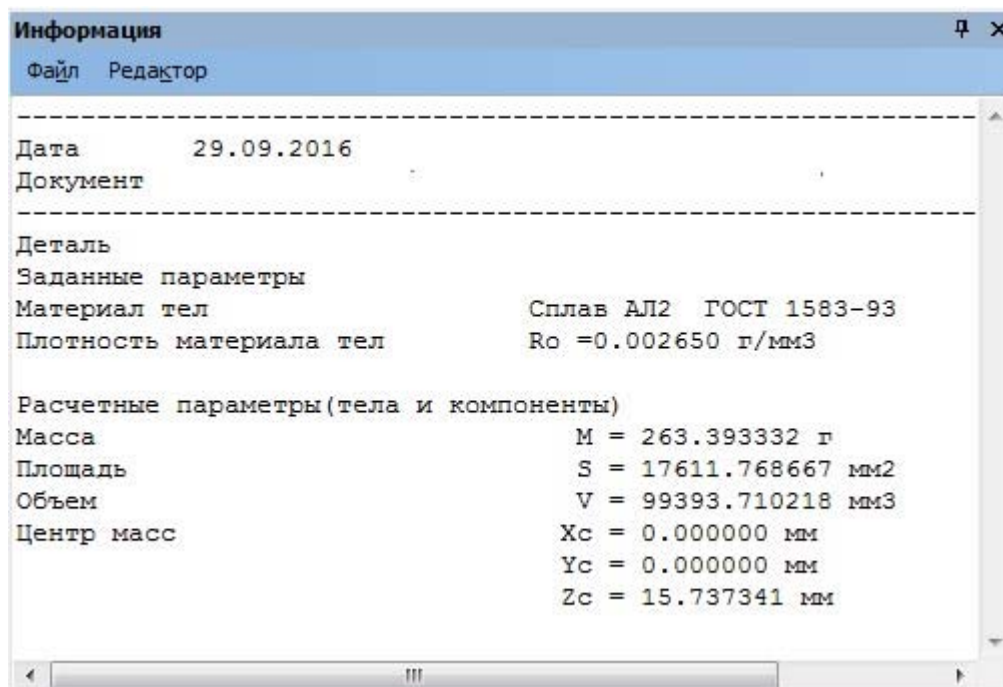


Рисунок 6 – Результаты расчета массы заготовки

В результате масса заготовки составила 263,4 г.

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

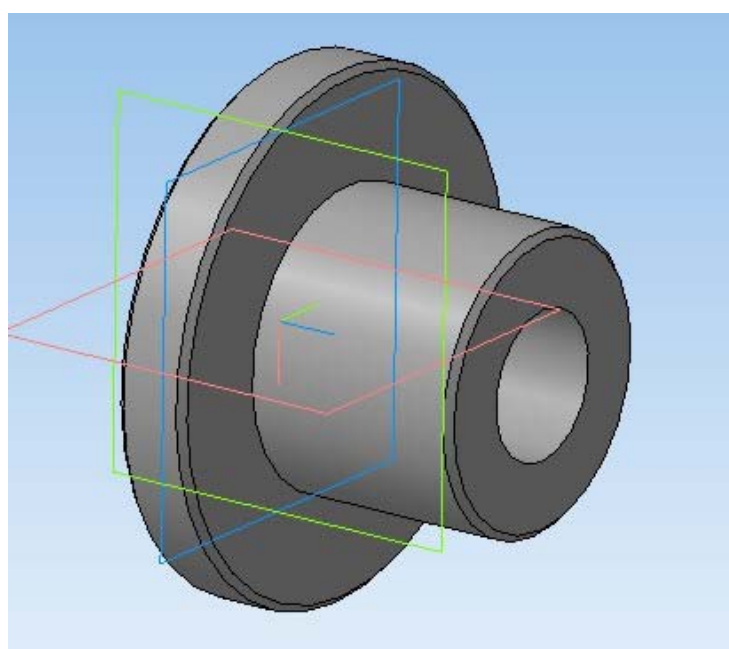


Рисунок 7 – 3D модель детали

5.3 Выбор технологического оборудования и оснастки

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

В качестве обрабатывающего оборудования, на котором можно получить заданную деталь с заданным качеством и размерами, выбираем токарнофрезерный станок с ЧПУ марки EMCO модели MAXXTURN 65. Данный станок является универсальным токарным центром для комплексной обработки заготовок. Общий вид станка приведен на рисунке 7.



Рисунок 7 – 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.

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.

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

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.

5.4 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.

5.5 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 8.

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 9.

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».

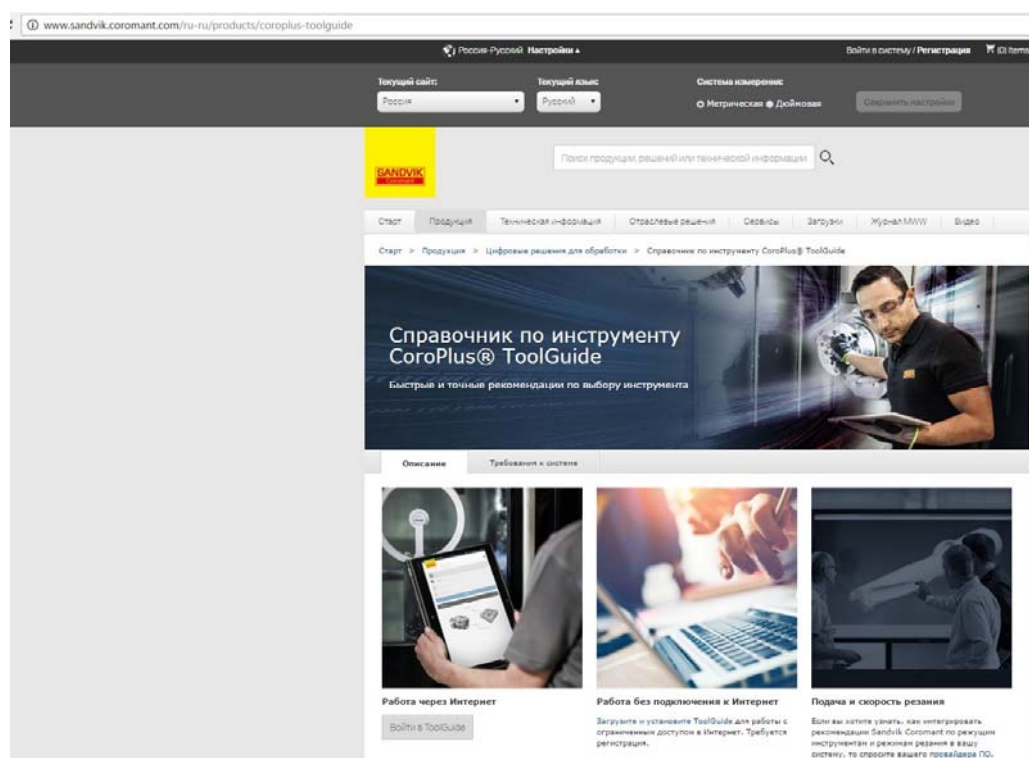


Рисунок 8 – Окно настройки языка справочника по инструменту CoroPlus® ToolGuide

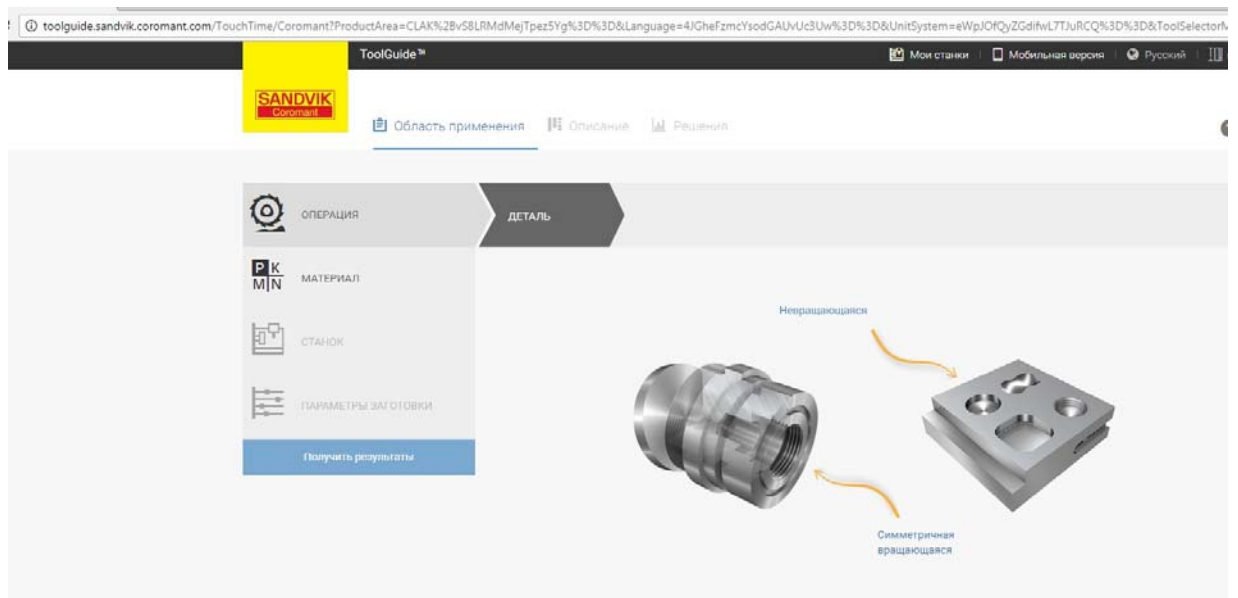


Рисунок 9 – Окно справочника по инструменту CoroPlus® ToolGuide

На втором шаге (рисунок 10) 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 11.

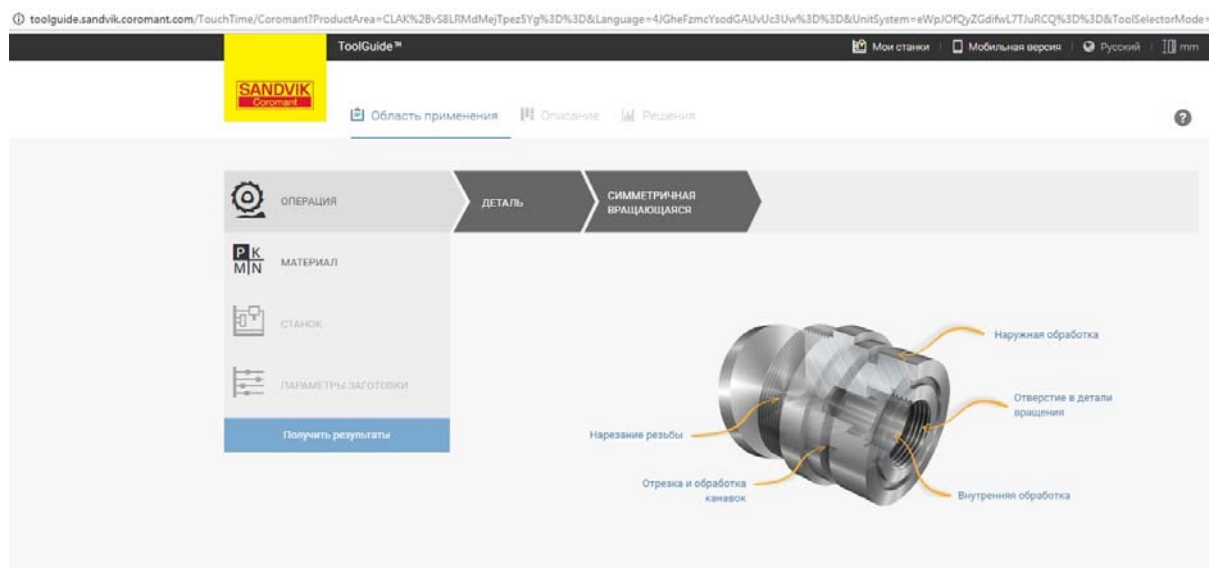


Рисунок 10 – Окно выбора вида токарной операции

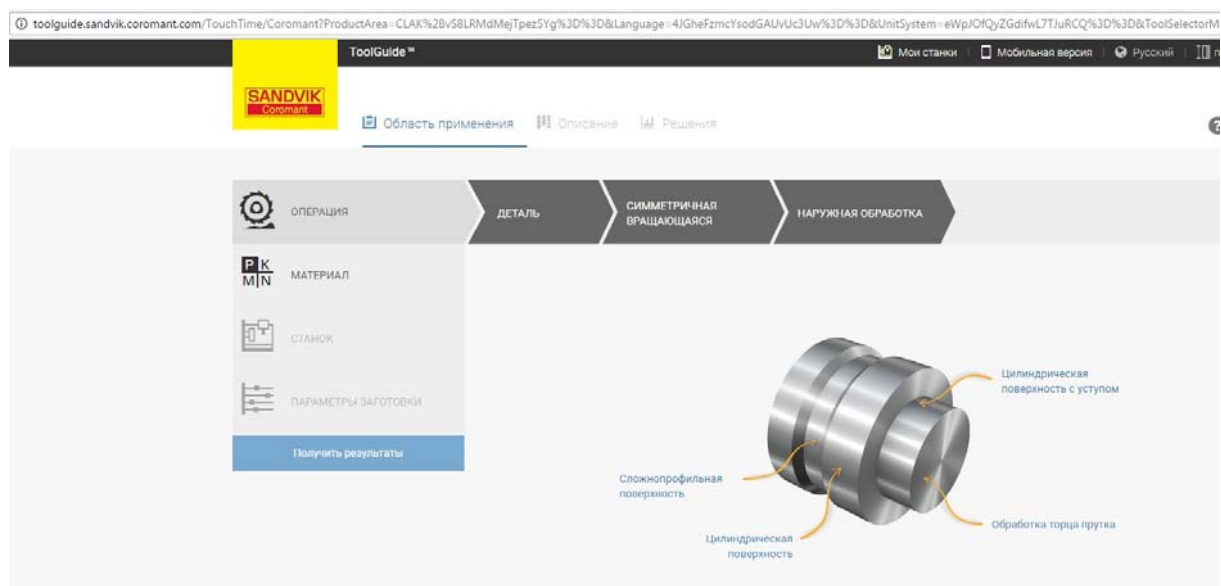


Рисунок 11 – Окно выбора обрабатываемой поверхности

В результате выбора типа обрабатываемой поверхности появляется окно, изображенное на рисунке 12. 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.

