

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»  
(КНИТУ-КАИ)

**ИНСТИТУТ АВИАЦИИ, НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА И ЭНЕРГЕТИКИ**

Кафедра технологии машиностроительных производств

Направление подготовки: 15.03.05 Конструкторско-технологическое  
обеспечение машиностроительных производств

Образовательная программа: Технологии, оборудование и автоматизация  
машиностроительных производств

**К защите допустить**

Зав. каф. Р.М. Янбаев

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г.

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

на тему «Проектирование процесса изготовления детали

"Полумуфта зубчатая" с разработкой токарно-фрезерных операций в САМ-  
системе»

**ОБУЧАЮЩИЙСЯ** Уваров С.С. , группа 1408  
(инициалы, фамилия, № группы)

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

**РУКОВОДИТЕЛЬ** к.т.н, доцент каф. ТМП М.В. Печёнкин  
(ученая степень, звание, инициалы, фамилия)

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

Казань 2025

# Design of the manufacturing process of the part “Half coupling toothed” with the development of turn-mill operations in the CAM system

by  
Uvarov Stepan Sergeevich

Submitted to the Department of Machine-Building Technology

in partial fulfillment of the Requirements for the degree of

BACHELOR OF SCIENCE

at the

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
«Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev-KAI»  
(KNRTU-KAI)

Author

S.S. Uvarov

*(signature)*

Supervisor

M.V. Pechenkin

*(signature)*

Associate professor, Department of  
Machine-Building Technology

Certified by

R.M. Yanbaev

*(signature)*

Head of the Department of  
Machine-Building Technology

date \_\_\_\_\_

Kazan 2025

## **ОГЛАВЛЕНИ**

## Е

Аннотация.....	7
ANNOTATION.....	8
ВВЕДЕНИЕ.....	9
1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	10
1.1. Описание назначения и анализ технологичности конструкции детали....	10
1.1.1 Формирование исходных данных.....	10
1.1.2 Анализ технологичности конструкции детали.....	12
1.1.3 Разработка 3D-модели детали в САД-системе КОМПАС-3D.....	14
1.1.4 Химический состав сплава детали и его физико-механические свойства.....	16
1.1.5 Покрытие.....	17
1.2 Выбор заготовки.....	18
1.2.1 Обоснование вида, способа получения и формы исходной заготовки .....	18
1.2.2 Предварительное проектирование исходной заготовки.....	19
1.3 Разработка плана технологического процесса механической обработки..	22
1.3.1 Формирование укрупнённого плана технологического процесса.....	22
1.3.2 Установление последовательности обработки поверхностей, выбор измерительных и технологических баз.....	23
1.3.3 Разработка и обоснование плана операций.....	24
1.4 Решение осевых и диаметральных размерных цепей.....	24
1.4.1 Составление эскиза совмещённых переходов и осевых размерных цепей.....	24
1.4.2 Методика расчёта размерных цепей.....	26
1.4.3 Расчёт осевых размерных цепей.....	26
1.4.4 Расчёт диаметральных размерных цепей.....	31
1.5 Выбор технологического оборудования.....	34
1.6 Выбор средств технологического оснащения операций.....	36
1.6.1 Выбор режущего инструмента.....	36
1.6.2 Выбор технологической оснастки.....	37
1.6.3 Выбор контрольно-измерительных средств.....	38

КТОМП.2025.211116.000

Изм. Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.	Уваров С.С.		
Проверил.	Печенкин М.В.		
Б. Провер.			
Н. Контр.			
Утверд.			

Проектирование процесса  
изготовления детали  
"Полумуфта зубчатая" с  
разработкой токарно-фрезерных  
операций в САМ-системе

Лит.	Лист	Листов
	6	
КНИТУ-КАИ гр. 1408		

1.7	Расчёт режимов резания и норм времени.....	38
1.8	Разработка технологического процесса обработки детали.....	43
2.	ПРОФИЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	49
2.1	Выбор промышленного робота.....	49
2.2	Выбор устройства подачи заготовок.....	52
2.3	Выбор компоновки автоматизированной производственной системы.....	52
2.4	Построение и расчёт элементов траектории захватного устройства ПР.....	53
2.5	Расчёт допустимых скоростей перемещения заготовки.....	61
2.6	Построение циклограммы функционирования автоматизированной производственной системы.....	63
2.7	Расчёт коэффициентов использования РТК.....	65
2.8	Разработка симуляции и управляющей программы для робота в САМ модуле Siemens NX.....	66
2.8.1	Создание модели роботизированного технологического комплекса.....	66
2.8.3	Формирование управляющей программы робота.....	71
2.9	Разработка управляющей программы обработки детали в CNC-системе Sinumeric 840D.....	71
2.9.1	Создание режущих инструментов в системы Sinumerik 840D.....	71
2.9.2	Создание управляющей программы обработки.....	72
2.9.3	Симуляция разработанной управляющей программы в системе Sinumeric.....	80
2.10	Разработка управляющей программы обработки детали в САМ модуле системы Siemens NX.....	82
2.10.1	Создание и редактирование основных элементов обработки.....	82
2.10.2	Создание операций механической обработки.....	86
2.10.3	Формирование управляющей программы.....	93
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	95
	CONCLUSION.....	96
	Список использованных источников и литературы.....	97
	Приложения.....	99

КТОМП.2025.2111116.000

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Уваров С.С.		
Проверил.		Печенкин М.В.		
Утверд.				

Проектирование процесса  
изготовления детали  
"Полумуфта зубчатая" с  
разработкой токарно-фрезерных  
операций в САМ-системе

Лит.	Лист	Листов
	6	
КНИТУ-КАИ гр. 1408		

## АННОТАЦИЯ

Тема выпускной квалификационной работы: «Проектирование процесса изготовления детали "Полумуфта зубчатая" с разработкой токарно-фрезерных операций в САМ-системе»

Автор: Уваров Степан Сергеевич

Руководитель: Печенкин Михаил Владимирович

Сведения об объеме работы: страницы, чертежей – 7, использованных источников – 24.

Ключевые слова: технологический процесс, режущий инструмент, управляющая программа.

Объект исследования - технология изготовления детали «Полумуфта зубчатая».

Цель работы – написание управляющей программы и автоматизация изготовления детали «Полумуфта зубчатая».

Метод исследования – анализ размерных цепей, расчет режимов обработки и временных нормативов, создание управляющей программы для ЧПУ-станка.

Полученные результаты – модернизированный технологический процесс, спроектированный роботизированный комплекс, управляющая программа для станка с ЧПУ.

Новизна заключается в разработанном единичном технологическом процессе изготовления детали, использование САПР при проектировании технологической оснастки и управляющих программ.

Область применения и внедрения – изготовление деталей типа «Полумуфта зубчатая» в условиях среднесерийного производства.

## ANNOTATION

Thesis Topic: "Designing the Manufacturing Process of the 'Gear Half-Coupling' Part with the Development of Turning and Milling Operations in a CAM System"

Author: Uvarov Stepan Sergeevich

Supervisor: Pechenkin Mikhail Vladimirovich

Work Volume: pages, drawings – 7, references – 24.

Keywords: manufacturing process, cutting tool, CNC program.

Research Object: The production technology of the "Gear Half-Coupling" part.

Objective: Developing a CNC program and automating the manufacturing process of the "Gear Half-Coupling" part.

Research Method: Analysis of dimensional chains, calculation of machining parameters and time standards, creation of a CNC program.

Results: An optimized manufacturing process, a designed robotic complex, and a CNC program for machine control.

Novelty: The developed unit manufacturing process, the use of CAD/CAM in designing tooling and CNC programs.

Application & Implementation: Production of "Gear Half-Coupling"-type parts in medium-scale manufacturing.

## ВВЕДЕНИЕ

В современных производственных условиях для повышения эффективности изготовления деталей и автоматизации технологических процессов, с учётом экономической целесообразности, широко используются системы автоматизированного проектирования (САПР), оборудование с ЧПУ и другие средства автоматизации.

Таким образом, ключевой целью данной выпускной квалификационной работы является разработка автоматизированной технологии производства детали «Полумуфта зубчатая».

Основные задачи исследования:

1. Провести анализ технологичности конструкции детали.
2. Разработать маршрут обработки и технологический процесс изготовления.
3. Спроектировать роботизированный технологический комплекс (РТК).
4. Создать управляющую программу для станков с числовым программным управлением (ЧПУ).

# 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## 1.1. Описание назначения и анализ технологичности конструкции

### детали

#### 1.1.1 Формирование исходных данных

Чертёж детали «Полумуфта зубчатая», был получен мною во время прохождения практики на Казанском вертолётном заводе

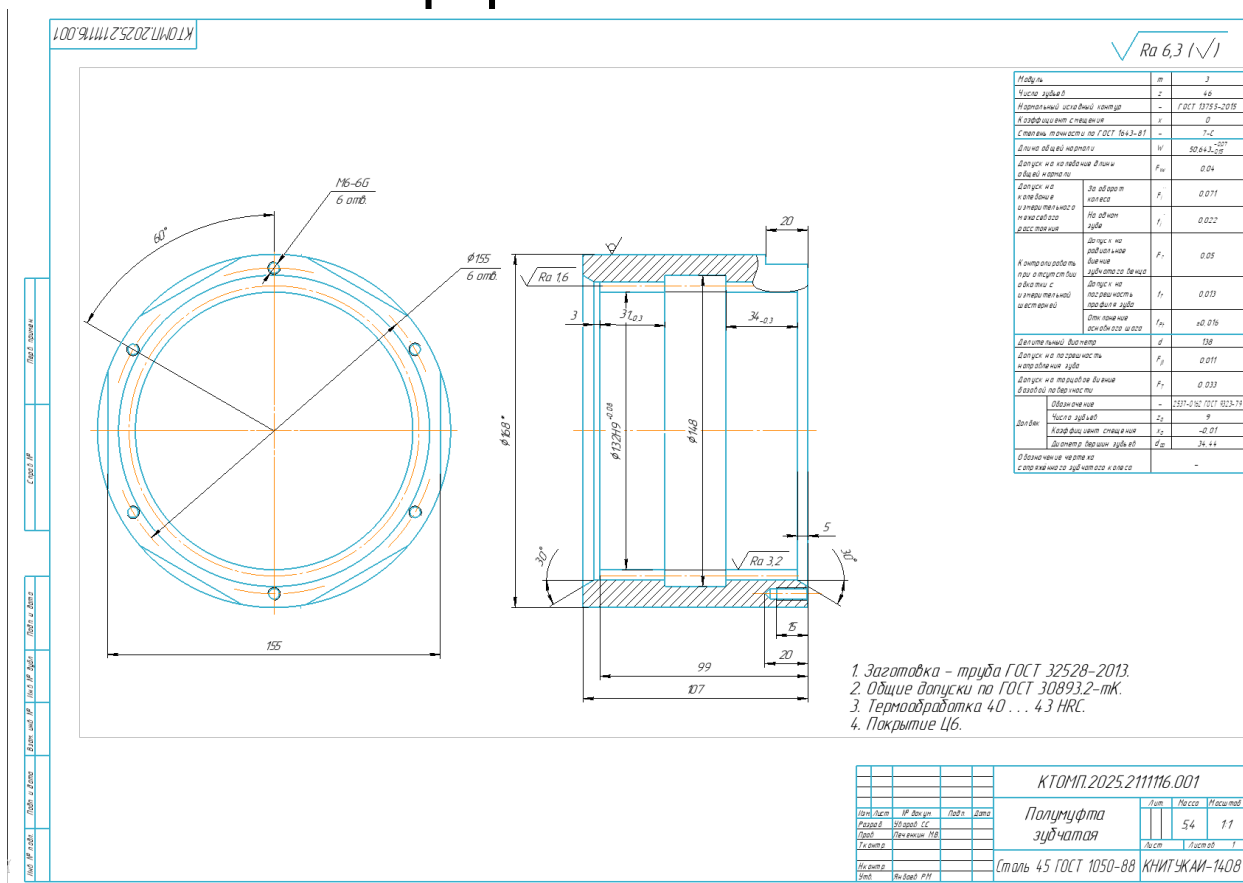


Рис.1 Рабочий чертёж детали «Полумуфта зубчатая»

Полумуфта зубчатая – это элемент механизма для соединения валов, в отверстия с зубчатым венцом располагаются 2 внутренние части муфты для эффективной передачи крутящего момента

Тип машиностроительного производства определяет выбор технологического оборудования, общий характер технологического процесса, а также степень его механизации и автоматизации.

Объем выпуска изделий — это количество изделий определённых наименований, типоразмеров и исполнений, изготавливаемых или

ремонтируемых предприятием, или его подразделением в течение планируемого периода времени.

Таблица 1 Зависимость типа производства от объёма выпуска и массы детали.

Тип производства	Годовой объём выпуска деталей одного наименования, шт.		
	Мелкие (до 10 кг)	Средние (св. 10 до 100 кг)	Тяжёлые (св. 100 кг)
Единичное	до 100	До 10	До 5
Мелкосерийное	100-500	10-200	5-100
<b>Среднесерийное</b>	<b>500 – 5 000</b>	200-500	100-300
Крупносерийное	5 000 – 50 000	500-5000	300-1000
Массовое	св. 50 000	св. 5000	св. 1000

Необходимость количественной оценки технологичности конструкции деталей, а также номенклатура показателей и методика их определения устанавливаются в зависимости от вида изделий, типа производства и стадии разработки конструкторской документации отраслевыми стандартами или стандартами предприятия.

Количество показателей должно быть минимальным, но достаточным для оценки технологичности.