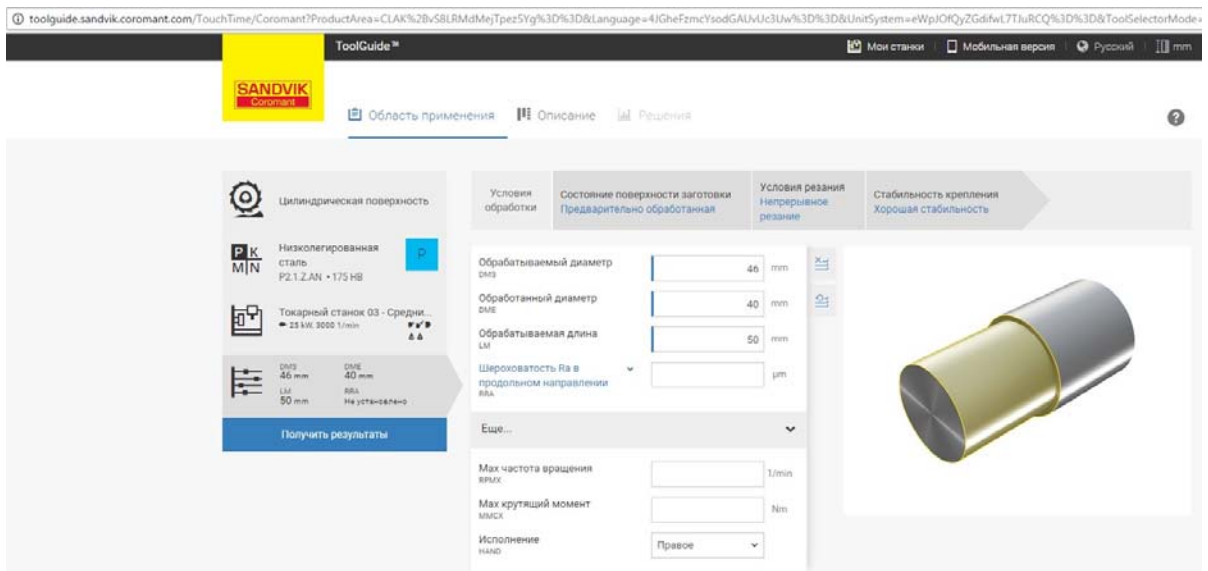


Рисунок 12 – Результат выбора обрабатываемой поверхности

Также при выборе материала учитываются его свойства, приведенные в пункте 5.1, а именно твердость и химический состав. Окно выбора материала заготовки представлено на рисунке 13. При нажатии на значение твердости можно ввести свое значение твердости по Бринеллю (НВ) в соответствии со свойствами заданного материала.

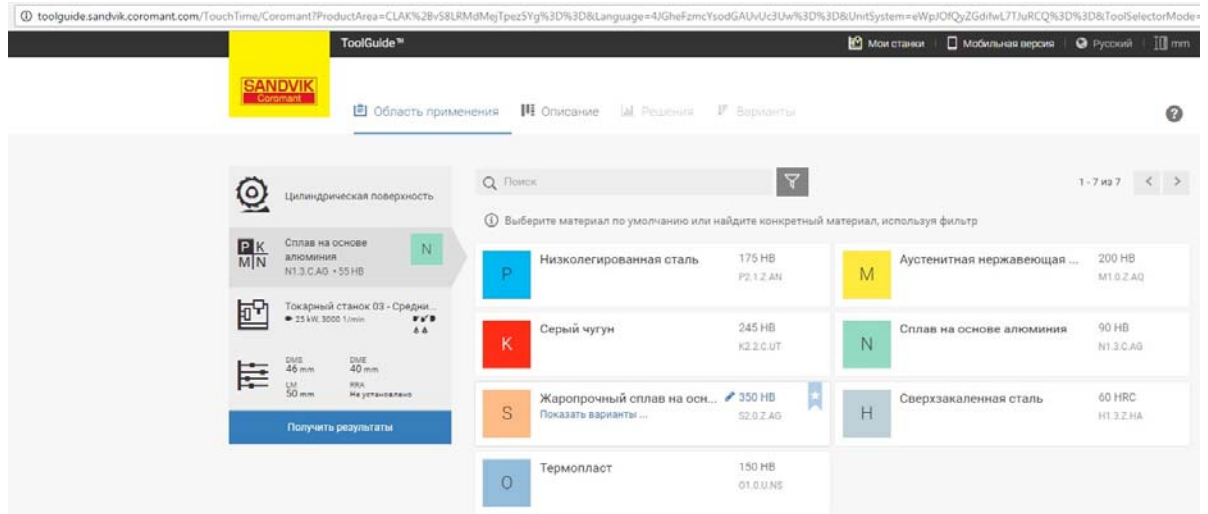


Рисунок 13 – Окно выбора материала заготовки

В соответствии с заданием выберем сплав на основе алюминия и введем его твердость, которая равна 55 НВ (рисунок 14).

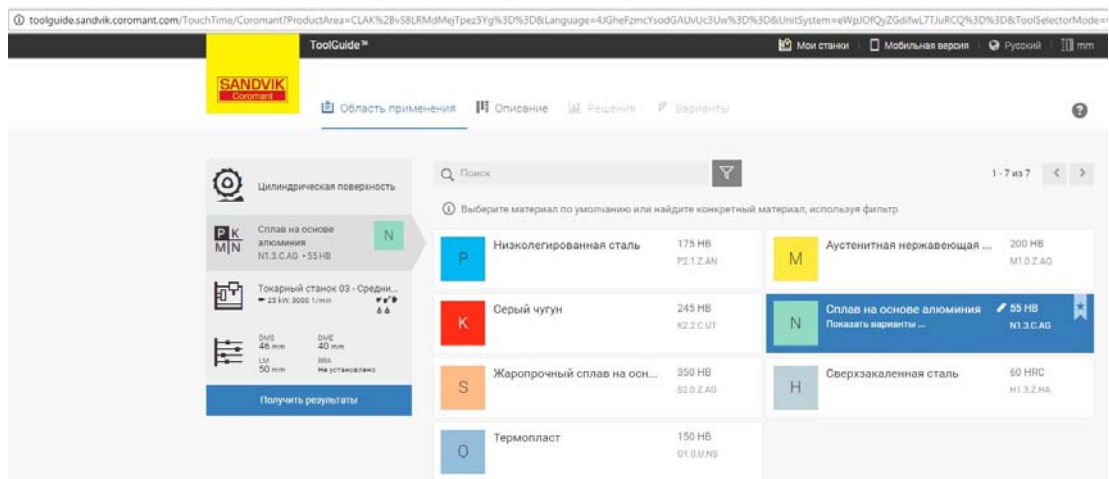


Рисунок 14 – Выбор материала в соответствии с заданием

Следующим шагом выбирается станок. Его выбор осуществляется из списка, который появляется при нажатии на пункт меню «Станок». Окно выбора станка приведено на рисунке 15.

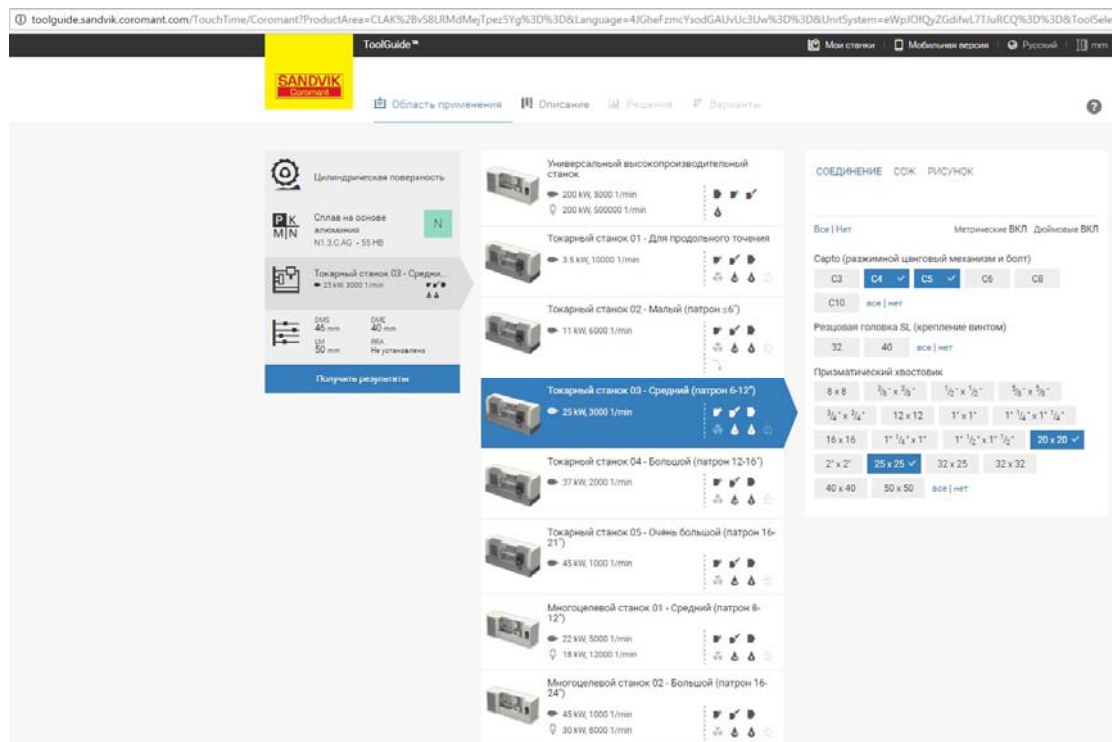


Рисунок 15 – Окно выбора станка

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 16.

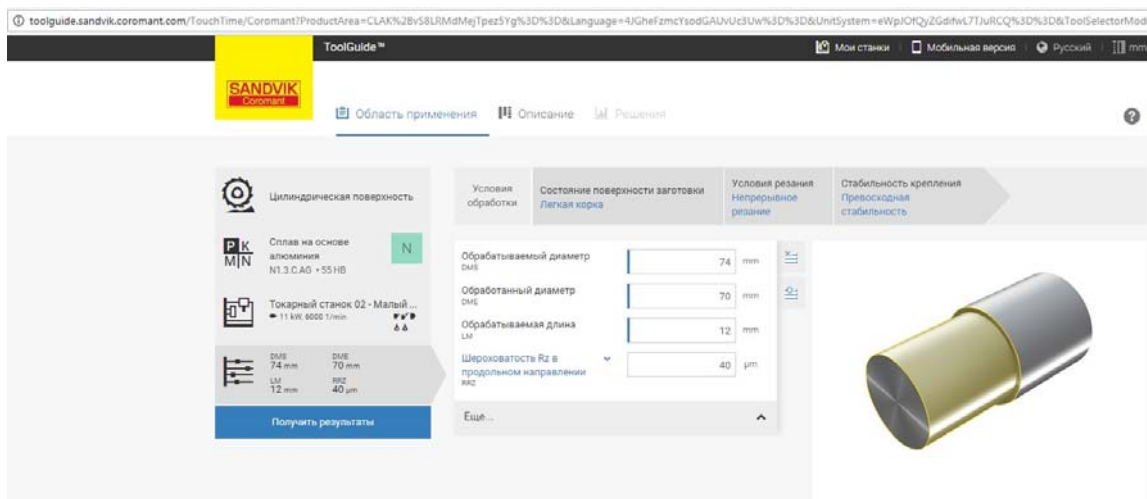


Рисунок 16 – Окно ввода параметров обработки

- 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 17.

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.

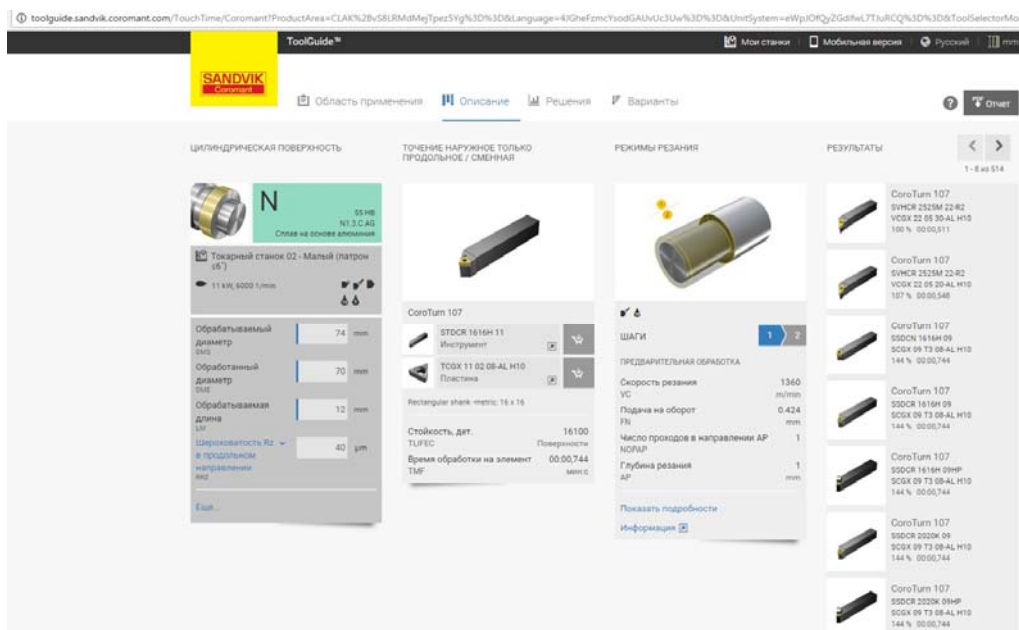


Рисунок 17 – Окно результатов подбора инструмента и режимов резания

Для получения характеристик пластины необходимо нажать на маркировку пластины. Окно с характеристиками пластины приведено на рисунке 18. То же самое можно проделать и для получения характеристик державки.

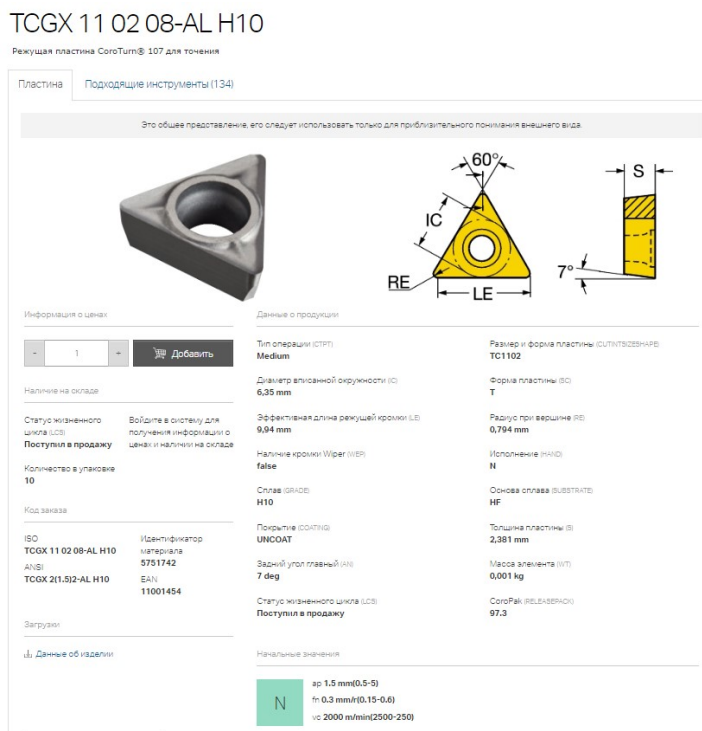


Рисунок 18 – Окно с характеристиками пластины.

Для получения подробной информации о режимах резания необходимо в колонке «Режимы резания» нажать кнопку «Подробнее». В результате появится окно, наподобие изображенного на рисунке 19.

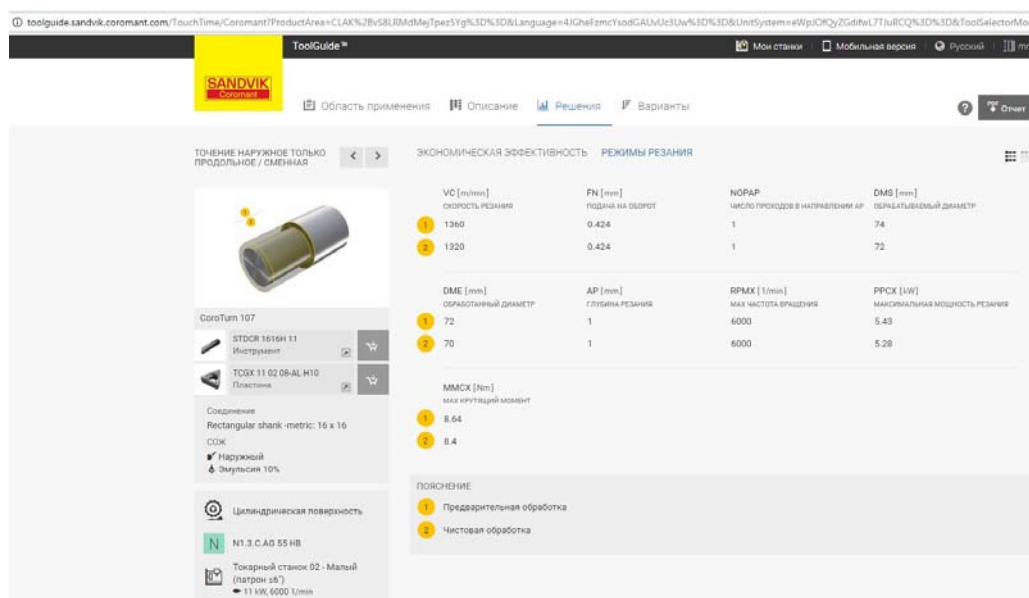


Рисунок 19 – Окно с параметрами режимов резания

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 19, 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 N10 из твердого сплава марки N10 со следующими параметрами,

приведенными в таблице 3. Данная пластина предназначена для обработки алюминиевых сплавов. В качестве державки используется призматическая державка для точения STDCR 2020К 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 2020К 16	
Сечение державки	20x20 мм
Главный угол в плане	45°
Максимальный вылет	21 мм
Длина	125 мм
Функциональная ширина	21,99 мм

Внешний вид пластины приведен на рисунке 20.

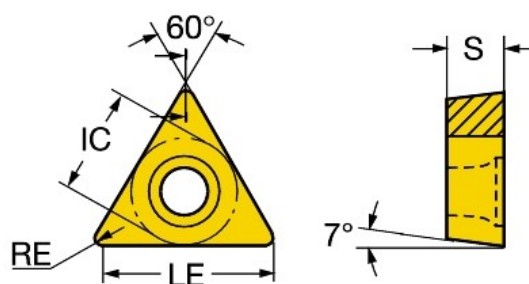


Рисунок 20 – Внешний вид пластины TCGX 16 T3 08-AL H10

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 2020К 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	20x20 мм
Главный угол в плане	95°
Максимальный вылет	21,7 мм
Длина	125 мм
Функциональная ширина	25 мм

Внешний вид пластины приведен на рисунке 21.

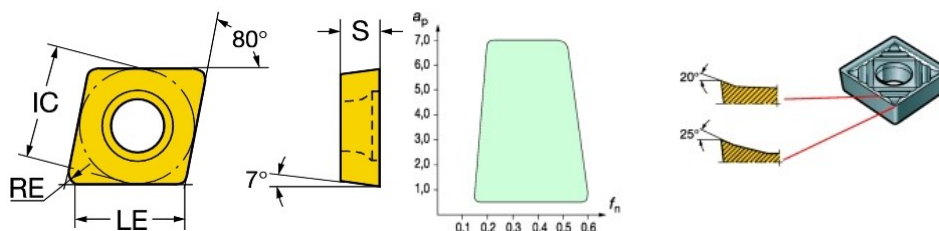


Рисунок 21 – Внешний вид пластины CCGX 12 04 08-AL H10

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	T
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 22а. Внешний вид державки приведен на рисунке 22б.

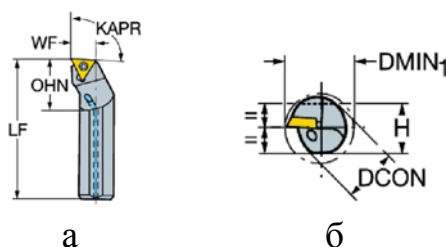


Рисунок 22 – Внешний вид пластины TCGX 11 02 04-AL H10 (а) и державки A12M-STFCR 11 (б)

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 и моделирования работы РТК.

6. ПОСТРОЕНИЕ РТК ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ

6.1 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:

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

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

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

T_H – 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

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

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 (принимается $S=4$); $t_{см}$ – продолжительность рабочей смены, ч (обычно $t_{см} = 8$ ч).

Результаты расчета количества станков округляются до целого в большую сторону.

Штучное время определяется по формуле:

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

где t_0 – основное технологическое время, в течение которого осуществляется изменение размеров заготовки (обработка). Величина t_0 определяется при расчете режимов резания при обработке каждой из подлежащих обработке поверхностей.

Вспомогательное время t_B – это время, затрачиваемое на выполнение действий вспомогательного характера, сопутствующее основной работе (установка, крепление и снятие заготовки, время холостых ходов и поворота инструментального держателя):

$$t_B = t_{yc} + t_{xx} + t_{п} + t_{ц},$$

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

Время $t_{ц}$ 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_B равным 0,5 мин.

Сумму ($t_0 + t_B$) называют оперативным временем – $t_{оп}$. Величина оперативного времени равна:

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

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

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

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

Под временем наладки подразумевается величина наладочных работ на партию деталей. На проектной стадии величину t_n 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 8 и 9.

Таблица 8 – Исходные данные

Наименование показателя	Станок EMCO maxxturn 65
Основное время t_o , мин	1,33
Вспомогательное время t_b , 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_l , 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 9 – Расчет необходимого количества оборудования

Наименование показателя	Станок EMCO maxxturn 65
Годовой объем продукции (деталей), В шт	30000
Годовое время наладки T_n , 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

6.2 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 10.

Таблица 10 – 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 23 приведены общий вид промышленного робота ABB IRB 1600-6/1.45, а также его рабочее пространство и габаритные размеры.

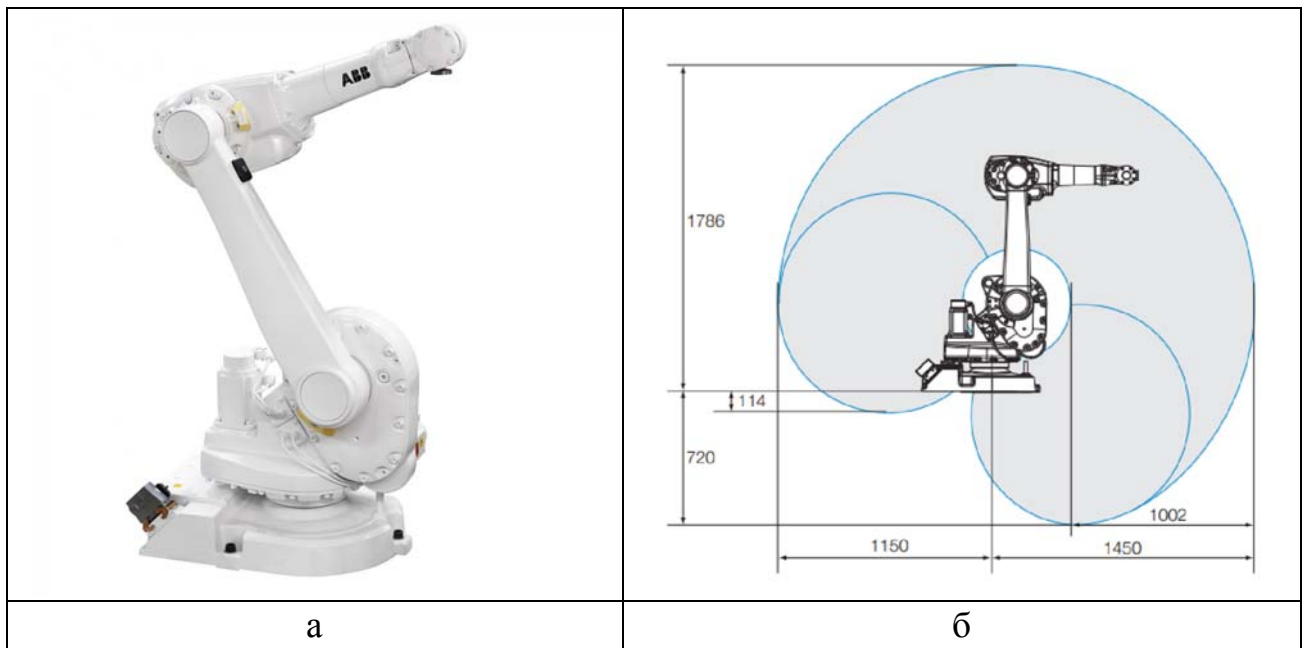


Рисунок 23 – Промышленный робот ABB IRB 1600-6/1.45

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.

6.3 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://schunk.com/ru_ru/domasnaa-stranica/. 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.

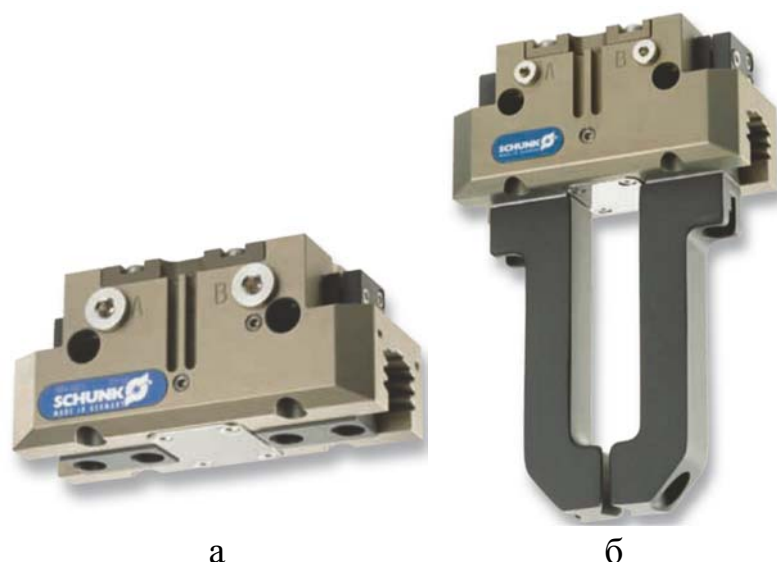
Захват PGN-plus 80-1 предназначен для захвата небольших деталей массой до 2,1 кг. Он представляет собой двухпальцевое пневматическое захватное устройство, использующее клиновой передаточный механизм для перемещения пальцев.

Технические характеристики захватного устройства Schunk PGN-Plus 80-1 из брошюры изготовителя [12] приведены в таблице 11.

Таблица 11 – 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 24) позволяет удерживать захватываемую деталь без доработки их конструкции. Достаточно лишь установить на захвате пальцы нужной формы и размера.



а

б

Рисунок 24 – 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 25. Основные элементы приведены в таблице 12.