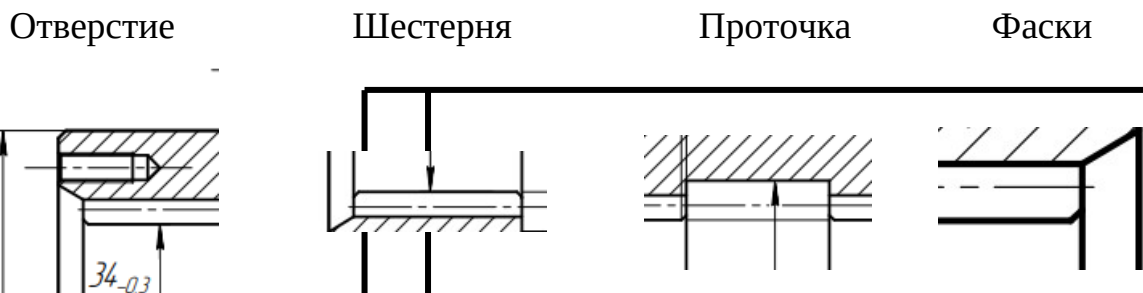
Количественная оценка эксплуатационной и ремонтной технологичности конструкции изделия проводится обязательно при затратах на эксплуатацию и ремонт сопоставимых или превышающих затраты на её производство.

Для количественной оценки технологичности конструкции детали из предусмотренной номенклатуры показателей технологичности рекомендуется применять следующие:

При проведении количественного анализа определяют показатели унификации и показатели обработки.

## 1.1.2 Анализ технологичности конструкции детали

### Примеры унифицированных конструктивных элементов



Показатель материалоемкости, который характеризуется коэффициентом использования материала

$$K_{им} = \frac{M_d}{M_з} K_{ум} = \frac{5521.5}{8070.6} = 0,68$$

где  $M_d$  – масса детали, кг; принимаем условно  $M_d = 5521.5 \text{ г} \sim 5.5 \text{ кг}$ .

$M_з$  – масса заготовки, кг; принимаем условно  $M_з = M = 8070.6 \text{ г} \sim 8 \text{ кг}$ .

Базовое значение показателя  $K_{ум} = 0,7$ .

Расчетное значение коэффициента использования материала приближено к базовому, это значит, что выбранный метод получения заготовки и её конфигурация удовлетворяют требованиям технологичности.

При оценке детали на технологичность обязательным являются следующие дополнительные показатели (по методике В.Г. Кононенко):

$$K_{у.э} = \frac{Q_{у.э}}{Q_э}$$

где  $Q_{у.э}$  и  $Q_э$  – соответственно число унифицированных конструктивных элементов детали и общее, шт.;

$$Q_э = 15 \text{ шт.}, Q_{у.э} = 12 \text{ шт.}$$

$$K_{у.э} = \frac{Q_{у.э}}{Q_э} = \frac{12}{15} = 0,8$$

К унифицированным поверхностям относятся стандартные канавки, фаски, центровочные гнезда, зубчатые, шлицевые, шпоночные поверхности; гладкие цилиндрические и плоские поверхности, если их номинальный размер принадлежит одному из рядов номинальных линейных размеров и допуск размера назначен по квалитетам. Базовое значение показателя  $K_u = 0,8$

Коэффициент применяемости стандартизованных обрабатываемых поверхностей:

$$K_{n.cm} = \frac{D_{o.c}}{D_{m.o}}$$

где  $D_{o.c}$ ,  $D_{m.o}$  – соответственно число поверхностей детали, обрабатываемых стандартным инструментом, и всех, подвергаемых механической обработке поверхностей, шт.;

$$K_{n.cm} = \frac{D_{o.c}}{D_{m.o}} = \frac{15}{15} = 1$$

Коэффициент обработки поверхностей:

$$K_{n.o} = 1 - \frac{D_{m.o}}{D_3}$$

где  $D_{m.o}$  и  $D_3$  соответственно число поверхностей подвергаемых механической обработке и общее число поверхностей, шт.;

$$K_{n.o} = 1 - \frac{D_{m.o}}{D_3} = 1 - \frac{15}{15} = 0$$

Коэффициент шероховатости поверхности:

$$K_w = 1 - \frac{1}{B_{cp}}, \quad B_{cp} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i}$$

где  $B_i$  – значение параметра шероховатости,  $n_i$  – количество параметров шероховатости.

$$B_{cp} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{3.2 \times 2 + 1.6 \times 2}{4} = 2,4 \text{ мкм}$$

$$K_w = 1 - \frac{1}{B_{cp}} = 1 - \frac{1}{2,4} = 0,583$$

Таким образом, проанализировав количественные показатели технологичности для данной детали, следует сказать, что к положительным показателям, характеризующим деталь, относятся: коэффициент использования материала, ( $0,68 < 0,7$ ). Это говорит о достаточно высокой экономии металла, что приводит к повышению технологичности изделия, а также к удешевлению производства детали.

Коэффициент шероховатости поверхности показал, что деталь нетехнологична, так как имеет достаточную грубую поверхность, но высокая чистота поверхности не является необходимой при использовании детали в готовом механизме.

коэффициент применяемости стандартизованных обрабатываемых поверхностей – все поверхности обрабатываются стандартным инструментом.

Таким образом, проанализировав качественные и количественные показатели технологичности детали «Полумуфта», можно сделать вывод, что деталь является технологичной.

### 1.1.3 Разработка 3D-модели детали в САД-системе КОМПАС-3D

Разработка 3D-модели детали Деталь «Втулка подшипниковая» спроектирована в программе Компас v21. Ниже приведены рисунки последовательности создания 3D-модели детали

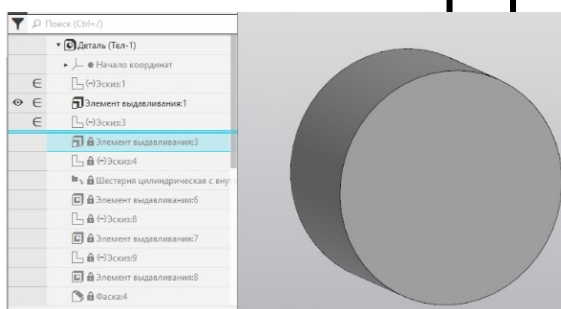


Рис.2 Создаю втулку, соответствующую размерам детали

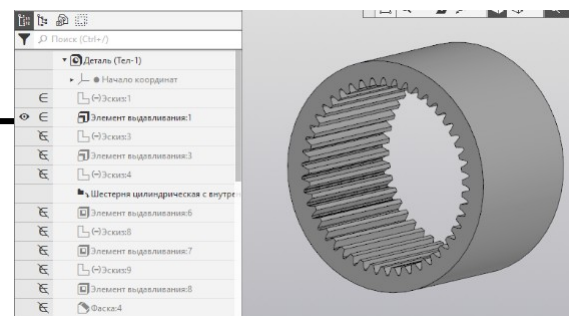


Рис.3 Добавляю зубчатый венец на деталь согласно данным на чертеже

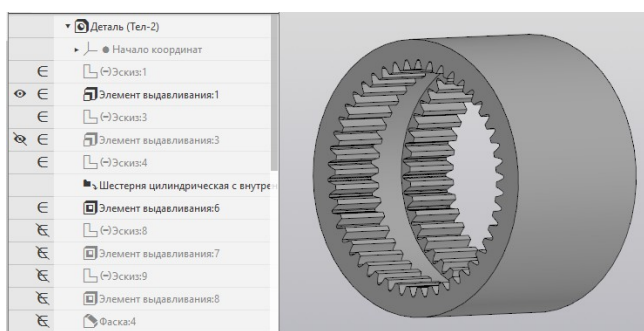


Рис.4 Изготавливаю выборку центре детали

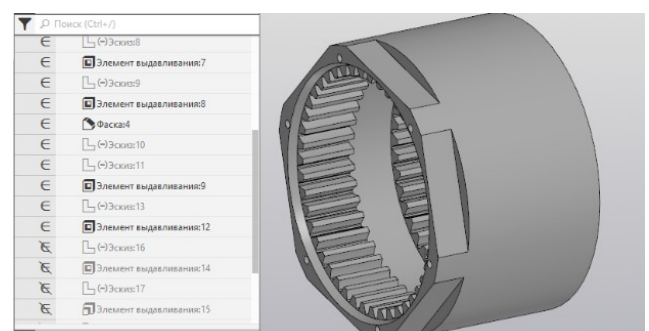
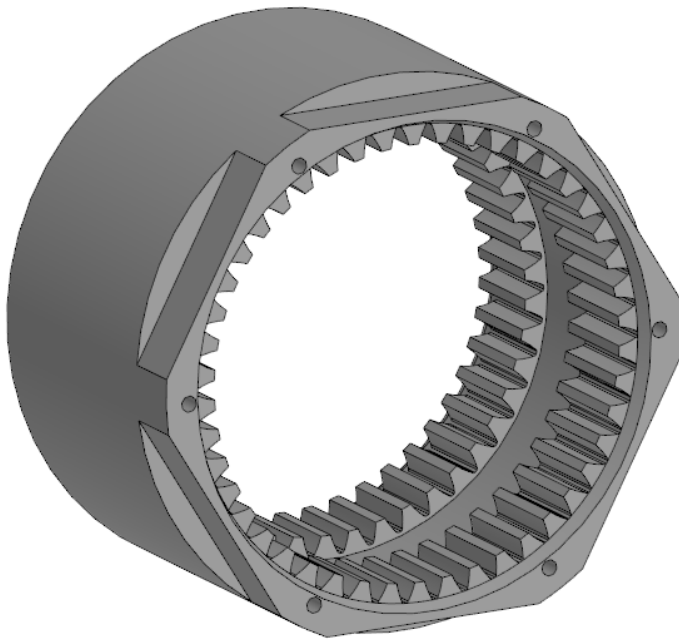
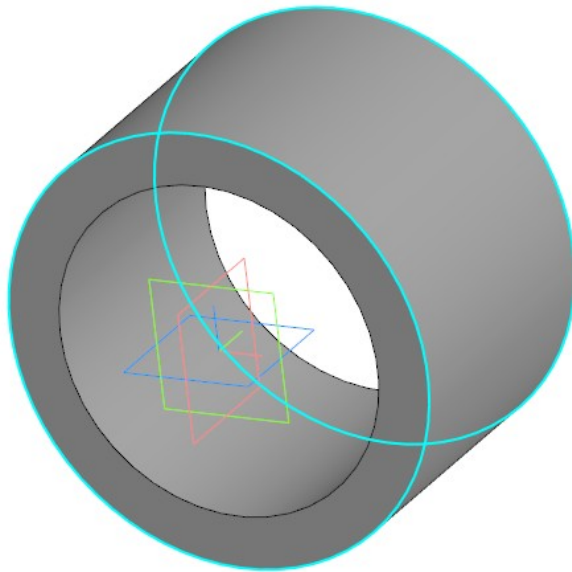


Рис.5 Изготавливаю шестигранную поверхность



Информация	
Дата	16.05.2025
Документ	Деталь C:\Users\Степа\Desktop\Диплом\Диплом
-----	
МЦХ модели	
Деталь	
Заданные параметры	
Материал тел	Сталь 45 ГОСТ 1050-2013
Плотность материала тел	Ro = 0.007810 г/мм3
-----	
Расчетные параметры(тела и компоненты)	
Масса	M = 5399.685818 г
Площадь	S = 150954.397327 мм2
Объем	V = 691381.026579 мм3

Рис.6 3D модель детали и МЦХ модели



Информация	
Дата	16.05.2025
Документ	Деталь C:\Users\Степа\Desktop\Диплом\Диплом
-----	
МЦХ модели	
Деталь	
Заданные параметры	
Материал тел	Сталь 45 ГОСТ 1050-2013
Плотность материала тел	Ro = 0.007810 г/мм3
-----	
Расчетные параметры(тела и компоненты)	
Масса	M = 8023.388528 г
Площадь	S = 120899.732212 мм2
Объем	V = 1027322.474713 мм3

Рис.7 3D модель заготовки и МЦХ модели

### 1.1.4 Химический состав сплава детали и его физико-механические свойства

Марка стали 45

Сталь 45 – углеродистая конструкционная нелегированная специальная качественная сталь.

Таблица 2 Химический состав в % материала стали 45

С (Углерод)	Si (Кремний)	Mn (Марганец)	P (Фосфор)	S (Сера)	Cr (Хром)	Ni (Никель)	Cu (Медь)	Fe (Железо)
0,42-0,5	0,17-0,37	0,5-0,8	<0,03	<0,035	<0,25	<0,3	<0,3	Остальное

Таблица 3 Механические свойства стали 45

ГОСТ	Состояние поставки, режим термообработки	Сечение, мм	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %
1050-55	Сталь горячекатаная, кованая, калиброванная и серебрянка 2-й категории после нормализации	25	600	16	40
	Сталь, калиброванная 5-й категории после нагартовки	Образцы	640	6	30
10702-78	Сталь, калиброванная со специальной отделкой после отпуска или отжига	-	До 590	-	40
1577-93	Листы нормализованные и горячекатаные	80	590	18	40
	Полосы нормализованные и горячекатаные	6-25	600	16	40
16523-97	Лист горячекатаный	2-3,9	550-690	15	-
	Лист холоднокатаный	2-3,9			

Таблица 4 Физические свойства стали 45

T (Град)	$E \cdot 10^5$ (МПа)	$A \cdot 10^6$ (1/Град)	$\lambda$ (Вт/(м*град))	$\rho$ (кг/м <sup>3</sup> )	C (Дж/(кг*град))
20	2	-	-	7826	-
100	2,01	11,9	48	7799	473
200	1,93	12,7	47	7769	494
300	1,9	13,4	44	7735	515
400	1,72	14,1	41	7698	536
500	-	14,6	39	7662	583
600	-	14,9	36	7625	578
700	-	15,2	31	7587	611
800	-	-	27	7595	720
900	-	-	26	-	708

Расшифровка марки стали: марка 45 означает, что в стали содержится 0,45% углерода, а остальные примеси крайне незначительны.