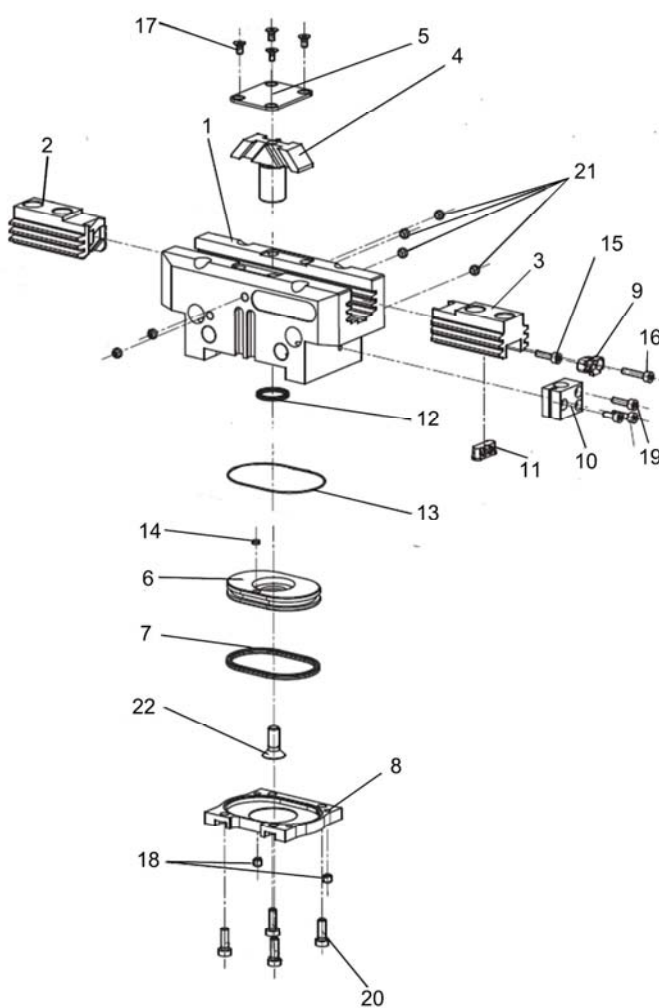


Рисунок 25 – Устройство пневматического захвата Schunk PGN-Plus

Таблица 12 – 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
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 хватного устройства. Также Сила захвата определяется длиной пальца хватного устройства. В данном случае длина пальца составляет 100 мм, следовательно максимальная сила захвата – 350 Н.

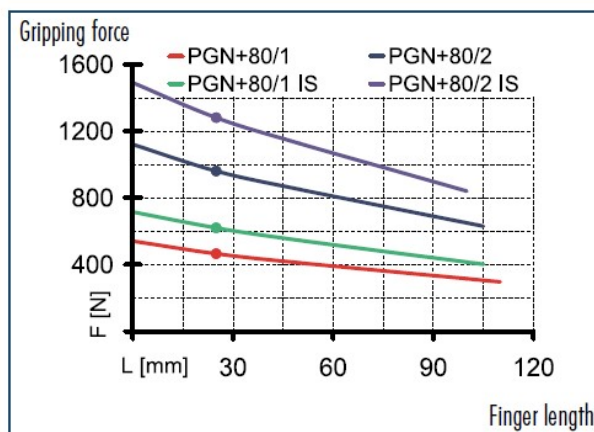


Рисунок 26 – Определение силы захвата

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 хватного устройства. Чертеж пальца приведен на рисунке 27.

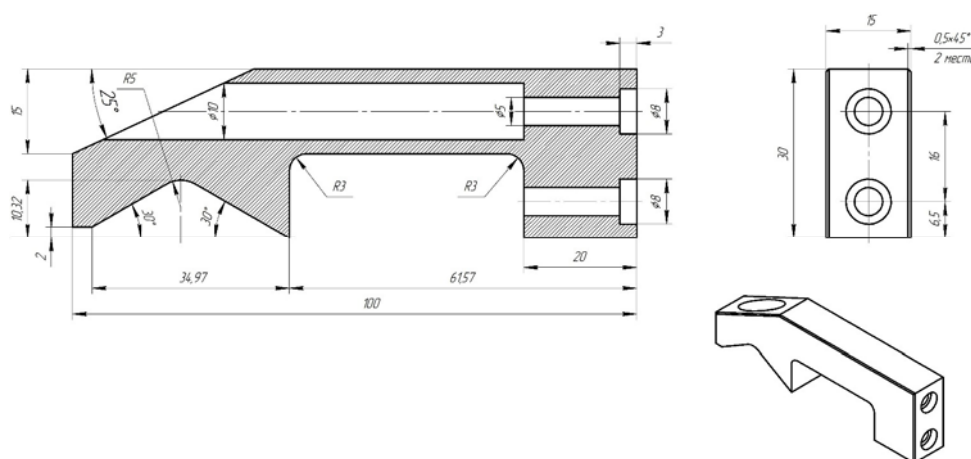


Рисунок 27– Чертеж пальца хватного устройства

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 28)

С учетом диаметров отверстий в пальцах для их крепления к захватному устройству был получен окончательный вид пальцев, приведенный на рисунке 27.

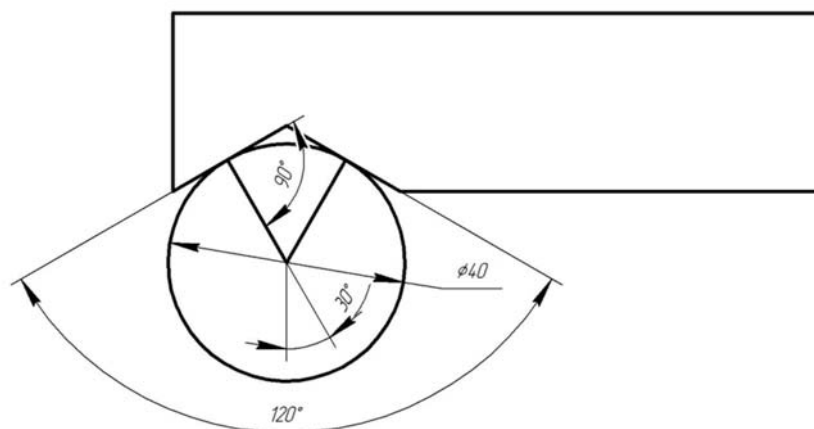


Рисунок 28 – Профилирование пальца захватного устройства

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 6.2, был сконструирован кронштейн. Его внешний вид и эскиз приведен на рисунке 29.

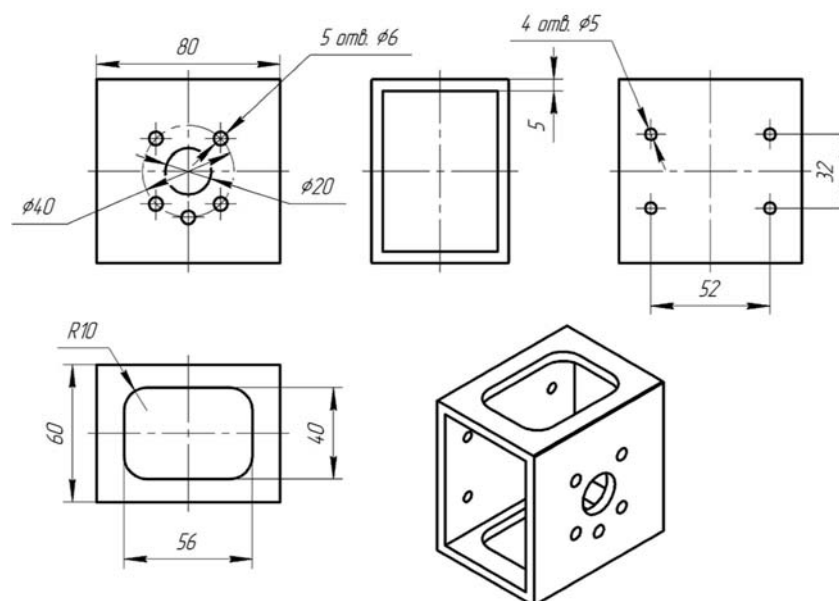
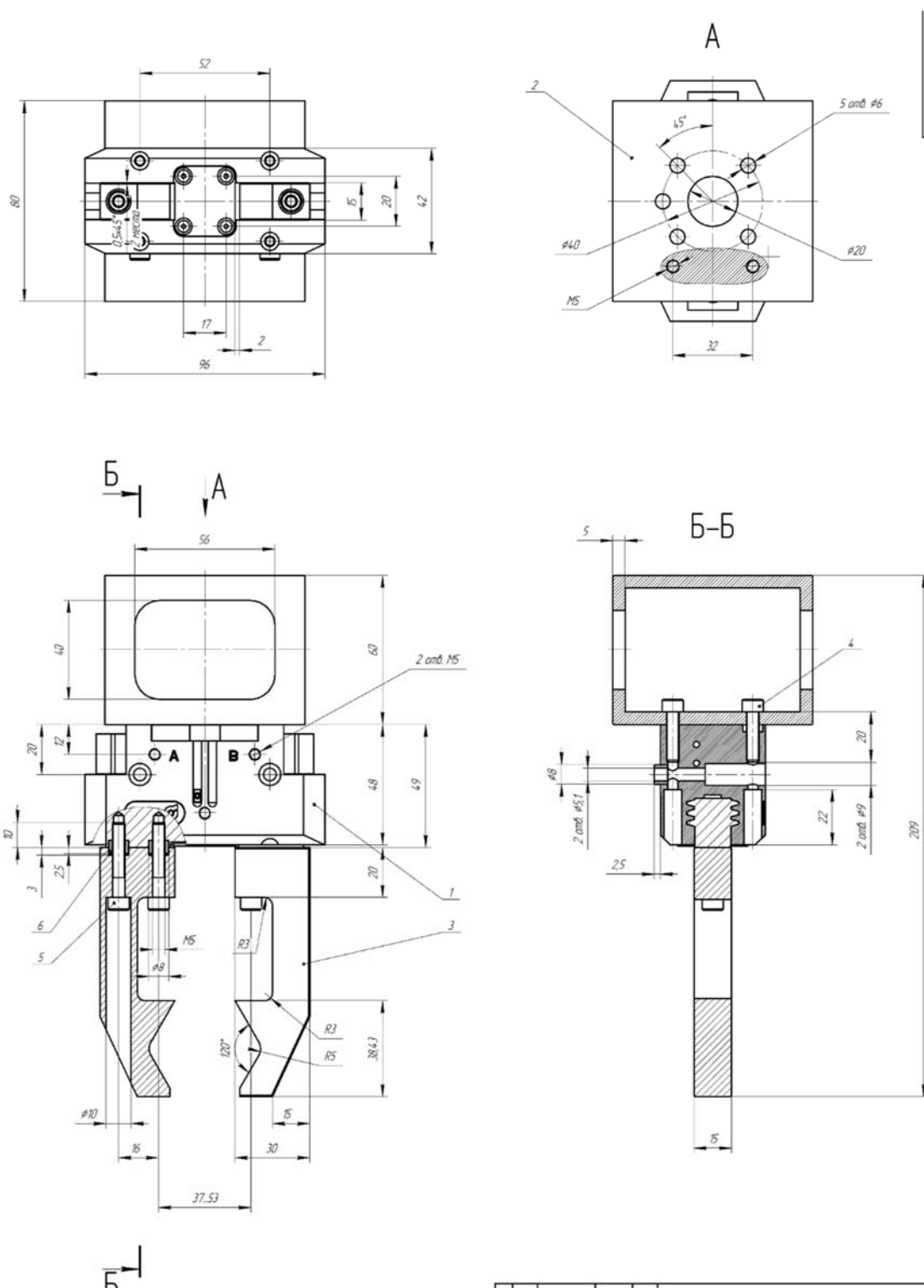


Рисунок 29 – Эскиз кронштейна

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:



6.4 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 30.

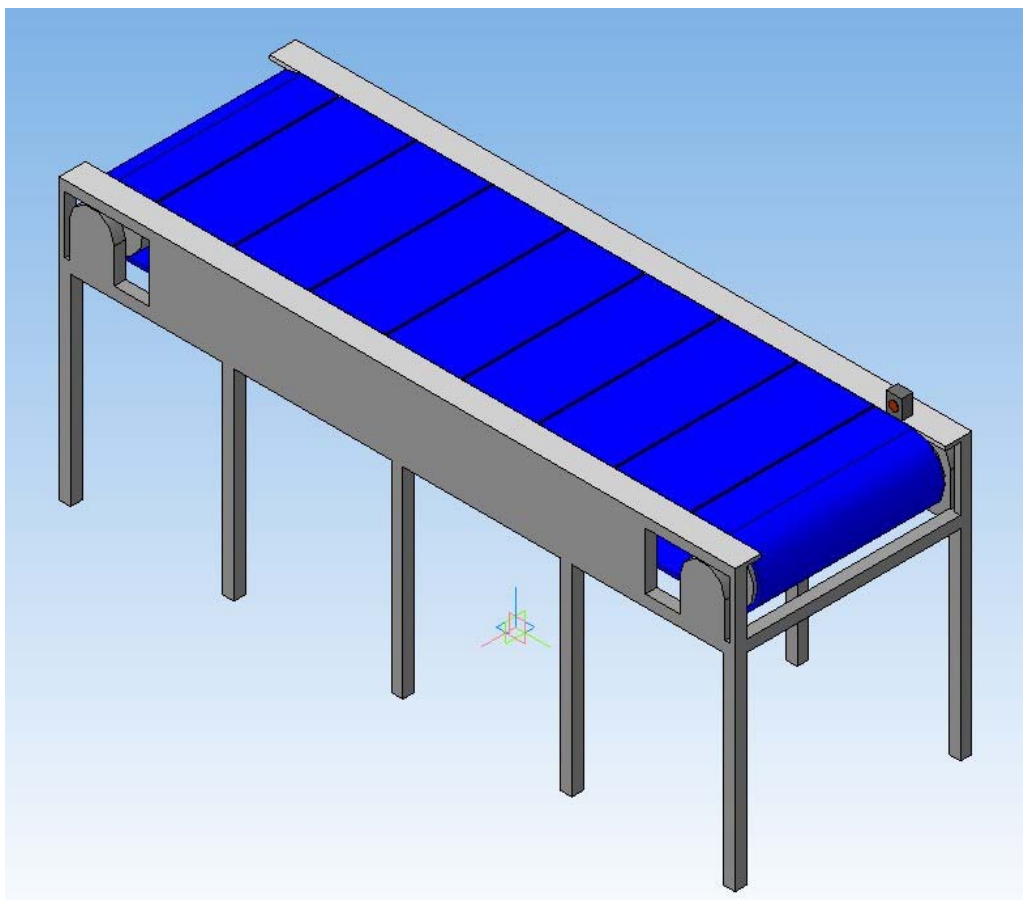


Рисунок 30 – Внешний вид ленточного конвейера

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.

6.5 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:

6.6 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.

6.7 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 робота и координат, а также расчетно-технологической карты обработки детали была построена циклограмма работы РТК.

Время позиционирования промышленного робота существенно зависит от выбранной скорости позиционирования. Рассмотрим вариант построения циклограммы для робота Кука Кг 6.

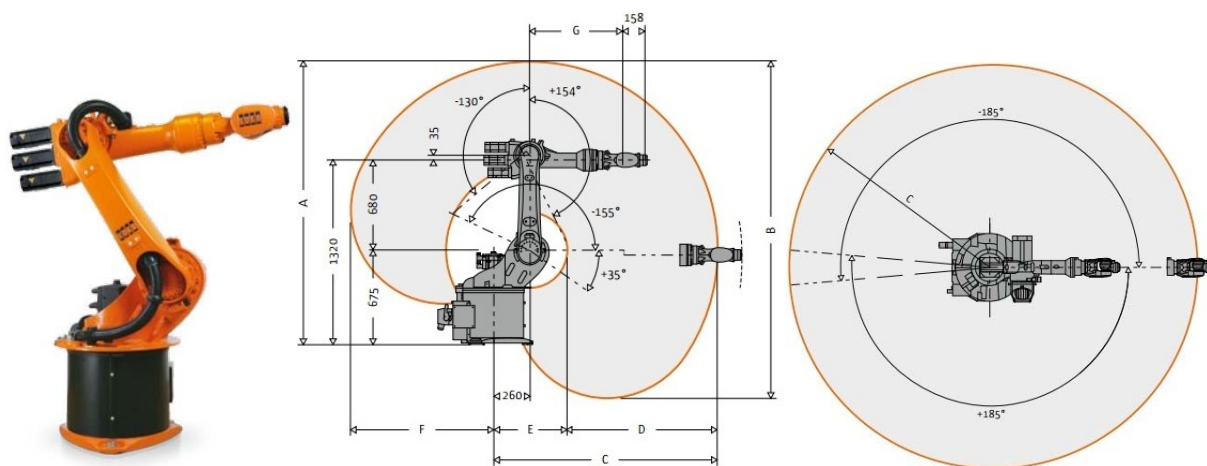


Таблица 13 – Основные характеристики ПР

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.×500 мм.
Вес (без СУ)	235 кг

Скорость перемещения по осям приведена в таблице 14.

Таблица 14 – Скорости перемещения по осям

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 и X, соответственно, $\Delta l = 0,1$ мм – погрешность позиционирования; $M=3,4$ кг – масса объекта манипулирования.

$$V_{xp} = \frac{2 \cdot 1,83 \cdot \sqrt[4]{0,0001}}{\sqrt[3]{3,4}} = 0,25 \text{ м/с.}$$

$$V_{xp} = \frac{2 \cdot 0,82 \cdot \sqrt[4]{0,0001}}{\sqrt[3]{3,4}} = 0,15 \text{ м/с.}$$

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; $\varphi=90^\circ=1,57 \text{ рад}$ – угол поворота руки, рад; $\delta = 0,01 \text{ рад}$ – погрешность углового позиционирования.

$$\omega_y = \frac{0,5 \cdot \sqrt{1,57} \cdot \sqrt[4]{0,01}}{\sqrt[3]{(2 \cdot 1,83)^4}} = 0,322 \text{ рад/с} = 19^\circ 14' / \text{с.}$$

$$\omega_x = \frac{0,5 \cdot \sqrt{1,57} \cdot \sqrt[4]{0,01}}{\sqrt[3]{(2 \cdot 0,82)^4}} = 0,46 \text{ рад/с} = 28^\circ 15' / \text{с.}$$

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 упростить.

Рассчитаем время каждого из перемещений ПР:

Опускание руки и захват заготовки

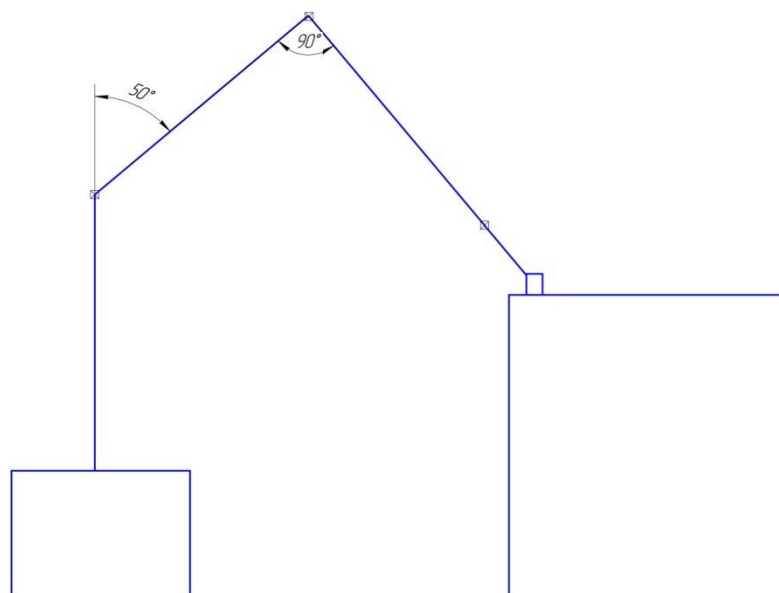


Рисунок 31 – Положение робота при схвате заготовки.

$$T_1 = \frac{a}{w} = \frac{50}{19,14} = 2,61 \text{ с} + T_{\text{схвата}} = 2,66,$$

где a – угол поворота, w – скорость поворота.

Поднятие руки с заготовкой и поворот на 90°

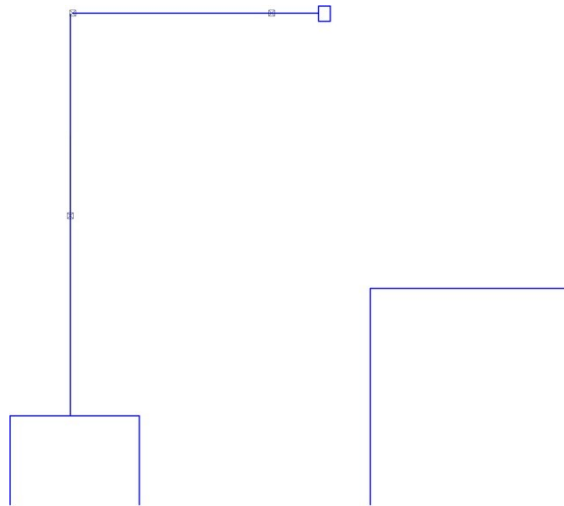


Рисунок 32 – Положение работа при поднятии заготовки

$$T_2 = \sum T ;$$

$$T_{2.1} = \frac{a}{w} = \frac{50}{19,14} = 2,61 ;$$

$$T_{2.2} = \frac{a}{w} = \frac{90}{28,15} = 3,2 ;$$

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

Подвод к патрону фиксация заготовки

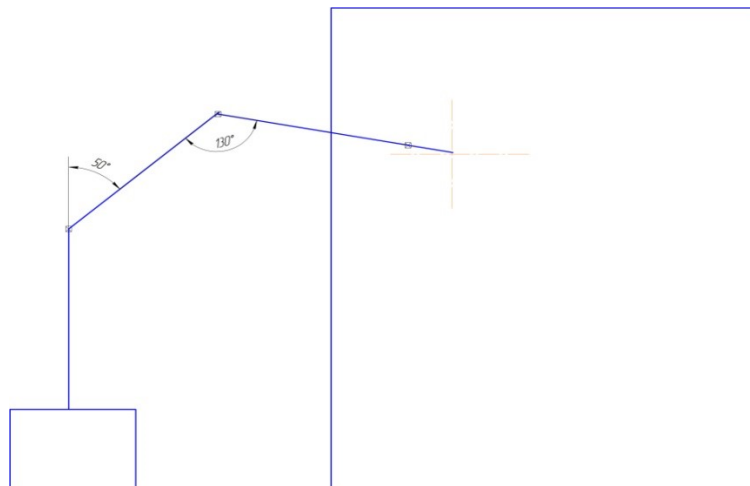


Рисунок 33 – Положение работа при фиксации заготовки

$$T_3 = \sum T ;$$

$$T_{3.1} = \frac{a}{w} = \frac{50}{19,14} = 2,61 ;$$

$$T_{3.2} = \frac{a}{w} = \frac{40}{19,15} = 2,5;$$

$$T_3 = \sum T = 2,61 + 2,5 = 5,11 + T_{\text{схватя}} + T_{\text{разжима}} = 5,31 \text{ с.}$$