Применение стали 45 и термообработка изделий: Кулачки станочных патронов, согласно указаниям ГОСТ, изготавливают из сталей 45 и 40Х. Твёрдость Rc = 45 -50. В кулачках четырёх кулачных патронов твёрдость резьбы должна быть в пределах Rc = 35-42. Отпуск кулачков из стали 45 производится при температуре 220-280. Плоскогубцы, круглогубцы и ручные тисочки изготавливают из сталей 45 и 50. Для закалки эти инструменты нагревают в собранном виде, с раскрытыми губками. Ввиду того, что стали 45 и 50 склонны к образованию закалочных трещин, в особенности в местах резких переходов, нагревать надо только губки. Поэтому наилучшей средой для нагрева является свинцовая или соляная ванна. При нагреве в камерной печи следует обеспечить медленное остывание мест с резкими переходами (шарнир) путём погружения и перемещения в воде только губок (до потемнения остальной части). Отпуск производят при температуре 220-320° в течение 30-40 мин. Твёрдость губок Rc = 42-50. Твёрдость определяют на приборе РВ или тарированным напильником.

### 1.1.5 Покрытие

В технических требованиях указано покрытие Ц6. Данный тип покрытия широко применяется в машиностроении для защиты стальных деталей от коррозии, обеспечивая долговечность и надёжность работы узлов в условиях повышенной влажности и умеренно агрессивных сред.

Покрытие Ц6 – это цинковое защитное покрытие, наносимое электролитическим методом (гальваническим способом) на стальные детали. Цифра 6 в обозначении указывает на минимальную толщину слоя цинка – 6 мкм, что соответствует требованиям ГОСТ 9.307-89. Такое покрытие создаёт барьерный слой, предотвращающий прямой контакт металла с окружающей средой, а также обеспечивает электрохимическую защиту за счёт анодного эффекта цинка. После нанесения цинкового слоя покрытие Ц6 часто подвергают пассивации (хроматированию) для повышения коррозионной стойкости и улучшения декоративных свойств. В зависимости от типа обработки оно может иметь радужный, голубой или жёлтый оттенок.

Основным достоинством покрытия Ц6 является его высокая антикоррозионная стойкость, особенно в условиях атмосферной влажности. По сравнению с необработанной сталью, цинковый слой значительно замедляет процесс ржавления. Кроме того, технология нанесения Ц6

отличается относительной простотой и экономичностью, что делает её популярной в серийном производстве.

Ещё одним важным свойством является электрохимическая защита: даже при повреждении покрытия цинк, как более активный металл, будет окисляться первым, защищая стальную основу. Дополнительная обработка (лакирование, пассивация) позволяет расширить область применения деталей с покрытием Цб в различных эксплуатационных условиях.

Несмотря на свои преимущества, покрытие Цб имеет ряд ограничений. Оно не подходит для эксплуатации в сильнокислотных или щелочных средах, где цинк быстро разрушается. Кроме того, со временем на поверхности может образовываться «белая ржавчина» – продукты окисления цинка, что ухудшает внешний вид и снижает защитные свойства.

Ещё одним недостатком является ограниченная термостойкость – при температурах выше 200°С цинковый слой начинает деградировать, что делает такое покрытие непригодным для деталей, работающих в высокотемпературных условиях. Также при механических нагрузках (ударах, трении) возможно отслаивание покрытия, особенно если толщина слоя недостаточна.

Покрытие Цб – это эффективное и экономичное решение для защиты стальных деталей от коррозии в умеренных условиях эксплуатации. Оно обеспечивает хорошую долговечность и может быть дополнительно усилено пассивацией или лакированием. Однако при выборе данного покрытия необходимо учитывать его ограничения, особенно в агрессивных средах и при высоких температурах. Для деталей, работающих в экстремальных условиях, могут потребоваться более стойкие альтернативы, такие как химическое оксидирование или многослойные защитные покрытия.

## **1.2 Выбор заготовки**

### **1.2.1 Обоснование вида, способа получения и формы исходной заготовки**

Правильный выбор заготовки оказывает непосредственное влияние на возможность рационального построения технологического процесса изготовления, как отдельных деталей, так и машины в целом, способствует снижению удельной металлоёмкости машин и уменьшению отходов.

Первой заготовкой рассмотрим поковку. Поковка — это заготовка или готовое изделие, получаемое свободной ковкой или горячей объёмной штамповкой в кузнечно-штамповочном производстве, имеющее минимальные припуски на механическую обработку.

Такая поковка отличается высокой прочностью и качеством изготовления, а также позволяет снизить время механообработки.

Второй возможной заготовкой может выступать прокат. Прокат в металлургии – это вид специализируемой продукции, полученной путём прокатки металла на прокатных станах. Прокатывается металл на такой стадии его производства, как литье. В основном, данное мероприятие называют прокатом металла или прокатом металлургии.

Чтобы уменьшить затраты на материалы и стоимость производства, необходимо добиться высокого коэффициента использования материала (КИМ). Для данной детали в качестве заготовок можно выбрать поковку, либо трубу

### 1.2.2 Предварительное проектирование исходной заготовки

Припуск на механическую обработку включает основной, а также дополнительные припуски, учитывающие отклонения формы поковки.

Величины припусков следует назначать на одну сторону номинального размера поковки.

Допуски и допускаемые отклонения линейных размеров поволок назначаются в зависимости от исходного индекса и размеров поковки по (по ГОСТ 7505–89).

Построение 3д модели и чертежа поковки:

Создаю эскиз заготовки с учётом всех припусков к номинальным размерам. Эскиз строим без учёта сквозного отверстия и отверстий вне главной оси.

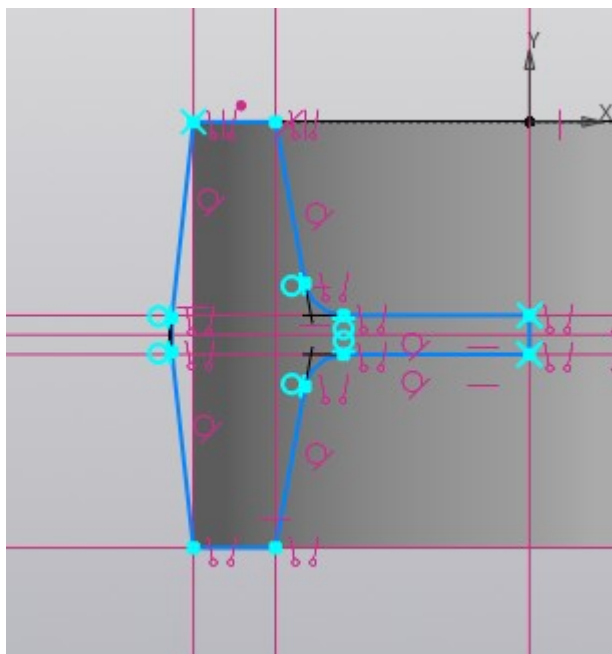


Рис. 9 Эскиз заготовки поковка

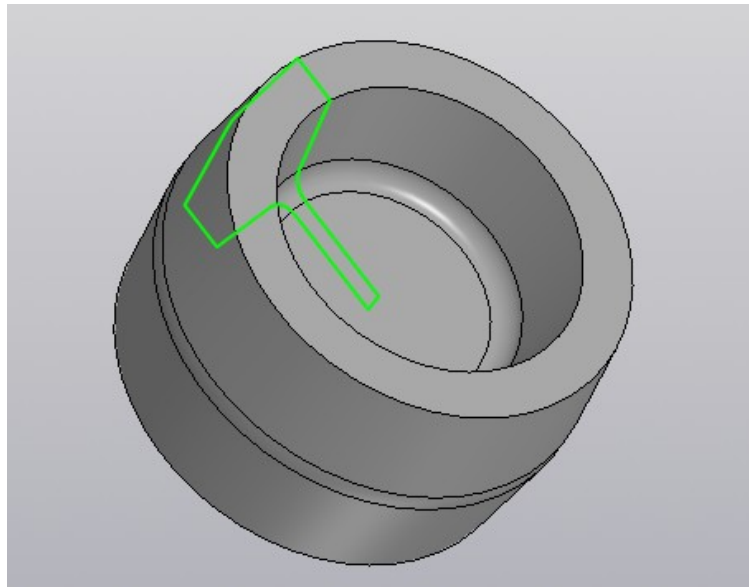


Рис. 10 3D модель заготовки поковка

Масса заготовки 9545.17 г

Масса готовой детали 5399.68 г

Расчёт коэффициента использования материала (КИМ):

$$\text{КИМ} = \frac{m_{\text{дет}}}{m_{\text{заг}}} = \frac{5399,68}{9545,17} = 0,57$$

Анализ заготовки – прокат (труба)

По ГОСТ 32528-2013 «Трубы стальные бесшовные горячедеформированные»

подбираем подходящие диаметры и определяем параметры заготовки.

Построим 3D модель заготовки прокат:

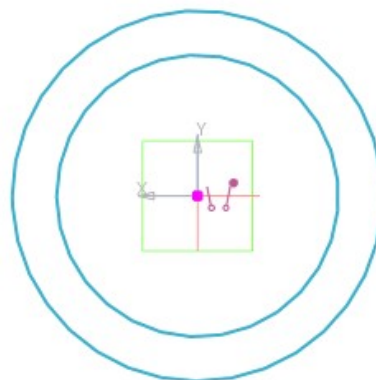


Рис. 11 Эскиз заготовки прокат (труба)

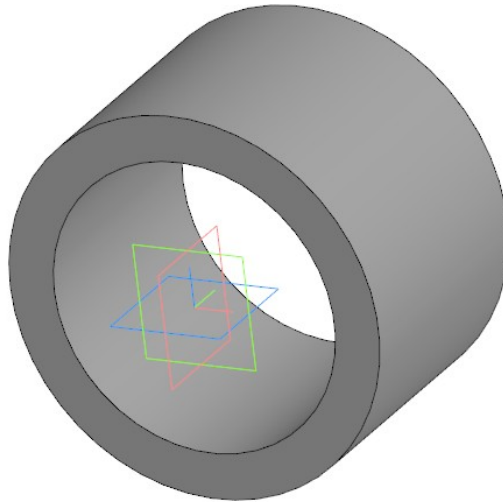


Рис. 12 3Д модель заготовки прокат (труба)

Масса заготовки(прокат)- 8023,38 г

Определив массу заготовки с помощью программы, найдем КИМ при использовании в качестве заготовки прокат:

$$КИМ = \frac{5399,68}{8023,38} = 0,67$$

Сравним КИМ, полученные при отливке и при прокате:

КИМ прокат > КИМ поковка

$$0,67 > 0,57$$

Так как КИМ при использовании проката больше, значит, целесообразно использовать в качестве заготовки – прокат. Это позволит сохранить большее количество материала и тем самым уменьшит итоговую стоимость детали.

## 1.3 Разработка плана технологического процесса механической обработки

### 1.3.1 Формирование укрупнённого плана технологического процесса.

Рассмотрим основные этапы механической обработки деталей:

1) Черновой этап – ~~данный этап обеспечивает удаление поверхностных дефектов с заготовки, уменьшает припуски на следующую обработку,~~ характеризуется высокой производительностью оборудования и невысокой точностью обработки.

2) Чистовой этап – обеспечивает минимальные припуски для окончательных операций, характеризуется более точным оборудованием.

3) Окончательный этап – на данном этапе обеспечивается требуемая точность и качество поверхностного слоя детали в соответствии с конструкторской документацией.

4) Отделочный этап – обеспечивает требуемое качество поверхностного слоя, которое невозможно достичь на окончательном этапе.

Укрупненный план технологического процесса представляет собой перечень этапов изготовления деталей, в состав которого входит маршрутное описание тех. процесса.

Таблица 5 Маршрутное описание технологического процесса

№ операции	Наименование и содержание операции	Оборудование
Оп. 000	Заготовительная	Отрезной станок
Оп.005	Термообработка	Печь и ванна для закалки
Оп.010	Токарная с чпу уст.А	Токарно-фрезерный станок с чпу
Оп.010	Токарная с чпу уст.Б	Токарно-фрезерный станок с чпу
Оп.015	Долбежная	Долбежный станок
Оп.020	Промывка	Моечная машина
Оп.025	Покрытие	Гальваническая ванна
Оп.030	Контроль	Контрольный стол

Оп.000 - Получение горячекатаной трубы и отрезка её в размер.

Оп.005 – Термическая обработка.

Оп.010 – Обработка торца детали и создание базы для последующей обработки.

Оп.010 - Обработка оставшихся внутренних цилиндрических поверхностей.

Оп.015 – Долбежная(создание зубчатого венца операцией долбление).

Оп.020 – Промывка детали от сож для лучшего нанесения покрытия

Оп.025 – Покрытие детали защитным слоем для избегания коррозии

Оп.030 – Контроль.

### 1.3.2 Установление последовательности обработки поверхностей, выбор измерительных и технологических баз

В Оп. 010 Уст. А заготовка устанавливается в 3-х кулачковый патрон. В качестве технологической базы на первом установе используем наружную поверхность заготовки с упором в необработанный торец. Таким образом, легче будет обработать оставшуюся часть и обеспечить нужную точность поверхности.

Затем в последующем установе заготовка устанавливается в патрон по наружной поверхности и производится обработка с другой стороны.

На долбежной операции деталь зажата в 3-х кулачковый патрон и имеет упор в обработанный ранее торец.

Технологической базой на всех этапах изготовления цанги являются поверхности правильной геометрической формы. И все поверхности обработаны относительно одной и той же поверхности, это позволяет минимизировать разброс и повысить точность обработки.

Получилось совместить измерительную и технологическую базы, что в дальнейшем даёт хорошую точность изготовления и отсутствия погрешности базирования.

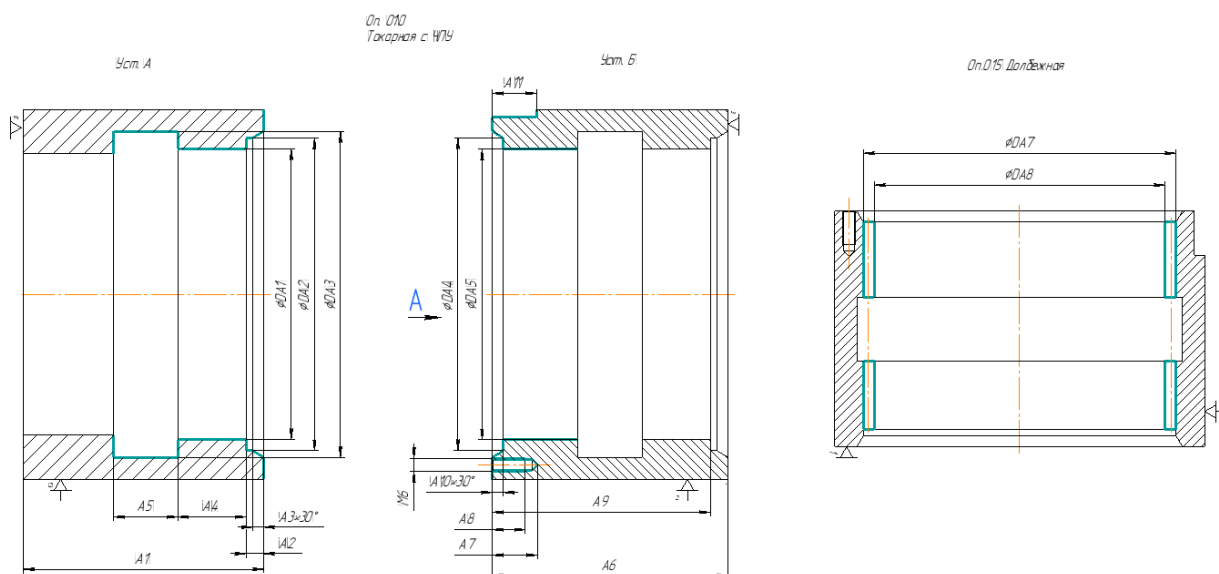


Рис. 13 Установка заготовки на различных операциях

### 1.3.3 Разработка и обоснование плана операций.

Исходя из ранее приведенной информации был составлен план операций для детали Полумуфта зубчатая, в котором есть следующее:

Заготовительная операция, содержащая следующее:

- 1) Вид заготовки (труба);
- 2) Шероховатость поверхности Ra 2.5;
- 3) Эскиз трубы.

Станочные операции – токарная с ЧПУ, Долбежная:

- 1) Среднеэкономическая точность и шероховатость обработки,
- 2) Совмещение измерительной и технологической баз;
- 3) Эскиз заготовки, полученной после обработки, с указанием технологических баз, лишаемых степеней свободы, «слепых» диаметральных и осевых размеров, обеспечиваемой точности формы и расположения и т.п.
- 4) Операция термической обработки (закалка);
- 5) Операция окончательного контроля, содержащая все размеры и шероховатости рабочего чертежа, необходимые при проверке.

### 1.4 Решение осевых и диаметральных размерных цепей

#### 1.4.1 Составление эскиза совмещённых переходов и осевых размерных цепей

После разработки плана обработки, необходимо рассчитать технологические размеры при обработке детали. Для этого составляем эскиз совмещённых переходов (ЭСП) на основе плана обработки. ЭСП необходим для составления размерных цепей.

ЭСП разрабатывается в порядке очередности выполнения операций, т.е. от заготовки к детали, начиная с первой заготовительной операции и заканчивая последней. Для построения ЭСП вначале составляется эскиз заготовки, проводя линии, определяющие её границы, и наносятся начальные условные размеры Н1 над эскизом заготовки. Далее в порядке выполнения плана технологической обработки проставляются операционные и конструкторские размеры и припуски. Затем проставляются конструкторские размеры, которые могут быть равными операционным и не являются операционными, т.е. они в ходе операций не выполняются, а получаются автоматически. В цепи должно быть только одно замыкающее звено.

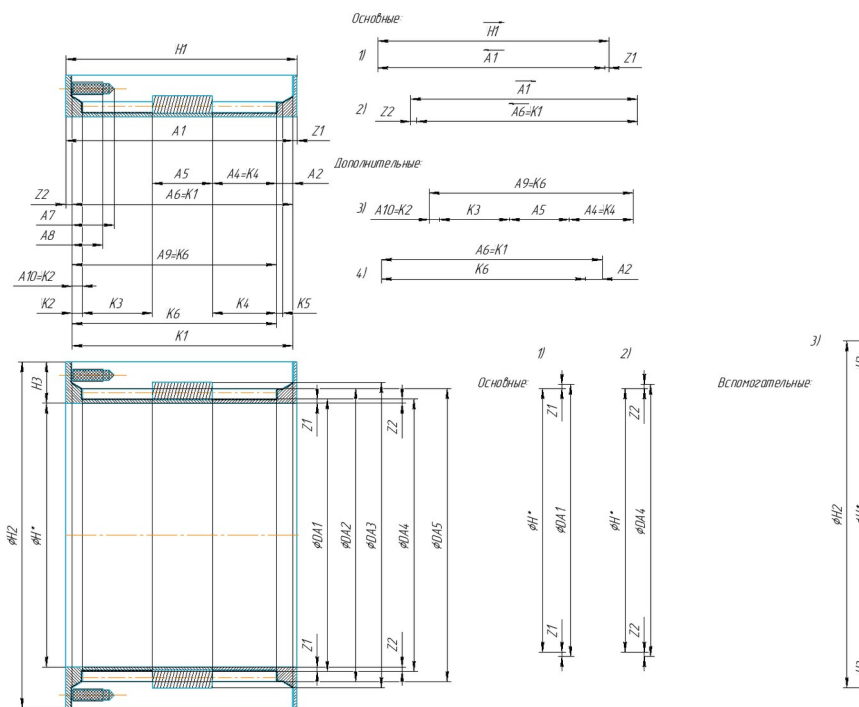


Рис. 14 Эскиз совмещённых переходов

После построения всех размерных цепей составляется таблица, в которой определяется порядок решения цепей, где расчёт начинается с последних цепей и заканчивается определением начальных размеров.

Таблица порядка решения осевых размерных цепей

№ Решения	№ Цепи	Замыкающее звено	Искомые параметры
1	4	К6	$A_2; T_{A_2}$
2	3	К3	$A_5; T_{A_5}$
3	2	Z2	$A_1; T_{A_1}$
4	1	Z1	$T_{H_1}$

Таблица порядка решения диаметральных размерных цепей

№ Решения	№ Цепи	Замыкающее звено	Искомые параметры
1	2	Z2	$T_{H^*}; H^*$
2	1	Z1	$T_{H^*}; H^*$
3	3	H*	$H_2; T_{H_2}; H_3; T_{H_3}$

Рис. 15 Последовательность решения размерных цепей

### 1.4.2 Методика расчёта размерных цепей

При решении размерных цепей используют два метода (вероятностный и максимум-минимум) и четыре способа решения технологических размерных цепей (способ отклонений, способ предельных значений, способ средних значений и способ координат средин полей допусков). Выбор метода максимума-минимума обычно считается целесообразным при наличии совокупности следующих факторов:

- 1) Невысокие требования к точности замыкающего звена;
- 2) Малое количество звеньев;
- 3) Изготовление детали в условиях единичного и мелкосерийного производства.

К подобным цепям относятся в первую очередь трёхзвенные цепи, замыкающим звеном которых является операционный припуск.

Решать такие цепи рекомендуется способом предельных значений, так как они решаются через минимальное значение операционного припуска. Также таким методом можно решать часть осевых трёхзвенных и четырёхзвенных цепей, замыкающим звеном которых являются:

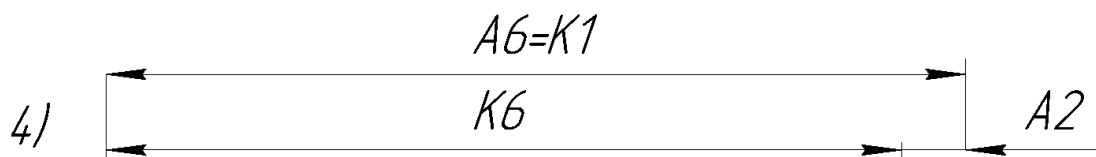
- 1) Размеры рабочего чертежа с общими допусками;
- 2) Глубина терм упрочнённого или наращённого слоя, заданная конструктором с точностью, сравнимой с общими допусками или грубее.

Эти цепи можно решать способом отклонений, способом координат средин полей допусков или способом средних значений в зависимости от способа задания размеров рабочего чертежа.

В остальных случаях рекомендуется применять вероятностный метод расчёта размерных цепей способом средних значения или координат средин полей допусков.

### 1.4.3 Расчёт осевых размерных цепей

- 1) Размерная цепь 4 (дополнительная).



Известно:

$K_6 = 99 \pm 0,3$  мм

$A_6 = K_1 = 107 \pm 0,3$  мм

Найти:  $T_{A_2}$ ,  $A_2$

Замыкающее звено –  $K_6$

Для расчёта используем вероятностный метод:

$$T_{\Sigma} \geq \sqrt{\sum T_i^2}; T_{K_6} \geq \sqrt{T_{A_6}^2 + T_{A_2}^2};$$

найдем значения допусков операционных размеров по способу равных допусков.

Т.к. неравенство не может быть выполнено ужесточим допуск  $A_6$  до IT 11 следовательно,  $T_{A_6} = 0,22$

Неравенство имеет вид:

$$0,6 \geq \sqrt{T_{A_2}^2 + 0,22^2};$$

$$T_{A_2} = \frac{\sqrt{T_{K_1}^2 - T_{A_6}^2}}{1} = \frac{\sqrt{0,6^2 - 0,22^2}}{1} = 0,55 \text{ мм};$$

$$T_{A_2} = 0,55 \text{ мм};$$

$0,6 \geq \sqrt{0,22^2 + 0,55^2}$  данное неравенство верно  $0,6 \geq 0,59$ .

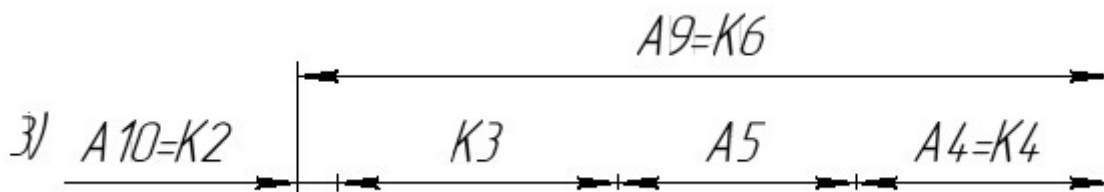
Найдём  $A_2$ :

$$A_2 = A_6 - K_6 = 107 - 99 = 8 \text{ мм}$$

Тогда, задавая допуск по симметричной схеме, получим:

$$A_2 = 8 \pm 0,3$$

2) Размерная цепь 3 (дополнительная).



Известно:

$$K_3 = 34_{-0,3} \text{ мм}$$

$$A_{10}=K_2=5\pm 0,1 \text{ мм}$$

$$A_9=K_6=99\pm 0,3 \text{ мм}$$

$$A_4=K_4=31_{-0,3} \text{ мм}$$

Найти:  $T_{A_5}$ ,  $A_5$

Замыкающее звено –  $K_3$

Для расчёта используем вероятностный метод:

$$T_{\Sigma} \geq \sqrt{\sum T_i^2}; T_{K_3} \geq \sqrt{T_{A_{10}}^2 + T_{A_9}^2 + T_{A_4}^2 + T_{A_5}^2};$$

найдем значения допусков операционных размеров по способу равных допусков.

Т.к. неравенство не может быть выполнено ужесточим допуск  $A_{10}$ ,  $A_9$   $A_4$  до IT 8

следовательно,  $T_{A_{10}}=0,018$ ;  $T_{A_9}=0,054$ ;  $T_{A_4}=0,039$

Неравенство имеет вид:

$$0,3 \geq \sqrt{T_{A_5}^2 + 0,018^2 + 0,054^2 + 0,039^2};$$

$$T_{A_5} = \frac{\sqrt{T_{K_3}^2 - T_{A_{10}}^2 - T_{A_9}^2 - T_{A_4}^2}}{1} = \frac{\sqrt{0,3^2 - 0,018^2 - 0,054^2 - 0,039^2}}{1} = 0,29 \text{ мм};$$

$$T_{A_2} = 0,29 \text{ мм};$$

$0,3 \geq \sqrt{0,29^2 + 0,018^2 + 0,054^2 + 0,039^2}$  данное неравенство верно  $0,3 \geq 0,29$ .