Разжим ЗУ, отвод руки из зоны обработки

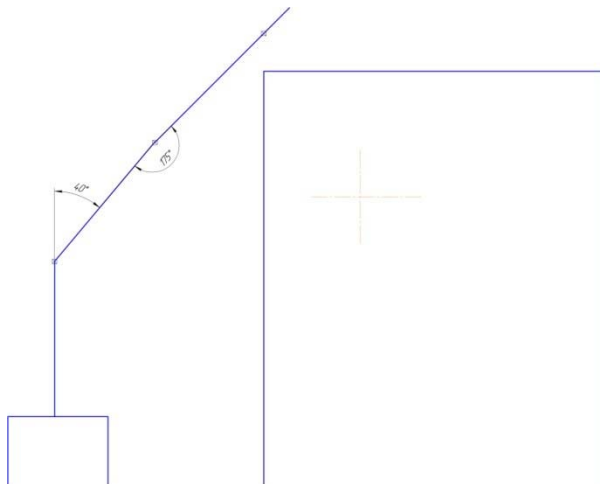


Рисунок 34 – Положение робота при отводе руки

$$T_4 = \sum T ;$$

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

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

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

Подвод к патрону фиксация детали, разжим патрона

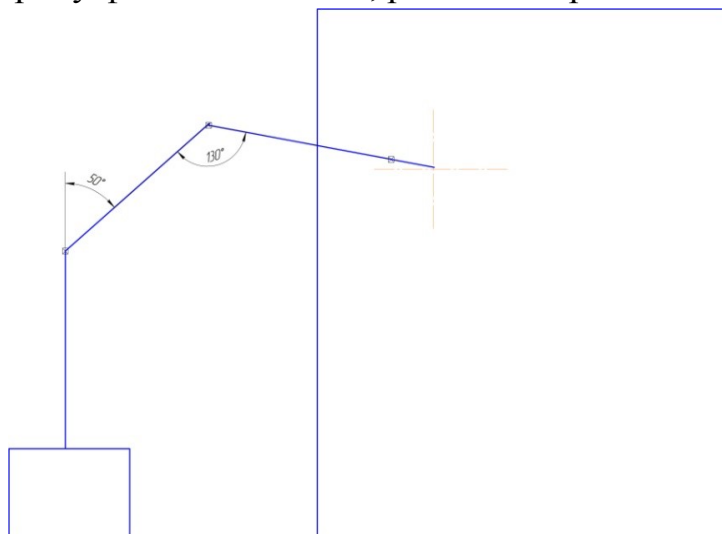


Рисунок 35 – Положение робота при фиксации детали

$$T_5 = \sum T ;$$

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

$$T_{5.2} = \frac{a}{w} = \frac{40}{19,15} = 2,5;$$

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

Отвод руки с деталью из зоны обработки поворот на 90°

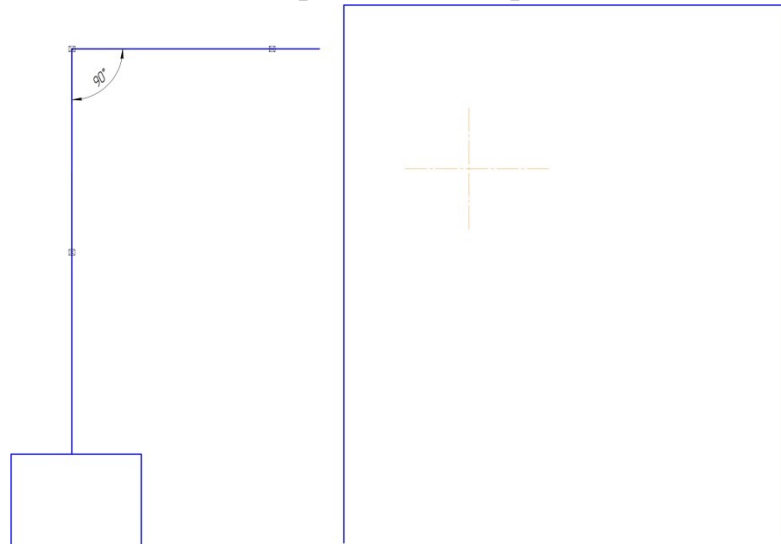


Рисунок 36 – Положение работа при отводе детали

$$T_6 = \sum T;$$

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

$$T_{6.2} = \frac{a}{w} = \frac{40}{19,14} = 2,5;$$

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

$$T_6 = \sum T = 2,61 + 2,5 + 3,2 = 8,31.$$

Опускание руки, разжим захвата

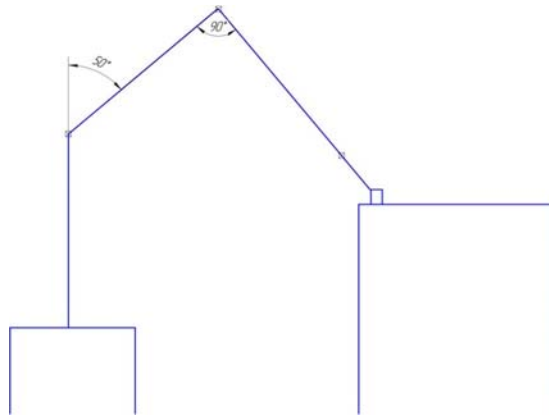


Рисунок 37 – Положение работа при опускании детали на конвейер

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

Подъём руки, возврат в исходное положение

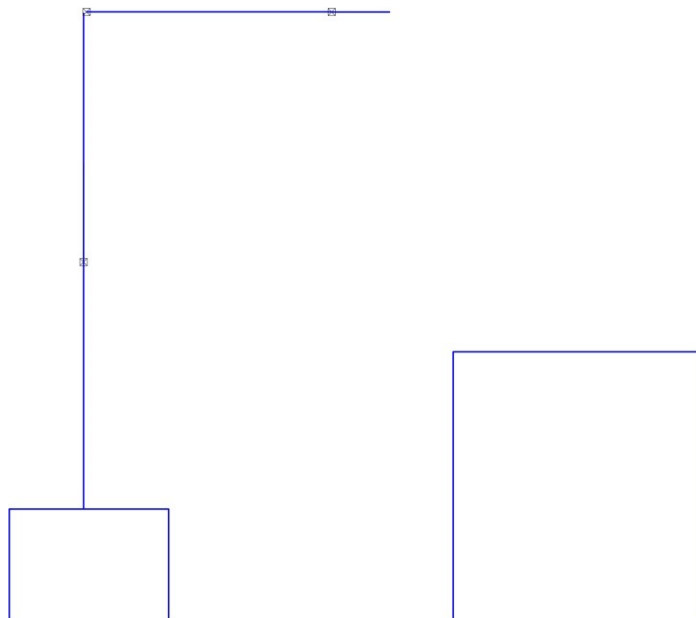


Рисунок 38 – Исходное положение работа

$$T_8 = \sum T;$$

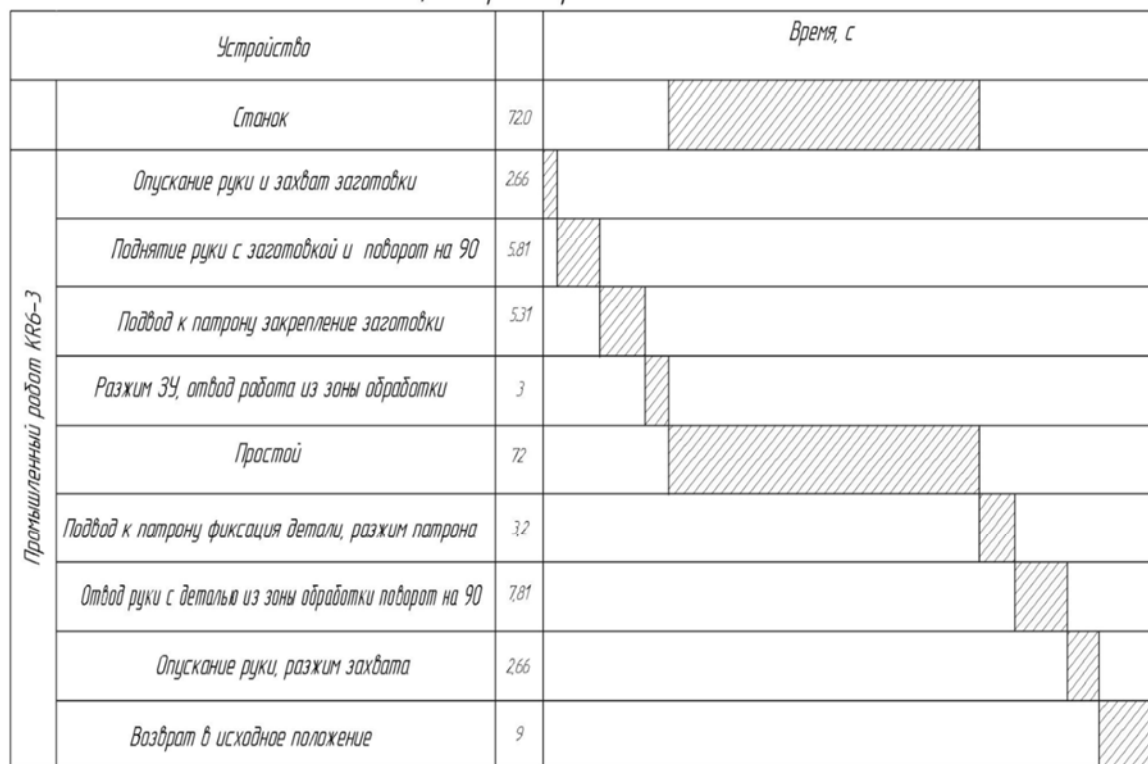
$$T_{8.1} = \frac{a}{w} = \frac{50}{19,14} = 2,61;$$

$$T_{8.2} = \frac{a}{w} = \frac{180}{28,15} = 6,4;$$

$$T_4 = \sum T = 2,61 + 6,4 = 9,01.$$

Циклограмма работы в данном случае имеет следующий вид.

Циклограмма работы РТК



$T_{ц} = 111,45 \text{ с}$

Рисунок 38 – Циклограмма работы РТК

7. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ РТК В GPSS WORLD

Пусть система из 2-ух станков обслуживается промышленным роботом. Время обслуживания станка роботом распределено равномерно в интервале $X_1 \pm Y_1$ мин. Время взятия детали из входного накопителя, помещение ее в буферный накопитель емкостью 1 и в выходной накопитель составляет $X_2 \pm Y_2$ мин. Интервал поступления деталей во входной накопитель роботизированного технологического комплекса неограниченной емкости равномерно распределен в интервале $X_3 \pm Y_3$ мин. Время обработки $X_4 \pm Y_4$ мин. Значения переменных X были рассчитаны в предыдущем разделе, значения переменных Y – приведены в таблице 15. Детали обрабатываются “первый пришел – первый обслуживается” и выдаются в выходной накопитель неограниченной емкости. Модель на GPSS должна обеспечить сбор статистических данных об очередях, возникающих в модели, и получить данные об использовании емкостей входного выходного накопителей. Разработаем вариант модели для моделирования работы в течение 8-ми часов модельного времени.

Таблица 15 – Исходные данные для моделирования

№№ п/п	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1	1	1	3	4
2	1	1	3	4
3	1	1	3	4
4	1	1	4	5
5	1	1	4	5
6	1	1	4	5
7	1	1	5	6
8	1	1	5	6
9	1	1	5	6
10	1	1	4	5

В первом сегменте модели следует использовать следующие блоки:

Блок “GENERATE” – является источником потока сообщений (заявок) в модели, с операндом: X_3 – время, которое определяет интервал между моментами генерации сообщений; Y_3 – модификатор интервал (моделирует равномерное распределение).

Блок “QUEUE” – отмечает момент входа в очередь сообщений (заявок), с операндом XXX – имя очереди, к которой будет добавляться 1 (по умолчанию).

Блок “SEIZE” – моделирует занятие прибора (робота или станка) сообщением (заявкой), с операндом YYY – имя занимаемого прибора (робота или станка).

Блок “DEPART” – отмечает момент выхода из очереди сообщения (заявки), с операндом XXX - имя очереди, от которой будет сниматься 1 (по умолчанию).

Блок “ADVANCE” – моделирует задержку времени, в течение которого происходит обработка заявки, например, на станке, с операндами: X_4 – задержка на время обслуживания; Y_4 – модификатор интервал.

Блок “RELEASE” – моделирует освобождение прибора (робота или станка) сообщением (заявкой), с операндом YYY – имя занимаемого прибора (робота или станка).

Блок “TERMINATE” – удаляет из модели входящие в него сообщения.

Второй сегмент модели имитирует таймер или задает время работы модели.

Блок “GENERATE” задает один единственный параметр – время моделирования (ZZZ минут).

Блок “TERMINATE” задает число единиц (в нашем случае – 1) на которое изменяется содержимое счетчика времени моделирования.

Второй сегмент модели имитирует таймер или задает время работы модели.

Блок “GENERATE” задает один единственный параметр – время моделирования (ZZZ минут).

Блок “TERMINATE” задает число единиц (в нашем случае – 1) на которое изменяется содержимое счетчика времени моделирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный РТК предназначен для изготовления указанных в задании деталей в условиях серийного производства. В состав РТК входит токарный станок EMCO Maxturn 65, промышленный робот ABB IRB 16006/1.45, 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;
- 5) разработка циклограммы работы РТК, отображающей длительность всех действий, выполняемых за один цикл работы РТК;
- 6) моделирование работы РТК в GPSS World.

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/244a8a5c10ef8875c1257b4b0052193c/3HAC032104-001_revD_en.pdf

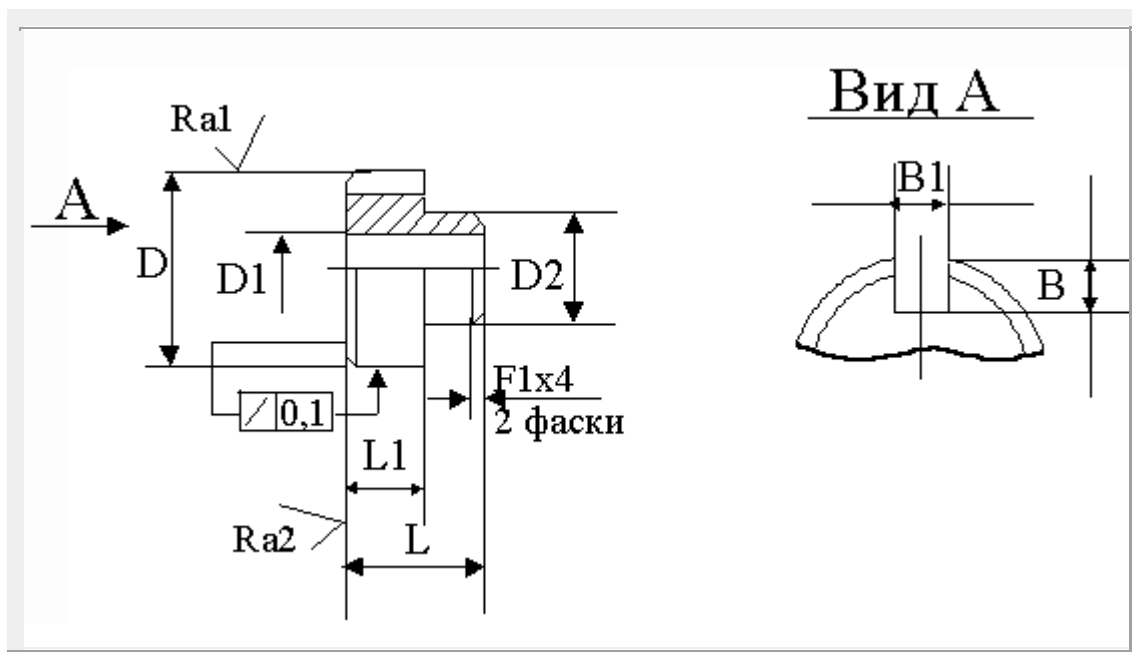
15.Козырев Ю.Г. Применение промышленных роботов: учебное пособие / Ю.Г. Козырев. – М. : КНОРУС, 2016 – 494 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Варианты заданий курсовой работы

Таблица 1П										
Первая цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Годовая программа выпуска в тыс. штук	22	35	46	50	60	70	80	90	65	75

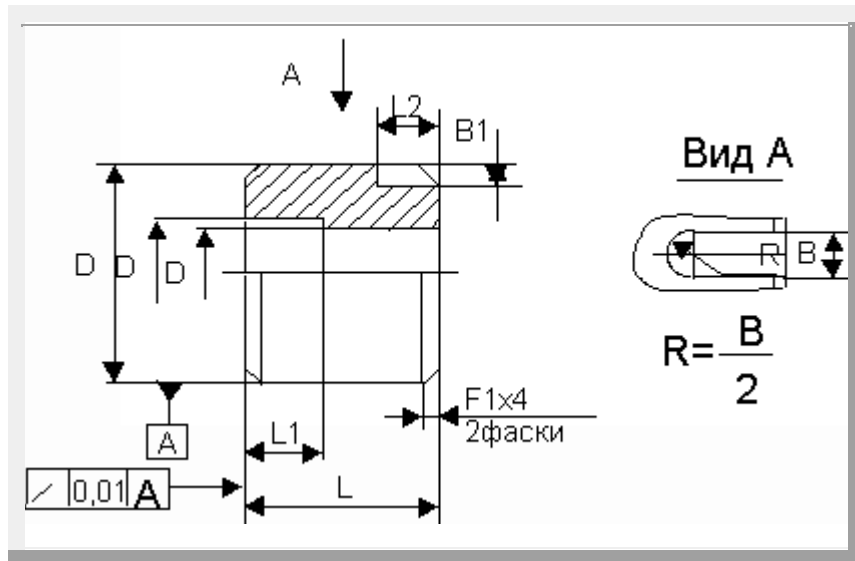
Вторая цифра шифра 1



Обозначение	Размерность	Третья цифра шифра									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D	мм	50	16	40	160	206	100	250	30	120	80
D1	мм	18	8	25	80	100	40	180	15	30	10
D2	мм	28	32	125	140	80	200	20	50	50	30
L	мм	35	15	200	32	125	100	50	80	200	150
L1	мм	20	6	125	12	60	30	15	60	120	20
B	мм	6	2	3	12	18	4	16	3	14	10
B1	мм	16	3	8	32	40	6	45	6	12	8
Ra1	мкм	0,8	1,6	6,3	4	1,6	10	2,5	2,5	4	0,8
Ra2	мкм	3,2	2,5	5	8	2,5	3,2	1,6	10	5	3,2
F1	мм	3	1	3	5	6	5	7	2	4	5