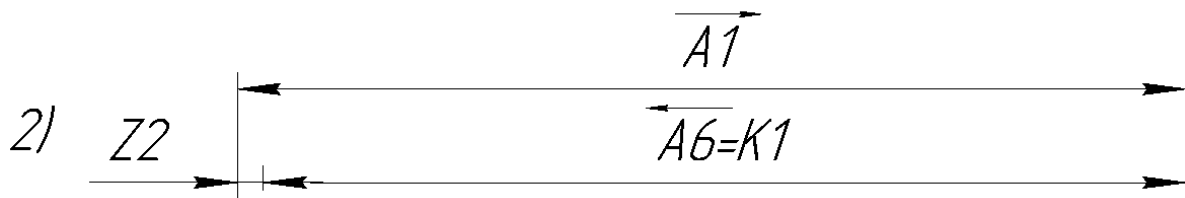
Найдём  $A_5$ :

$$A_5 = A_9 - K_3 - A_{10} - A_4 = 99 - 34 - 5 - 31 = 29 \text{ мм}$$

Тогда, задавая допуск по симметричной схеме, получим:

$$A_5 = 29 \pm 0,15$$

3) Размерная цепь 2



Известно:

$A_6=K_1=107\pm 0,3$  мм

Замыкающее звено – Z2.

Найти: A1.

Используем вероятностный метод.

Найдём максимальный припуск.

$$Z_{max} = Z_{min} + \sqrt{\sum T_i^2}$$

$$Z_{2max} = Z_{2min} + \sqrt{T_{A_6}^2 + T_{A_1}^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений.

т.к. по  $\sum \overrightarrow{A_i} - \sum \overleftarrow{A_i}$  симметричной схеме  $A_{i\text{ср}} = A_i$ , задания допусков на размер;

Допуск на размер A1 примем по IT9

$$TA_1 = 0,087 \text{ мм}$$

$Z_{2min}$  примем по ОСТ1.41512-86,  $Z_{2min} = 1$  мм

$$Z_{2max} = 1 + \sqrt{0,087^2 + 0,6^2} = 1,6 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$Z_{2\text{ср}} = \frac{Z_{2max} - Z_{2min}}{2} = \frac{1,6 + 1}{2} = 1,3 \text{ мм}$$

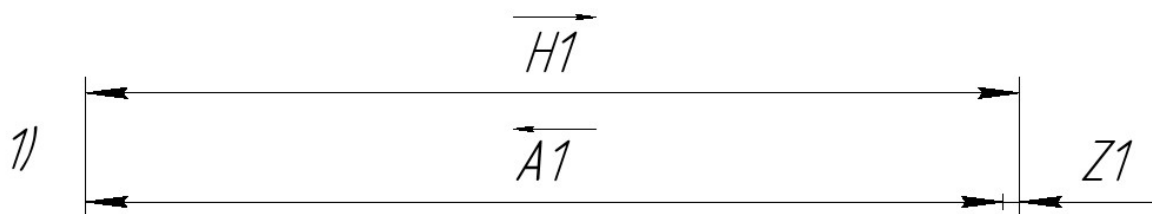
Решим размерную цепь способом средних значений.

$A_{\Sigma\text{ср}} = i \sum \overrightarrow{A_i} - \sum \overleftarrow{A_i}$  т.к. по симметричной схеме  $A_{i\text{ср}} = A_i$ , задания допусков на размер;

Следовательно, получим:

$$A_1 = Z_2 + A_6 = 1,3 + 107 = 108,3 \text{ мм.} \quad A_1 = 108,3^{+0,087} \text{ мм.}$$

4) Размерная цепь 1



Известно:

$$A_1 = 108,3^{+0,087} \text{ мм}$$

Замыкающее звено –  $Z_1$ .

Найти:  $H_1$ .

Используем вероятностный метод.

Найдём максимальный припуск.

$$Z_{\max} = Z_{\min} + \sqrt{\sum T_i^2}$$

$$Z_{1\max} = Z_{1\min} + \sqrt{T_{A_1}^2 + T_{H_1}^2}$$

Решим размерную цепь способом средних значений.

т.к. по  $\sum \overline{A_i} - \sum \overline{A_i}$  симметричной схеме  $A_i^{\text{ср}} = A_i$ , задания допусков на размер;

Допуск на размер  $H_1$  примем по IT13  $T_{H_1} = 0,54$  мм

$Z_{1\min}$  примем по ОСТ1.41512-86,  $Z_{1\min} = 1$  мм

$$Z_{1\max} = 1 + \sqrt{0,087^2 + 0,54^2} = 1,54 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$Z_{1\text{ср}} = \frac{Z_{1\max} - Z_{1\min}}{2} = \frac{1,54 - 1}{2} = 0,27 \text{ мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений.

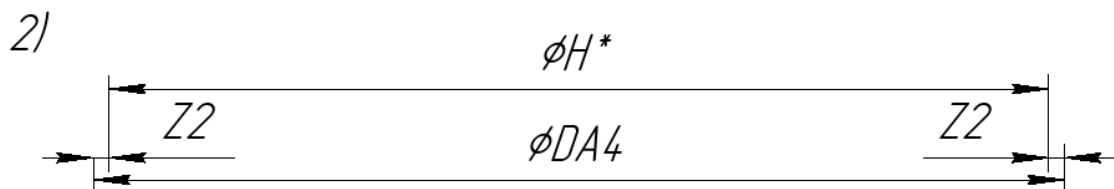
$A_{\Sigma cr} = i \sum \vec{A}_i - \sum \vec{A}_i$  т.к. по симметричной схеме  $A_{i cr} = A_i$ , задания допусков на размер;

Следовательно, получим:

$$H1 = Z1 + A1 = 1,27 + 108,3 = 109,57 \text{ мм.} \quad H1 = 109,57 \pm 0,27 \text{ мм.}$$

#### 1.4.4 Расчёт диаметральных размерных цепей

1) Размерная цепь 2



Известно:  $D4 = 132 H9(i^{+0,08})i$

$Z2$  – замыкающее звено

Найти:  $H^*$

Используем вероятностный метод.

Найдём максимальный припуск.

$$Z_{max} = Z_{min} + \sqrt{\sum T_i^2}$$

$$Z_{2max} = Z_{2min} + \sqrt{T_{D4}^2 + T_{H^*i^2}}$$

Допуск на размер  $H^*$  примем по IT14  $T_{H^*i} = 1 \text{ мм } i$

$Z_{2min}$  примем по ОСТ1.41512-86,  $Z_{2min} = 1,5 \text{ мм}$

$$Z_{2max} = 1,5 + \sqrt{0,08^2 + 1^2} = 2,5 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{cp} = \frac{z_{max} + z_{min}}{2} = \frac{2.5 + 1.5}{2} = 2 \text{ мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений.

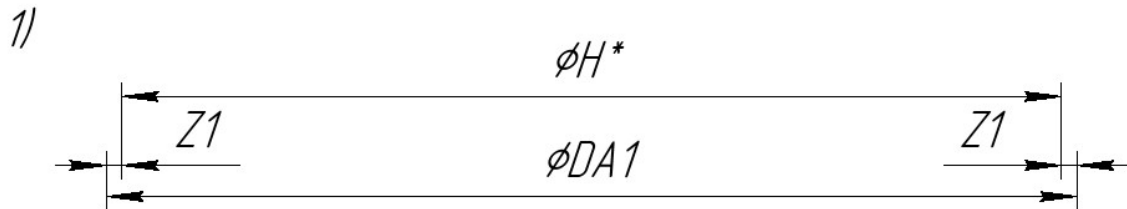
$A_{\Sigma cp} = \overset{\cdot}{i} \sum \overline{A}_i - \sum \overline{A}_i$  т.к. по симметричной схеме  $A_{i cp} = A_i$ , задания

допусков на размер;

Следовательно, получим:

$$H^i = D_4 - Z_2 * 2 = 132 - 2 * 2 = 128 \text{ мм} \quad H^* = 128 \pm 0,5 \text{ мм.}$$

2) Размерная цепь 1



Известно:  $D_1 = 132 H9 (\overset{\cdot}{i}^{+0,08}) \overset{\cdot}{i}$

$Z_1$  – замыкающее звено

Найти:  $H^*$

Используем вероятностный метод.

Найдём максимальный припуск.

$$Z_{max} = Z_{min} + \sqrt{\sum T_i^2}$$

$$Z_{1max} = Z_{2min} + \sqrt{T_{D1}^2 + T_{H^* \overset{\cdot}{i}}^2}$$

Допуск на размер  $H^*$  примем по IT14  $T_{H^* \overset{\cdot}{i}} = 1,1 \text{ мм} \overset{\cdot}{i}$

$Z_{1min}$  примем по ОСТ1.41512-86,  $Z_{1min} = 1,5 \text{ мм}$

$$Z_{1max} = 1,5 + \sqrt{0,08^2 + 1^2} = 2,5 \text{ мм}$$

Рассчитаем средний припуск:

$$z_{cp} = \frac{z_{max} + z_{min}}{2} = \frac{2.5 + 1.5}{2} = 2 \text{ мм}$$

Решим размерную цепь способом средних значений.

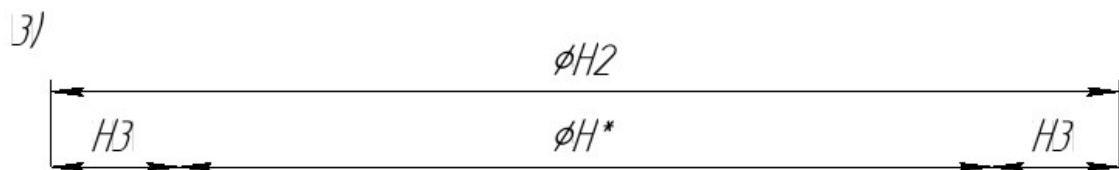
$$A_{\Sigma cp} = \sum \vec{A}_i - \sum \overleftarrow{A}_i \quad \text{т.к. по симметричной схеме } A_{i\text{ср}} = A_i, \text{ задания}$$

допусков на размер;

Следовательно, получим:

$$N^i = D1 - Z1 * 2 = 132 - 2 * 2 = 128 \text{ мм} \quad N^* = 128 \pm 0,5 \text{ мм.}$$

3) Размерная цепь 3 (дополнительная)



Известно:  $N^* = 128 \pm 0,5 \text{ мм.}$

$N2 = 168 \text{ мм.}$

$N^*$  – замыкающее звено

Найти:  $N3$

Допуск на размер  $N2$  примем по ГОСТ 32528-2013  $\rightarrow \pm 1,0\%$  от заявленного диаметра трубы  $\rightarrow TN2 = 168 * 0,01 = 1,68 \text{ мм}$

Допуск на размер  $N3$  примем по ГОСТ 32528-2013  $\rightarrow \pm 12,5\%$  от заявленной толщины стенки трубы  $\rightarrow TN3 = 20,1 * 0,125 = 2,5 \text{ мм}$

Найдём номинальный размер  $N3$ :

$$N3 = (N2 - N^*) / 2 = (168 - 128) / 2 = 20 \pm 1,25 \text{ мм.}$$

Таким образом, на основе разработанного ЭСП и составленных размерных цепей были определены все необходимые технологические размеры, обеспечивающие достижение заданных конструкторских параметров детали.

Расчет размерных цепей позволил установить оптимальные значения операционных припусков и промежуточных размеров, гарантирующих точность изготовления детали в соответствии с техническими требованиями. Результаты расчетов подтверждают корректность выбранного плана

обработки и позволяют перейти к следующему этапу проектирования технологического процесса.

### 1.5 Выбор технологического оборудования

В качестве основного металлорежущего оборудования на операцию выбран токарный обрабатывающий центр с ЧПУ АТТА Н2А-500S2R2. Данный станок предназначен для комплексной обработки сложных деталей из различных конструкционных материалов в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производства. Ниже приведены фото и основные характеристики.



Рис. 16 Обрабатывающий центр с ЧПУ АТТА Н2А-500S2R2

Таблица 6 Характеристики обрабатывающего центра

Производитель	АТТА
Макс. диаметр обработки над станиной, мм	550
Точность позиционирования, мм	$\pm 0,003$
Макс. диаметр сквозного отверстия, мм	51 / 45
Мощность шпинделя, кВт	7,5 / 11
Макс. скорость вращения, об/мин	4000
Ход по оси Y, мм	$\pm 50$
Торец шпинделя	A2-6
Торец протившпинделя	A2-5

Размер патрона протившпинделя, дюйм	8
Ход по осям X1/X2, мм	490 / 380
Диаметр и шаг винта по осям X/Z/Y, мм	32/10
Макс. длина обработки прутка, мм	380
Патрон, дюйм	8
Повторяемость по осям, мм	±0,003
Револьверная головка с сервоприводом	BMT45 / 15
Серводвигатель револьверной головки, Нм	3
Серводвигателя по оси Y, Нм	11
Скорость быстрых перемещений, м/мин	30
Фрезерная головка 90° (1шт.)	ER32 / 4000
Диаметр отверстия шпинделя, мм	72
Диаметр отверстия протившпинделя, мм	56
Мощность протившпинделя, кВт	11
Общая мощность, кВт	45
Размер расточного инструмента	Ø25
Размер инструмента, мм	20x20
Макс. скорость шпинделя, мин <sup>-1</sup>	4000 - 6000
Серводвигатель по оси Z1 / Z2 / Z3, Нм	15 / 15 / 15
Серводвигатель по оси X1 / X2, Нм	15 / 11
Ширина линейной направляющей X/Z/Y, мм	35
Расстояние между шпинделями, мм	0 - 550
Ход по осям Z1 / Z2 / Z3, мм	600 / 600 / 580
Макс. диаметр обрабатываемых дисков (X1/X2), мм	400 / 300
Вес, кг	7500
Длина	3000 мм
Ширина	2700 мм
Высота	2450 мм

## 1.6 Выбор средств технологического оснащения операций

### 1.6.1 Выбор режущего инструмента

С учётом сформированного плана механической обработки, конструкторскими и технологическими особенностями детали и предъявляемой к ней точности и качества поверхностного слоя были подобраны инструменты согласно обрабатываемым поверхностям на эскизе наладки.