Рис. 1П. Варианты заданий

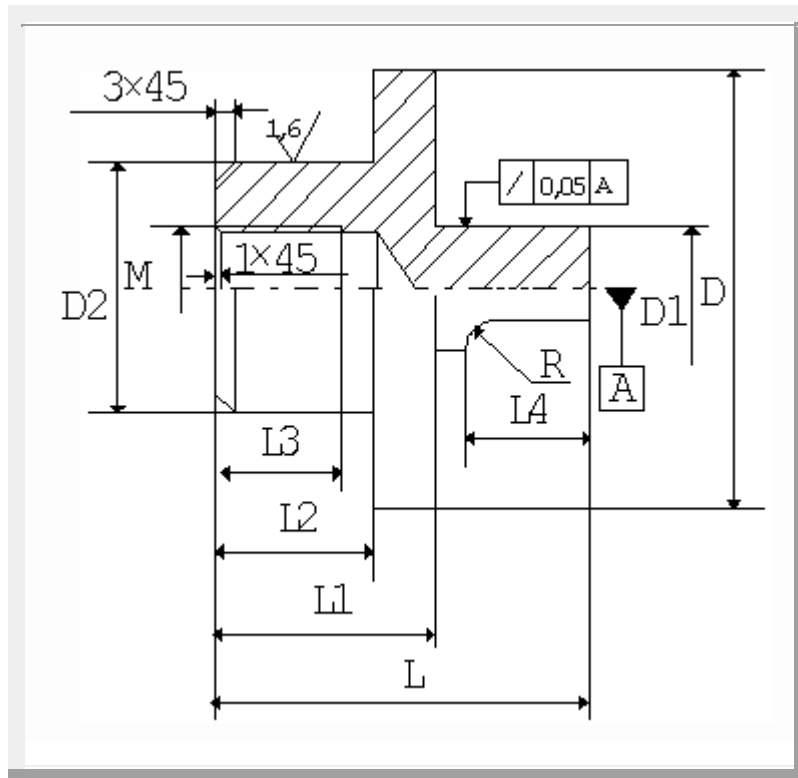
Вторая цифра шифра 2



Обозначение	Размерность	Третья цифра шифра									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L	мм	50	200	32	12	125	40	25	160	80	16
L1	мм	20	40	10	5	30	12	10	8	20	6
L2	мм	16	80	16	6	40	12	8	100	20	8
D	мм	60	40	160	16	200	32	125	25	100	80
D1	мм	30	16	60	10	100	16	60	12	40	50
D2	мм	25	20	68	8	68	20	50	12	60	40
B	мм	16	12	50	5	60	8	30	8	20	15
B1	мкм	6	5	20	2	25	3	12	3	10	6
Ra1	мкм	0,8	5,0	10,0	2,5	8,0	1,25	0,8	6,3	12,5	4,0

Рис. 2П. Варианты заданий

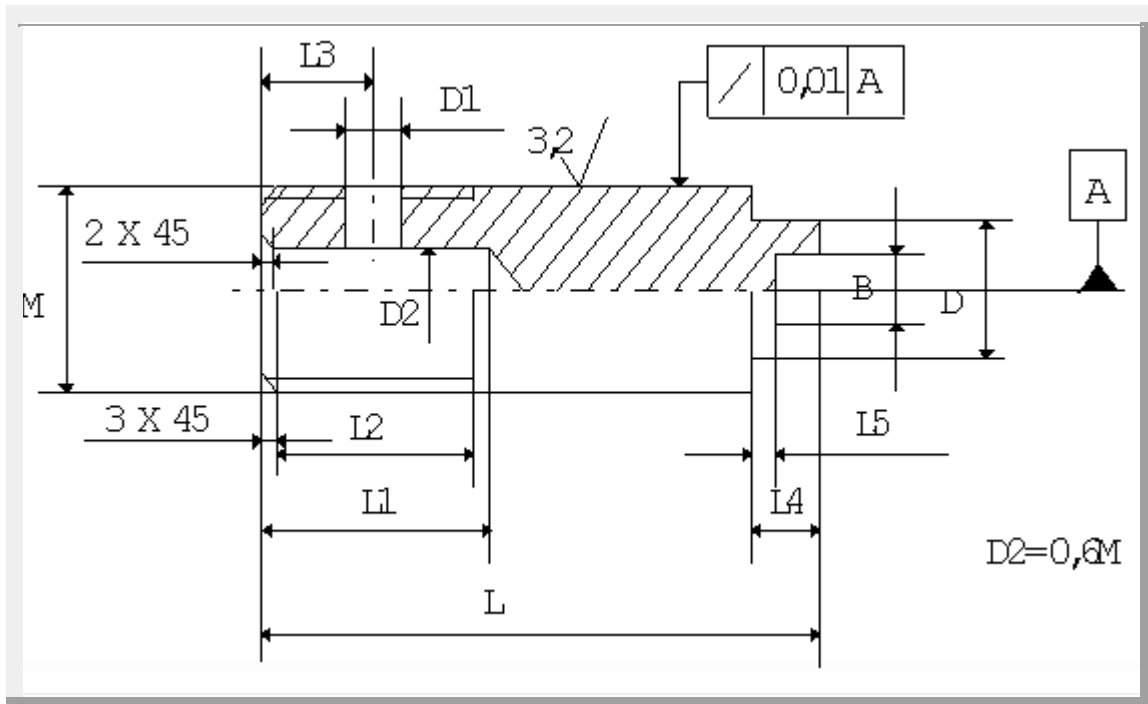
Вторая цифра шифра 3



Обозначение	Размерность	Третья цифра шифра									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L	мм	60	200	32	15	125	40	25	160	80	16
L1	мм	35	160	20	10	50	30	20	126	50	12
L2	мм	25	125	16	8	32	25	16	50	40	10
L3	мм	20	30	12	6	25	20	15	80	32	10
L4	мм	20	32	8	3	40	8	3	30	16	3
L5	мм	70	40	160	16	200	32	125	25	100	80
D	мм	20	32	63	8	160	28	80	16	80	40
D1	мм	40	30	100	15	125	30	100	20	60	60
M	мм	M20	M12	M36	M4	M56	M12	M24	M6	M16	M22
B	мм	10	16	12	5	20	5	3	6	12	3

Рис.3П. Варианты заданий

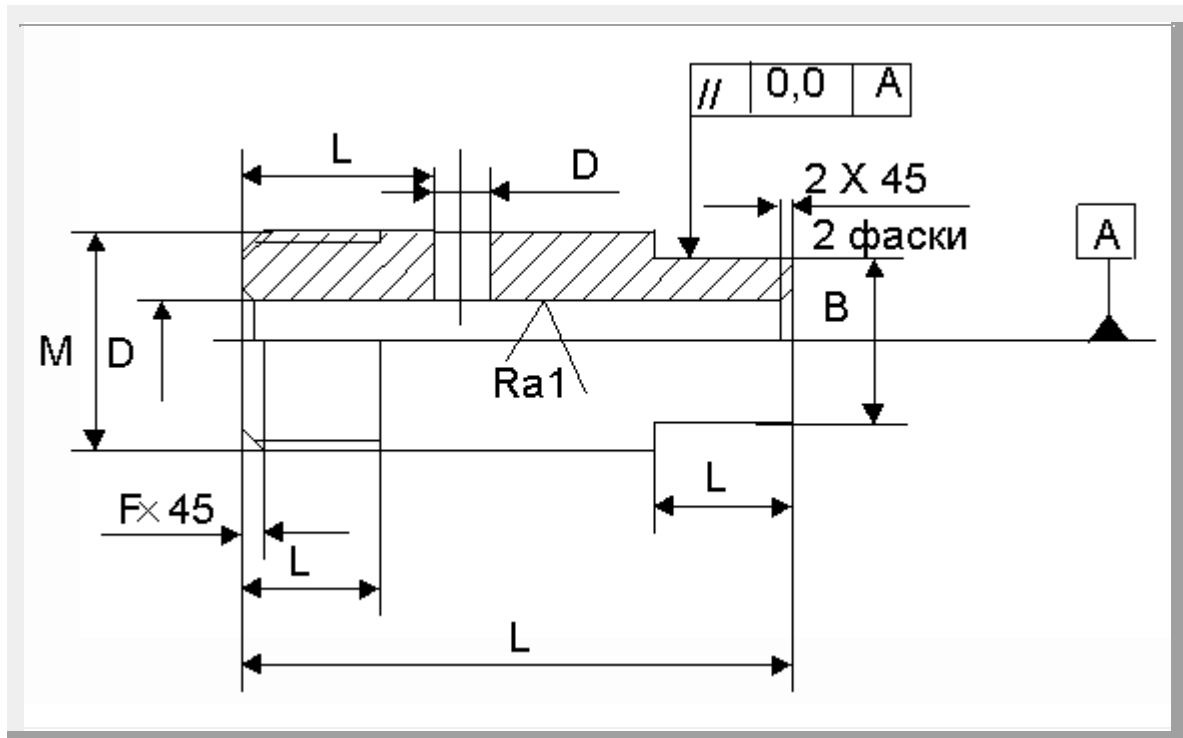
Вторая цифра шифра 4



Обозначение	Размерность	Третья цифра шифра									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L	мм	100	125	15	32	200	16	30	160	25	40
L1	мм	44	60	8	16	80	6	32	20	12	15
L2	мм	40	50	6	12	100	5	40	32	10	12
L3	мм	30	40	5	10	50	4	32	30	6	8
L4	мм	12	40	3	10	60	5	20	8	6	15
L5	мм	8	30	3	3	20	3	13	6	6	5
D	мм	20	160	10	32	25	60	30	20	32	25
D1	мм	5	20	3	3	10	10	5	3	8	5
M	мм	M30	M140	M12	M56	M20	M64	M30	M12	M36	M24
B	мм	10	40	4	16	10	30	8	5	12	14

Рис.4П. Варианты заданий

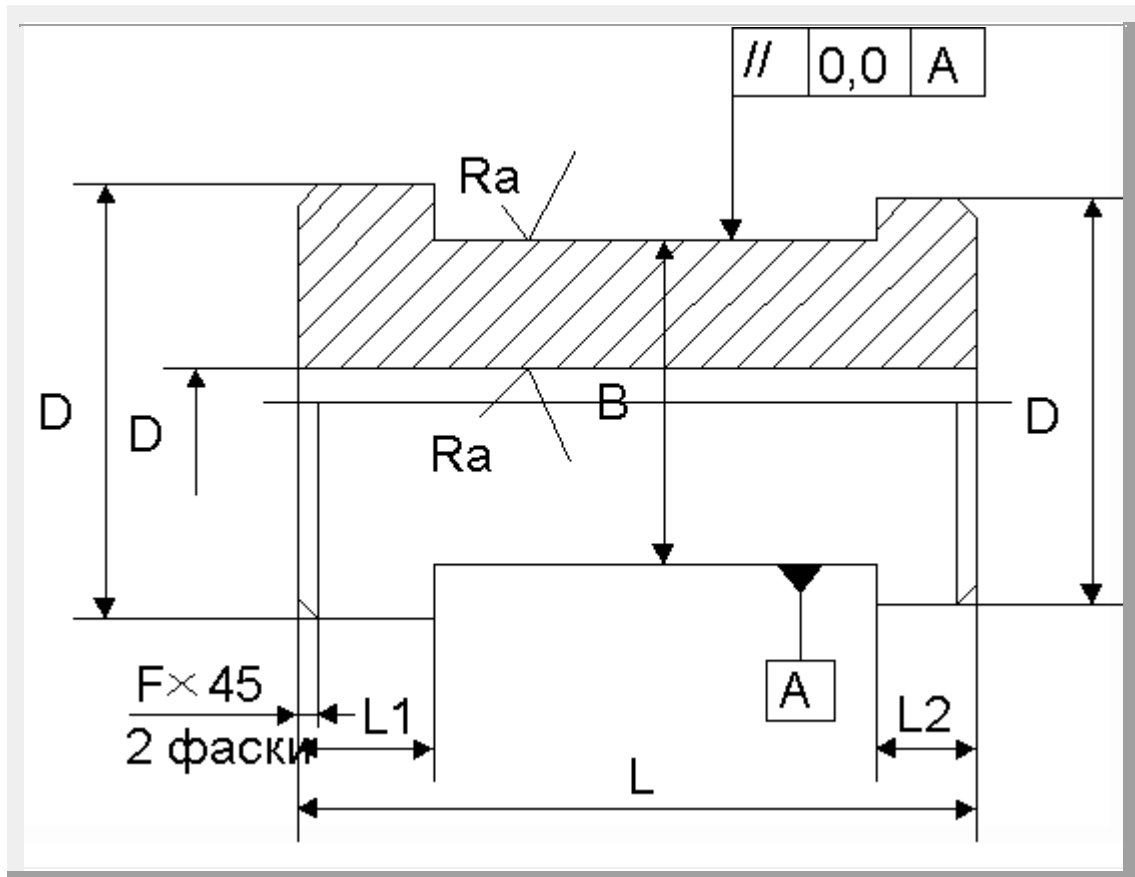
Вторая цифра шифра 5



Обозначение	Размерность	Третья цифра шифра									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L	мм	100	90	180	200	100	90	160	80	100	200
L1	мм	25	8	40	100	20	10	20	8	50	160
L2	мм	25	40	40	50	20	60	60	40	24	18
L3	мм	40	60	90	72	50	70	80	56	34	30
D1	мм	15	32	40	20	12	50	40	32	20	12
D2	мм	10	6	12	8	10	6	10	12	6	5
M	мм	M40	M60	M90	M56	M36	M90	M60	M72	M48	M36
B	мм	30	50	80	40	24	72	48	48	40	20
F	мм	4	5	5	5	3	4	5	5	3	3
Ra1	мм	0,4	1,6	1,6	0,8	0,8	5	1,6	5	1,6	0,8