Таблица 7 Режущий инструмент

Операция	Переход	Вспомогательный инструмент	Режущий инструмент	ПИ
010.A	Точить внутреннюю поверхность, выдерживая размеры 2, 3, 5, 6, 7	Державка расточная S25R-SDUCL11	Пластина: DCMT11T308-MM IM7315	1
	Точить внутреннюю поверхность, выдерживая размеры 2, 3, 5, 6, 7	Державка расточная S25R-SDUCL11	Пластина: DCMT11T308-MM IM7315	1
	Точить канавку, выдерживая размеры 1, 4	Державка канавочная MGIVL 2520-3	Пластина: MGMN300 M LF9018	3
Операция	Переход	Вспомогательный инструмент	Режущий инструмент	ПИ
010.B	Точить внутреннюю поверхность, выдерживая размеры 9 и 10	Державка расточная S25R-SDUCR11	Пластина: DCMT11T308-MM IM7315	5
	Точить внутреннюю поверхность, выдерживая размеры 9 и 10	Державка расточная S25R-SDUCR11	Пластина: DCMT11T308-MM IM7315	5
	Фрезеровать шестигранник, выдерживая размеры 11, 12	Цанговый патрон NT30-ER32-50 Цанга 932ERP10	Фреза концевая: G1-4FS-1000-M45	2
	Сверлить отверстия, выдерживая размеры 13	Цанговый патрон NT30-ER32-50 Цанга 951.32050P	Сверло: RT100U Guhring 5511	4
	Нарезать резьбу, выдерживая размеры 14, 15	Цанговый патрон NT30-ER32-50 Цанга 932ERP055	Метчик машинный: Hv42m6v	6

--	--	--	--	--

### 1.6.2 Выбор технологической оснастки

На Оп 010 «Токарная с ЧПУ» применяем Гидравлический силовой 3-х кулачковый патрон



Рис. 17 Патрон гидравлический-автоматический

Для операции долбежная будем использовать обычный трехкулачковый патрон установленный на столе долбежного станка без возможности вращения.

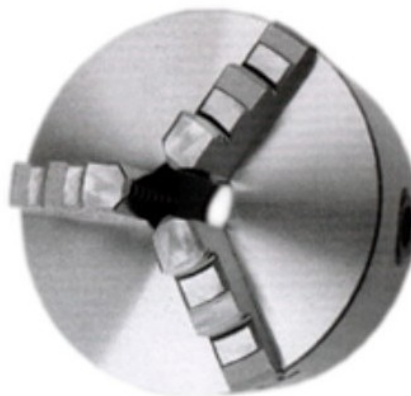


Рис. 18 Патрон гидравлический-автоматический

### 1.6.3 Выбор контрольно-измерительных средств

Для контроля параметров детали будут использованы следующие средства измерений:

- Штангенциркуль;
- Система измерительная для контроля тел вращения;
- USB Профилограф-профилометр;
- Прибор для контроля угла и резьбы.

## 1.7 Расчёт режимов резания и норм времени

В рамках дипломного проекта были назначены режимы резания для всех операций механической обработки. При выборе параметров (скорость резания, подача, глубина резания) использовались рекомендации с сайта TungGuide от Sandvik, что обеспечивает оптимальную производительность и стойкость инструмента.

Данный подход позволяет достичь высокой точности обработки, минимизировать износ режущего инструмента и повысить эффективность технологического процесса.

ТОКАРНАЯ ОБРАБОТКА ТОЛЬКО ВНУТРЕННЯЯ, ПРОДОЛЬНАЯ/С...

ДАННЫЕ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ... РЕЖУЩИЕ ДАННЫЕ ПОДРОБНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О Д... ИЗМЕНЕНИЕ ДАННЫХ РЕЗКИ ИЗМЕНЕНИЕ NOR ВЫБРОСЫ СО2 НОВОЕ

ПРОЙТИ РЕЖУЩИЙ ПРОХОД

АП [мм] ГЛУБИНА РЕЗАНИЯ	ВК [ММИН] СКОРОСТЬ РЕЗКИ
1.05	80.5
1.05	80.5

LEGENDA

- 1 Предварительная обработка

Краткий обзор 107

A25T-SVUBR 16-D Инструмент

VBMT 16 04 08-UM S205 Вставить

сцепление Цилиндрический хвостовик с 3 плоск...

охлаждение

- Внутренний
- Эмульсия 10%

Внутренняя цилиндрическая поверхность в симметричном вращающемся компоненте

S S2.0.Z.AG 350 HB

Токарный станок 03 — средний (патрон 6-12 дюймов) 25 кВт, 4000 об/мин

N [1/МИН] СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ ШПИНДЕЛЯ	FN [ММ] ПОДАЧА НА ОБОРОТ	PPC [КВТ] МОЩНОСТЬ РЕЗАНИЯ
197	0.25	1.67
194	0.25	1.67

ММС [НМ] КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ ПРИ РЕЗАНИИ	ТСС [МИНС] ВРЕМЯ РЕЗКИ ЗА ПРОХОД	ТНК [С] ВРЕМЯ БЕЗ СОКРАЩЕНИЙ МЕЖДУ ПРОХОДАМИ
80.6	1.01	0.217
81.9	1.02	0.217

LEGENDA

- 1 Предварительная обработка

Рис. 19 Выбор режимов резания

КАНАВКИ ВНУТРЕННИЕ / ИНДЕКСИРУЕМЫЕ



ЛЕГЕНДА

- 1 Многократное нарезание канавок, первичный проход
- 2 Многократная нарезка канавок, вторичный проход

Короткая вырезка 2

	C2R-CF40-RK11GB Инструмент		
	C2I-K2N-0600-0002-GF1205 Вставить		

сцепление  
Цилиндрический хвостовик с 3 плоск...  
охлаждение  
■ Внутренний  
▲ Эмульсия 10%

Внутренняя канавка

S2.0.Z.AG 350 NB

Токарный станок 03 — средний (патрон 6-12 дюймов)  
● 25 кВт, 4000 об/мин

ДАННЫЕ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ... РЕЖУЩИЕ ДАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЕ ДАННЫХ РЕЗКИ  
СТРАТЕГИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБ... ВЫБРОСЫ СО2 **НОВОЕ**



NORAP	АП [мм]	ВК [М/МИН]
КОЛИЧЕСТВО ПРОХОДОВ В НАПРАВЛЕНИИ АР	ГЛУБИНА РЕЗАНИЯ	СКОРОСТЬ РЕЗКИ
1 3	6	96.9
2 2	5.5	96.9

FN [мм]	ОБ / МИН	RPMX [1/МИН]
ПОДАЧА НА ОБОРОТ	МИНИМАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ	МАКСИМАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ
1 0.12	208	234
2 0.18	208	234

RPC [кВт]	ШЕСТНАДЦАТЕРИЧНЫЙ [мм]	ТССТ [с]
МОЩНОСТЬ РЕЗАНИЯ	МАКСИМАЛЬНАЯ ТОЛЩИНА СТРУЖКИ	ОБЩЕЕ ВРЕМЯ РЕЗКИ
1 6.29	0.12	54.3
2 7.79	0.12	24.1

ТНКТ [с]	ТЛИФЕТ [МИН]	ТЛИФЕСКЛ [м]
ОБЩЕЕ ВРЕМЯ БЕЗ РЕЗКИ	СРОК СЛУЖБЫ ИНСТРУМЕНТА	СРОК СЛУЖБЫ ИНСТРУМЕНТА ДЛИНА СПИРАЛЬНОЙ
1 0.353	15	1453.27
2 0.181	15	1453.27

Рис. 20 Выбор режимов резания

ТОКАРНАЯ ОБРАБОТКА ТОЛЬКО ВНУТРЕННЯЯ, ПРОДОЛЬНАЯ / С...



ЛЕГЕНДА

- 1 Предварительная обработка

Краткий обзор 107

	A25T-SVUBR 16-D Инструмент		
	VBMT 16 04 08-UM S205 Вставить		

сцепление  
Цилиндрический хвостовик с 3 плоск...  
охлаждение  
■ Внутренний  
▲ Эмульсия 10%

Внутренняя цилиндрическая поверхность в симметричном вращающемся компоненте

S2.0.Z.AG 350 NB

Токарный станок 03 — средний (патрон 6-12 дюймов)  
● 25 кВт, 4000 об/мин

ДАННЫЕ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ... РЕЖУЩИЕ ДАННЫЕ ПОДРОБНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О Д...  
ИЗМЕНЕНИЕ ДАННЫХ РЕЗКИ ИЗМЕНЕНИЕ NOR ВЫБРОСЫ СО2 **НОВОЕ**



ПРОЙТИ	АП [мм]	ВК [М/МИН]
РЕЖУЩИЙ ПРОХОД	ГЛУБИНА РЕЗАНИЯ	СКОРОСТЬ РЕЗКИ
1 1	1.05	80.5
1 2	1.05	80.5

N [1/МИН]	FN [мм]	RPC [кВт]
СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ ШПИНДЕЛЯ	ПОДАЧА НА ОБОРОТ	МОЩНОСТЬ РЕЗАНИЯ
1 197	0.25	1.67
1 194	0.25	1.67

ММС [НМ]	ТСС [МИНС]	ТНК [с]
КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ ПРИ РЕЗАНИИ	ВРЕМЯ РЕЗКИ ЗА ПРОХОД	ВРЕМЯ БЕЗ СОКРАЩЕНИЙ МЕЖДУ ПРОХОДАМИ
1 80.6	1.01	0.217
1 81.9	1.02	0.217

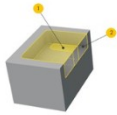
  

ЛЕГЕНДА

- 1 Предварительная обработка

Рис. 21 Выбор режимов резания

ФРЕЗЕРОВАНИЕ ПАЗОВ  
КОНЦЕВОЙ ФРЕЗОЙ /  
СПЛОШНОЕ



ЛЕГЕНДА

- 1 Предварительная обработка, 1-й разрез
- 2 Предварительная обработка, следующие разрезы

CoroMill Plura ( КороМилл Плурэ )

2P440-1000-SD 1725  
Инструмент

сцепление  
Weldon (DIN1835-B / DIN6535-NB) — м...

охлаждение

- Внешний
- Эмульсия 10%

Прямой паз с одним открытым концом

S S2.0.Z.AG 350 NB

Универсальный обрабатывающий центр  
ϕ 28 кВт 18000 об/мин

ДАННЫЕ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ...

ИЗГИБ ВЫБРОСЫСО2 **НОВОЕ**

ВК [мм/мин] СКОРОСТЬ РЕЗКИ	ФЭ [мм] ПОДАЧА НА ЗУБ	N [1/мин] СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ ШПИНДЕЛЯ
1 19.9	0.0173	634
2 26.3	0.0173	836

VFM [мм/мин] СКОРОСТЬ ПОДАЧИ ПРИ ОБРАБАТЫВАЕМОМ ДИАМЕТРЕ	АЭ [мм] РАВНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ	АП [мм] ГЛУБИНА РЕЗАНИЯ
1 43.9	10	6.67
2 57.9	5	6.67

НОПАЕ КОЛИЧЕСТВО ПРОХОДОВ В НАПРАВЛЕНИИ АЭ	НОРАР КОЛИЧЕСТВО ПРОХОДОВ В НАПРАВЛЕНИИ АР	РРС [кВт] МОЩНОСТЬ РЕЗАНИЯ
1 1	3	0.261
2 1	3	0.172

ММС [Нм] КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ ПРИ РЕЗАНИИ	ШЕСТНАДЦАТЕРИУЧНЫЙ [мм] МАКСИМАЛЬНАЯ ТОЛЩИНА СТРУЖКИ	QQ [см³/мин] СКОРОСТЬ УДАЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА
1 3.94	0.0173	2.93
2 1.97	0.0173	1.93

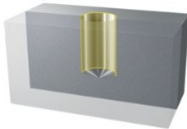
  

ЛЕГЕНДА

- 1 Предварительная обработка, 1-й разрез
- 2 Предварительная обработка, следующие разрезы

Рис. 22 Выбор режимов резания

СВЕРЛЕНИЕ СИММЕТРИЧНЫМ  
ОСТРИЕМ / СПЛОШНОЕ



ЛЕГЕНДА

- 1 Сверление симметричным концом

КороДриль 860

860.1-0500-025A1-SD  
S2BM  
Инструмент

сцепление  
Цилиндрический хвостовик (DIN1835-...

охлаждение

- Внутренний
- Эмульсия 10%

Цилиндрическое отверстие в  
твердом материале

S S2.0.Z.AG 350 NB

Универсальная  
высокопроизводительная машина  
200 кВт 10000 1/мин  
ϕ 200 кВт 500000 1/мин

ДАННЫЕ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ...

ВЫБРОСЫСО2 **НОВОЕ**

ВК [мм/мин] СКОРОСТЬ РЕЗКИ	FN [мм] ПОДАЧА НА ОБОРОТ	N [1/мин] СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ ШПИНДЕЛЯ
1 31.3	0.138	1990

ВФ [мм/мин] СКОРОСТЬ ПОДАЧИ В ЦЕНТРЕ ИНСТРУМЕНТА	РРС [кВт] МОЩНОСТЬ РЕЗАНИЯ	ММС [Нм] КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ ПРИ РЕЗАНИИ
1 275	0.655	3.14

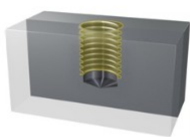
ФФФ [N] УСИЛИЕ ПОДАЧИ	ГЛУБИНА [мм] ОБЩИЙ ПАРАМЕТР ГЛУБИНЫ
1 985	20

ЛЕГЕНДА

- 1 Сверление симметричным концом

Рис. 23 Выбор режимов резания



## ЛЕГЕНДА

1 Нарезание резьбы метчиком

КороTap 300

T300-SD150JA-M6 D150  
Инструментсцепление  
Метрическая резьба JIS: 6,00 x 4,50  
охлаждение  
Внешний  
Эмульсия 10%

Резьба в глухом отверстии

S S2.0.Z.AG 350 HB

Универсальная  
высокопроизводительная машина  
200 кВт: 10000 1/мин  
200 кВт: 500000 1/мин

ОТВЕРСТИЕ В СЕРДЕЧНИКЕ

ВЫБРОСЫ СО2

НОВОЕ

VK [м/мин]  
СКОРОСТЬ РЕЗКИ

1 2.57

FN [мм]  
ПОДАЧА НА ОБОРОТ

1

N [1/мин]  
СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ ШПИНДЕЛЯ

136

PPC [кВт]  
МОЩНОСТЬ РЕЗАНИЯ

1 0.124

MMC [Нм]  
КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ ПРИ РЕЗАНИИ

8.67

## ЛЕГЕНДА

1 Нарезание резьбы метчиком

Рис. 24 Выбор режимов резания

Итоговые режимы резания для всех операций и поверхностей, выполняемых на ЧПУ станке согласно эскизу наладки, приведены в таблице

Таблица 8 Режимы резания

Операция	Переход	ПИ	D или V, мм	t, мм	S, мм/об	n, об/мин	V, м/мин
010.A	Точить внутреннюю поверхность, выдерживая размеры 2, 3, 5, 6, 7	1	68	1,05	0,25	1000	80,5
	Точить внутреннюю поверхность, выдерживая размеры 2, 3, 5, 6, 7	1	68	0,5	0,25	1500	80,5
	Точить канавку, выдерживая размеры 1, 4	3	29	8	0,18	1000	96,9
010.B	Точить внутреннюю поверхность, выдерживая размеры 9 и 10	5	42	1,05	0,25	1000	80,5
	Точить внутреннюю поверхность, выдерживая	5	42	0,5	0,25	1500	80,5

размеры 9 и 10							
Фрезеровать шестигранник, выдерживая размеры 11, 12	2	155	6,6	0,25	840	26,3	
Сверлить отверстия, выдерживая размеры 13	4	20,5	20	0,138	1500	31,3	
Нарезать резьбу, выдерживая размеры 14, 15	6	15	15	1	136	2,57	

### **1.8 Разработка технологического процесса обработки детали**

С помощью программы автоматизированного проектирования технологических процессов «Вертикаль» подготовим и сформируем комплект технологической документации согласно плану обработки.

В технологическом процессе на изготовление детали содержится комплексная информация, регламентирующая весь цикл производства от выбора заготовки до финишного контроля готового изделия.

Основная часть технологического процесса детально описывает последовательность производственных операций. На первом этапе рассматриваются заготовительные работы, где указывается способ получения исходной заготовки.

Документ подробно освещает этапы механической обработки, где каждая операция сопровождается указанием используемого оборудования, режущего инструмента, технологических режимов (скорости резания, подачи, глубины обработки) и методов промежуточного контроля

При необходимости в технологический процесс включается раздел термической обработки, где расписываются виды термообработки (закалка).