Рис.5П. Варианты заданий

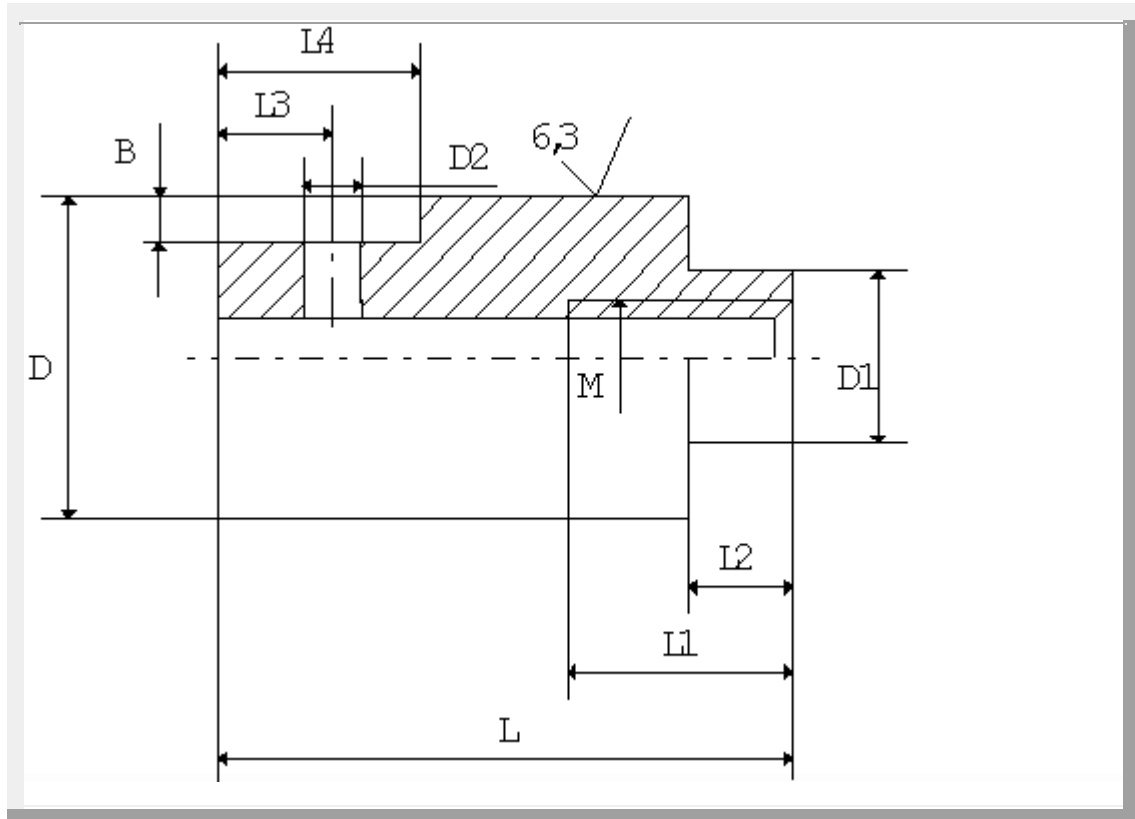
Вторая цифра шифра 6



Обозначение	Размерность	Третья цифра шифра									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L	мм	50	60	50	100	150	100	40	100	120	150
L1	мм	15	30	15	20	30	30	15	60	40	30
L2	мм	10	20	30	15	20	20	10	15	40	30
D1	мм	32	72	100	64	80	70	32	80	60	80
D2	мм	5	20	20	10	20	10	5	20	8	12
D3	мм	30	60	72	60	80	60	30	72	70	60
B	мм	24	48	70	48	72	38	24	40	30	34
F	мм	3	4	5	3	4	5	3	4	5	4
Ra1	мм	6,3	12,5	6,3	12,5	6,3	6,3	12,5	6,3	12,5	3,2
Ra2	мм	1,6	1,6	1,6	0,8	1,6	0,8	1,6	0,8	1,6	0,8

Рис.6П. Варианты заданий

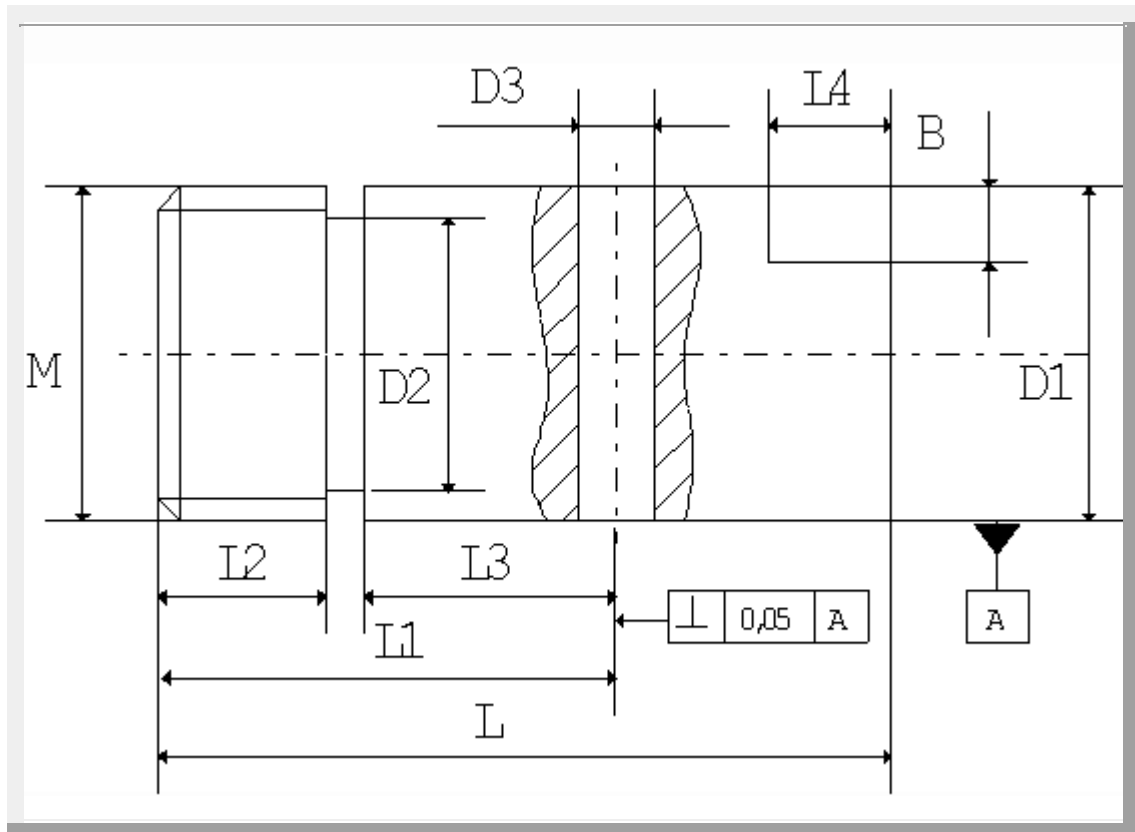
Вторая цифра шифра 7



Обозначение	Размерность	Третья цифра шифра									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L	мм	110	90	100	130	140	60	200	90	120	150
L1	мм	34	60	40	50	60	30	40	20	50	30
L2	мм	24	30	17	25	34	18	20	12	30	14
L3	мм	14	20	34	30	20	14	60	18	40	70
L4	мм	40	35	50	54	44	24	80	40	55	80
D	мм	50	80	100	180	150	100	100	50	80	70
D1	мм	40	60	80	140	70	110	50	30	50	40
D2	мм	6	10	12	8	14	10	14	8	4	5
B	мм	4	6	8	6	12	5	10	8	4	6
M	мм	M20	M36	M42	M20	M64	M20	M36	M16	M12	M36

Рис.7П. Варианты заданий

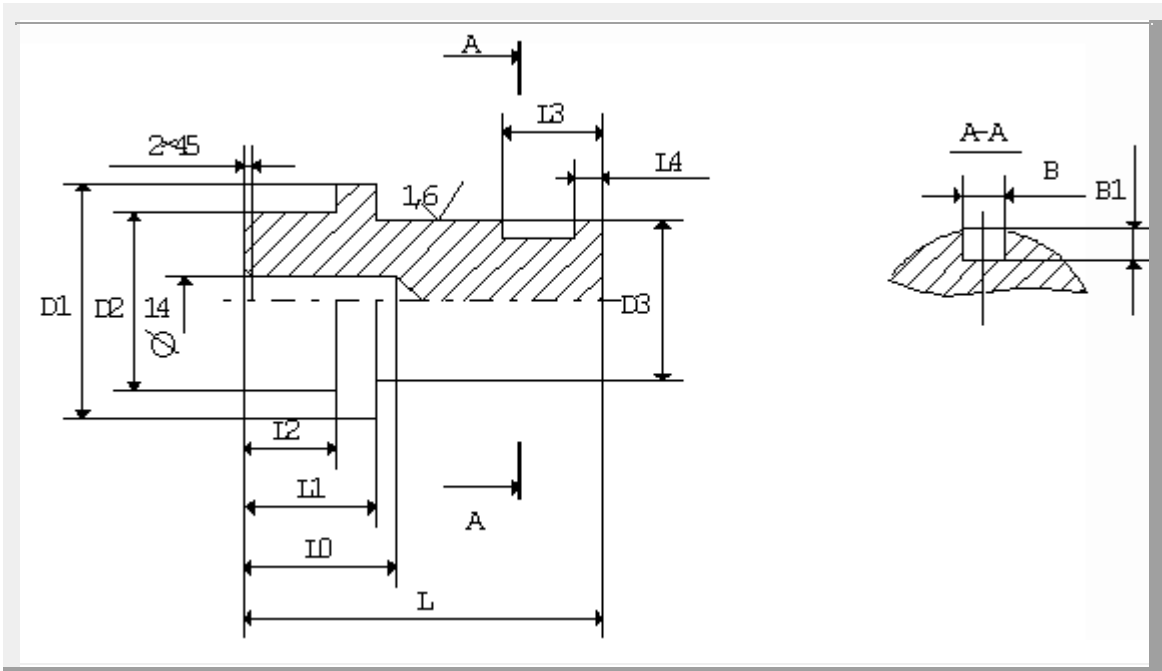
Вторая цифра шифра 8



Обозначение	Размерность	Третья цифра шифра									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L	мм	90	120	200	180	120	180	100	160	120	80
L1	мм	60	80	110	120	100	110	82	100	100	55
L2	мм	40	50	80	100	70	40	60	70	70	30
L3	мм	4	10	8	5	12	7	9	12	5	14
L4	мм	16	25	40	30	5	50	6	27	4	10
B	мм	7	12	14	16	20	25	10	8	6	9
M	мм	M14	M30	M72	M80	M64	M36	M90	M30	M24	M56
D1	мм	30	42	30	60	40	100	30	70	14	160
D2	мм	10	26	60	50	35	34	70	24	20	50
D3	мм	8	5	4	7	6	8	5	4	7	10

Рис.8П. Варианты заданий

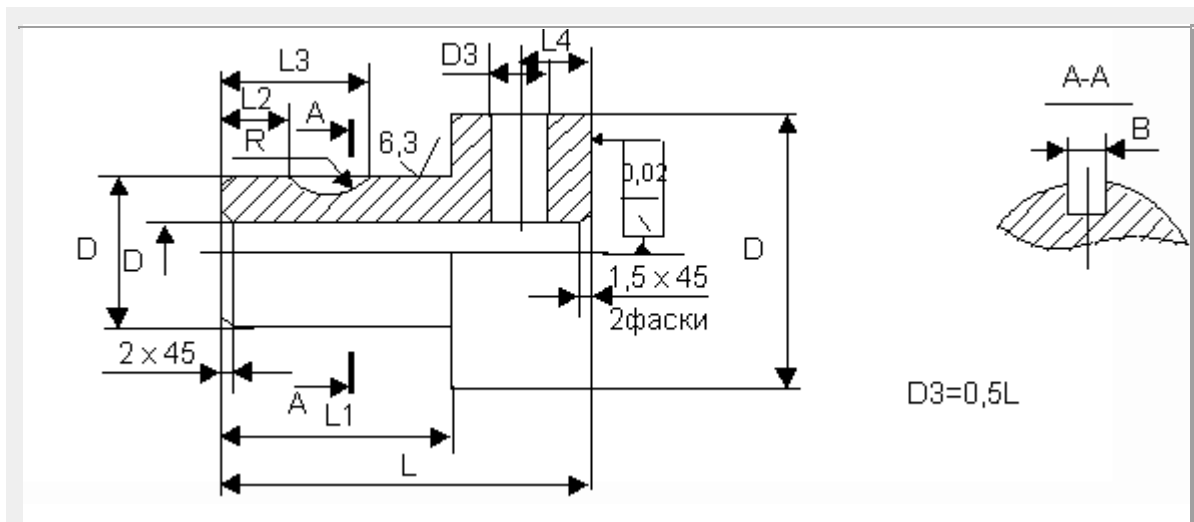
Вторая цифра шифра 9



Обозначение	Размерность	Третья цифра шифра									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L	мм	70	64	90	120	98	140	80	200	160	100
L1	мм	25	30	36	42	48	56	48	42	80	42
L2	мм	14	15	12	9	24	36	20	10	60	20
L3	мм	20	25	32	40	28	25	26	28	40	24
L4	мм	5	10	12	10	8	5	6	8	10	12
D1	мм	60	100	90	110	72	140	180	90	64	160
D2	мм	40	56	48	42	64	60	72	64	48	56
D3	мм	25	64	42	90	56	64	64	72	56	48
B1	мм	6	8	10	6	10	6	12	10	8	6
B2	мм	3	4	5	3	5	3	6	5	4	3

Рис.9П. Варианты заданий

Вторая цифра шифра 0



Обозначение	Размерность	Третья цифра шифра									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L	мм	120	125	20	32	200	46	80	160	250	40
L1	мм	80	60	10	18	140	20	60	100	130	20
L2	мм	12	10	2	3	16	2	20	50	60	8
L3	мм	26	30	8	15	46	18	42	74	86	18
L4	мм	20	30	3	9	30	11	15	20	18	8
D	мм	30	200	16	160	40	80	100	25	125	32
D1	мм	14	100	10	80	25	40	60	15	68	20
D2	мм	60	180	30	180	32	100	140	40	200	50
R	мм	70	60	20	22	46	38	48	32	58	50
B	мм	5	12	6	3	5	6	8	4	7	5

Рис.10П. Варианты заданий

Годовой фонд времени (ч) работы металлорежущего оборудования

Таблица 2П

Наименование оборудования	Работа	
	двухсменная	трехсменная
Металлорежущие станки с ПУ и многооперационные станки массой, т: до 10	3980	5775
10-100	3810	5650
Агрегатные станки	4015	5990
Автоматические линии	3725	5465
Гибкие производственные модули, роботизированные технологические комплексы массой, т: до 10		5970/7970*
10-100		5710/7620*

* Работа в выходные и праздничные дни.