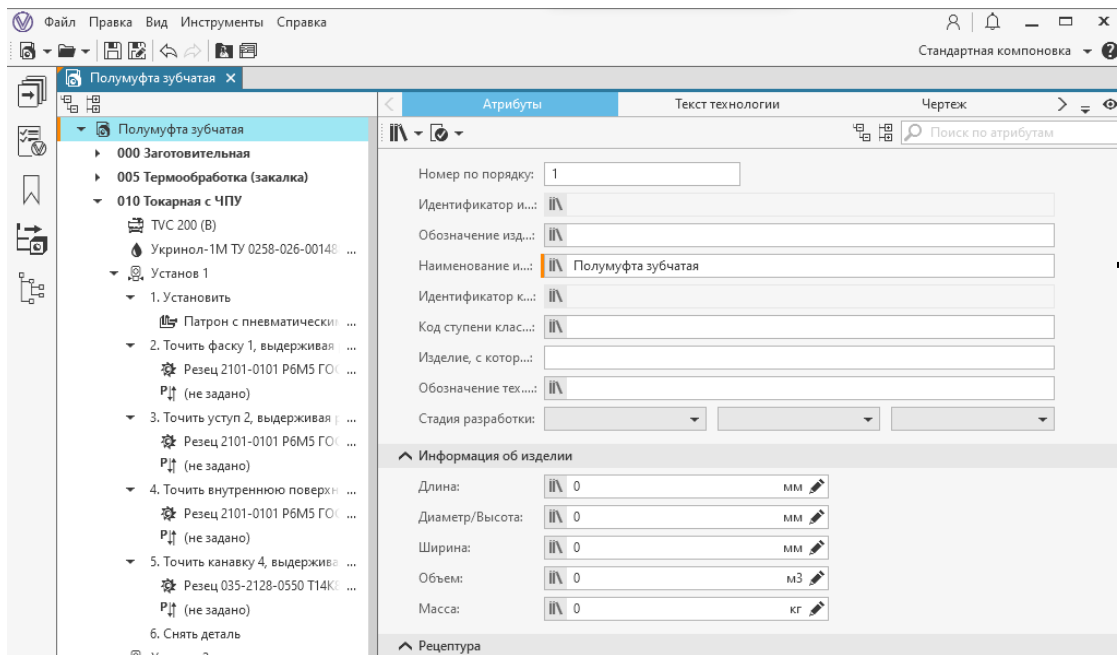


Рис. 25 Создание атрибутов технологического процесса

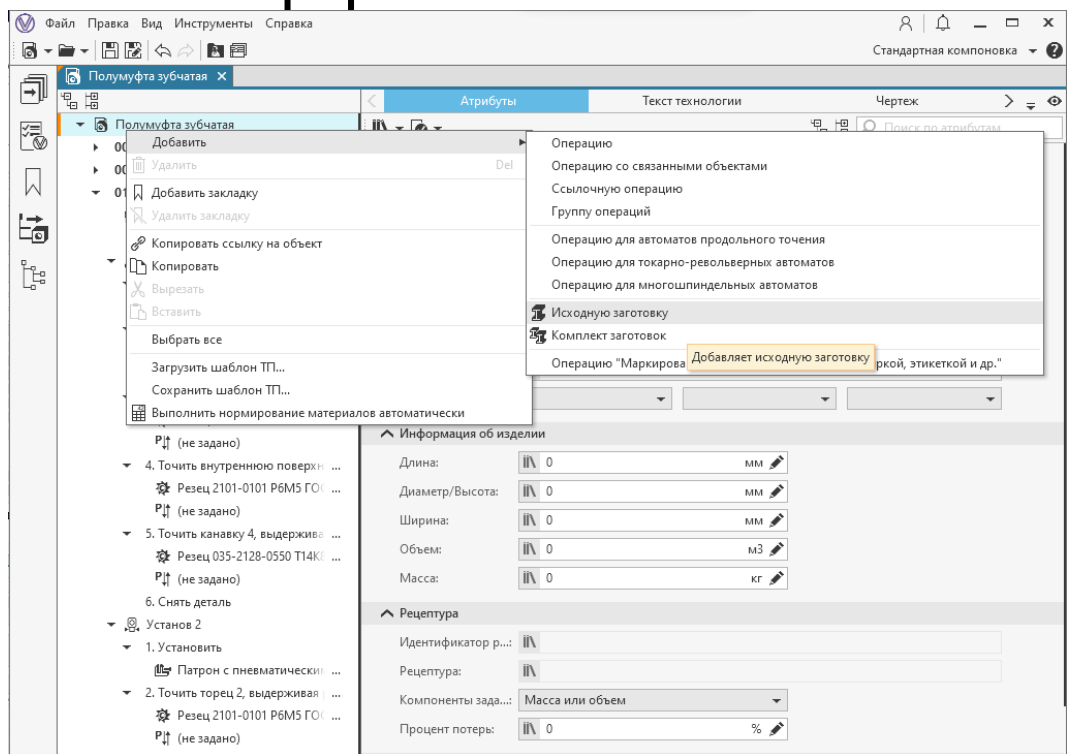


Рис. 26 Добавление заготовки

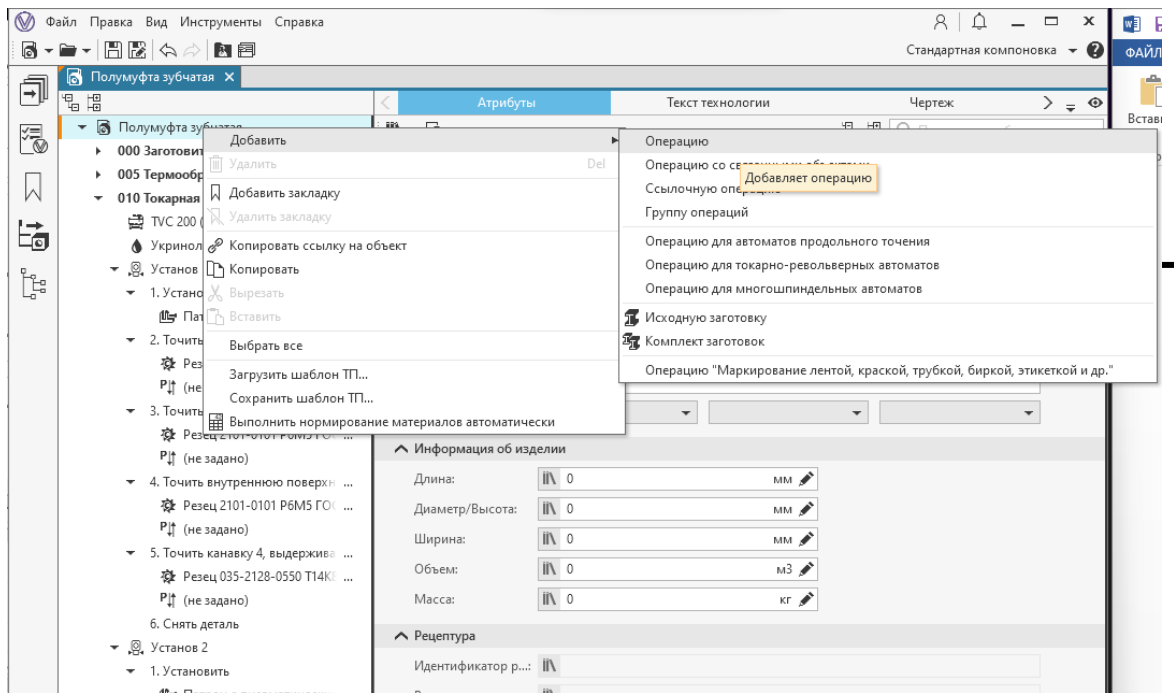


Рис. 27 Добавление операции

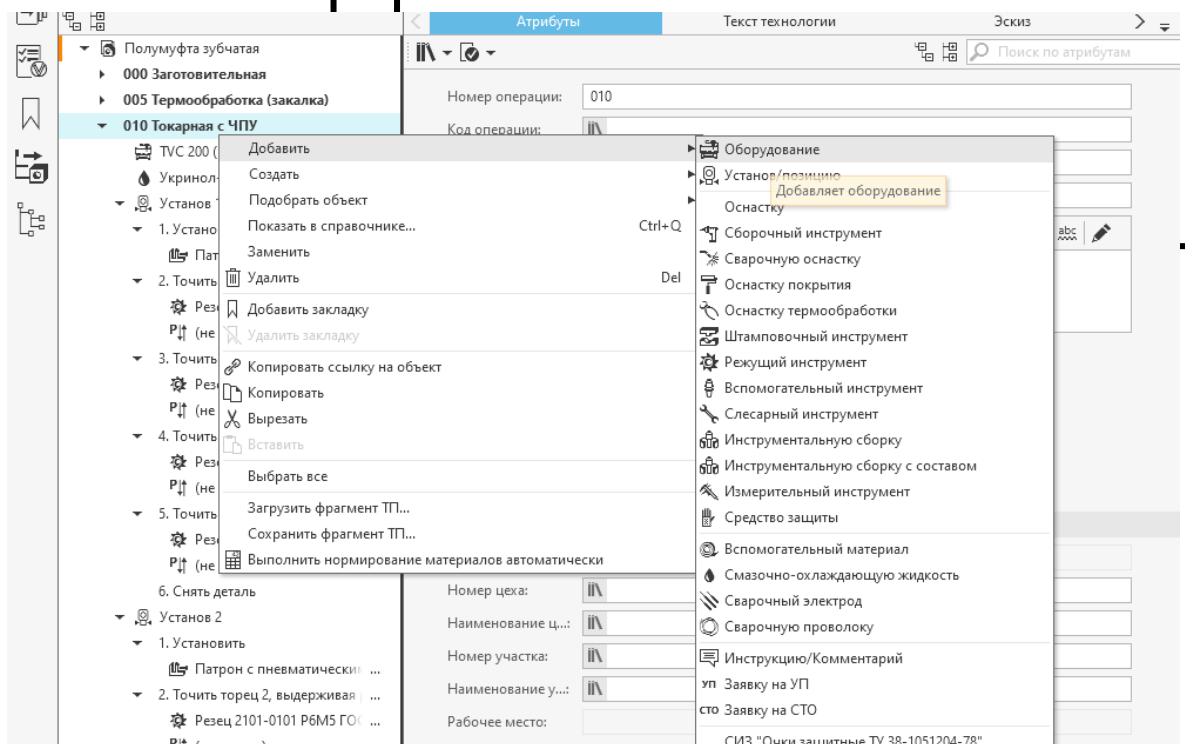


Рис. 28 Добавление оборудования

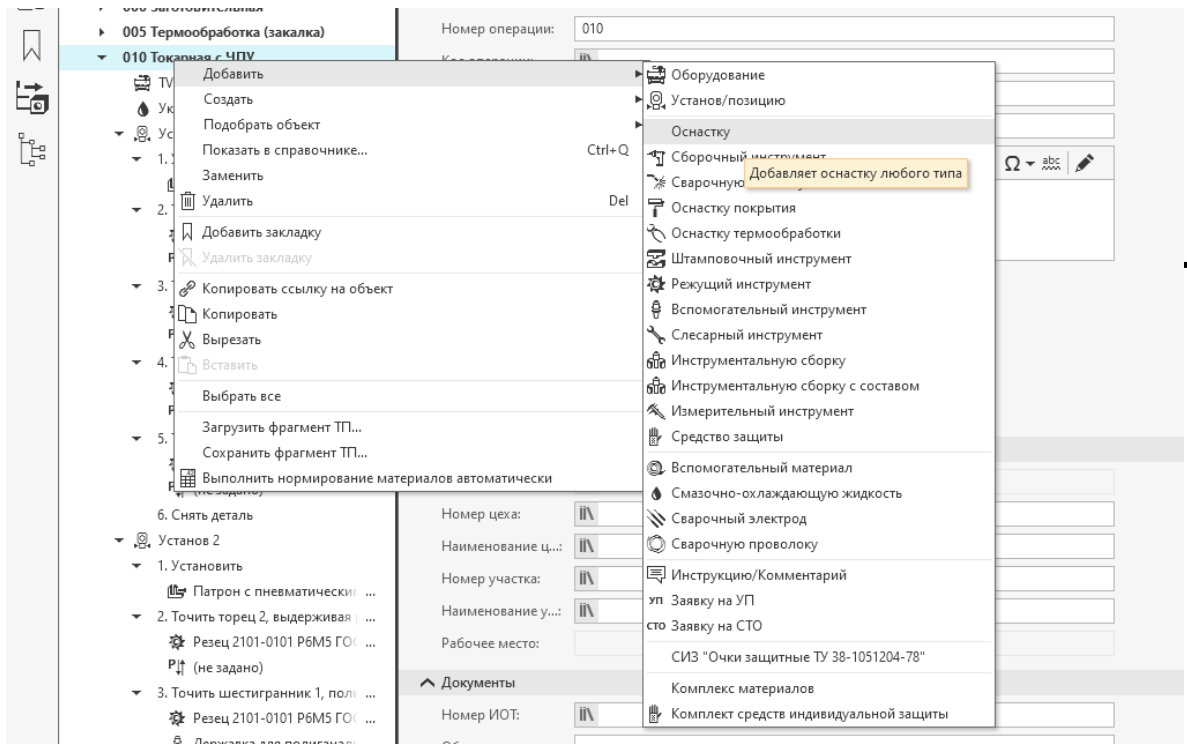


Рис. 29 Назначение оснастки

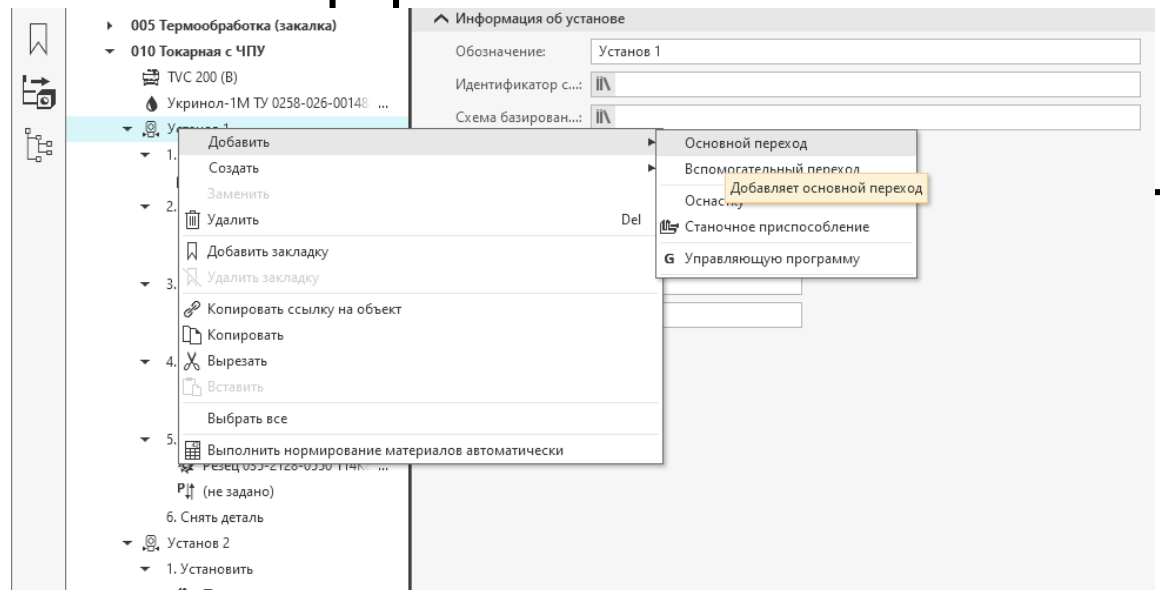


Рис. 30 Создание перехода

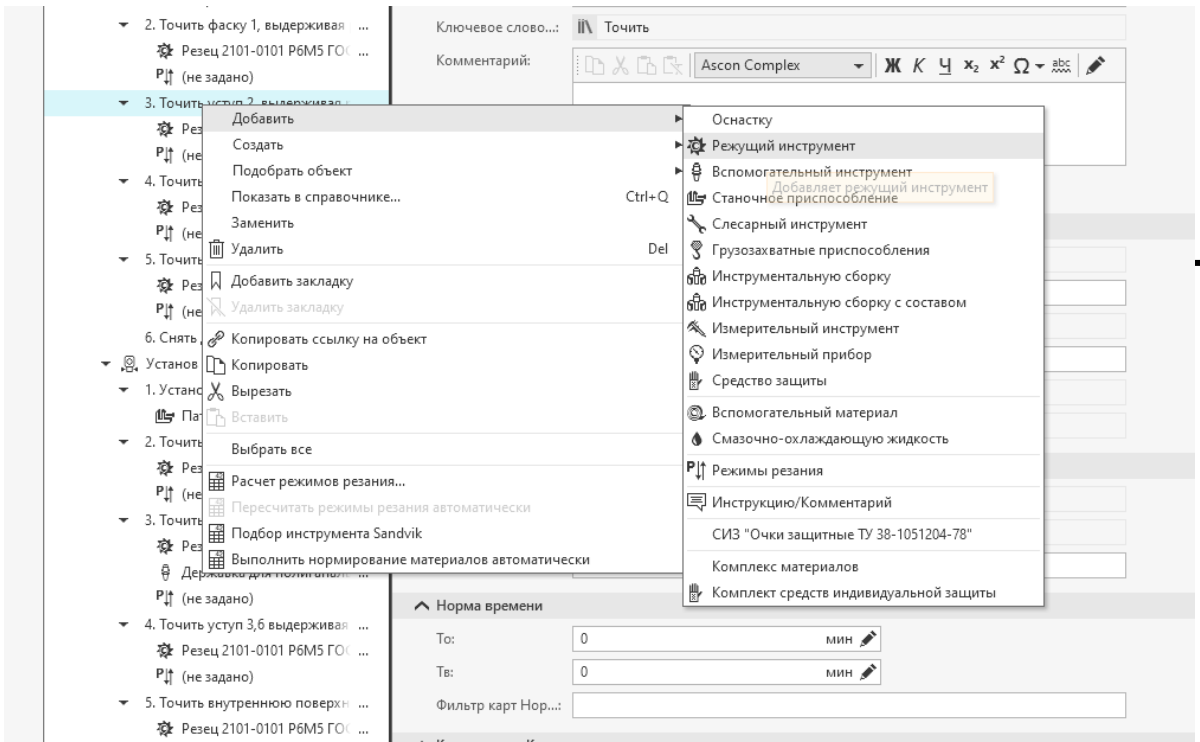


Рис. 31 Назначение режущего инструмента

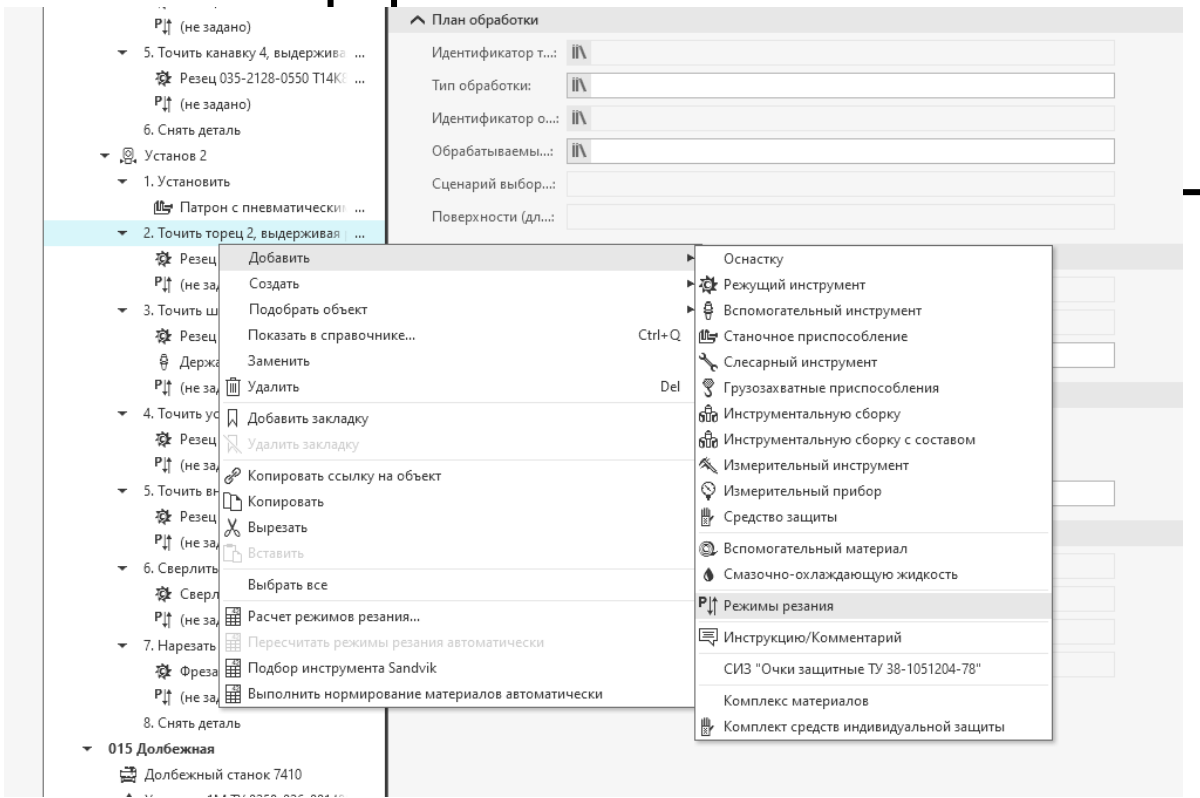


Рис. 32 Назначение режимов резания

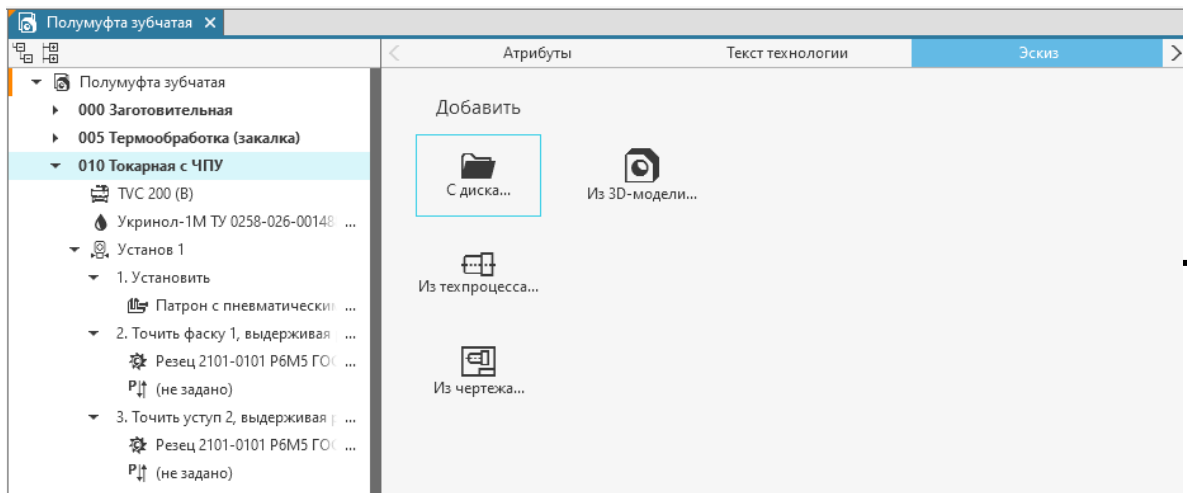


Рис. 33 Добавление эскиза операции (установа)

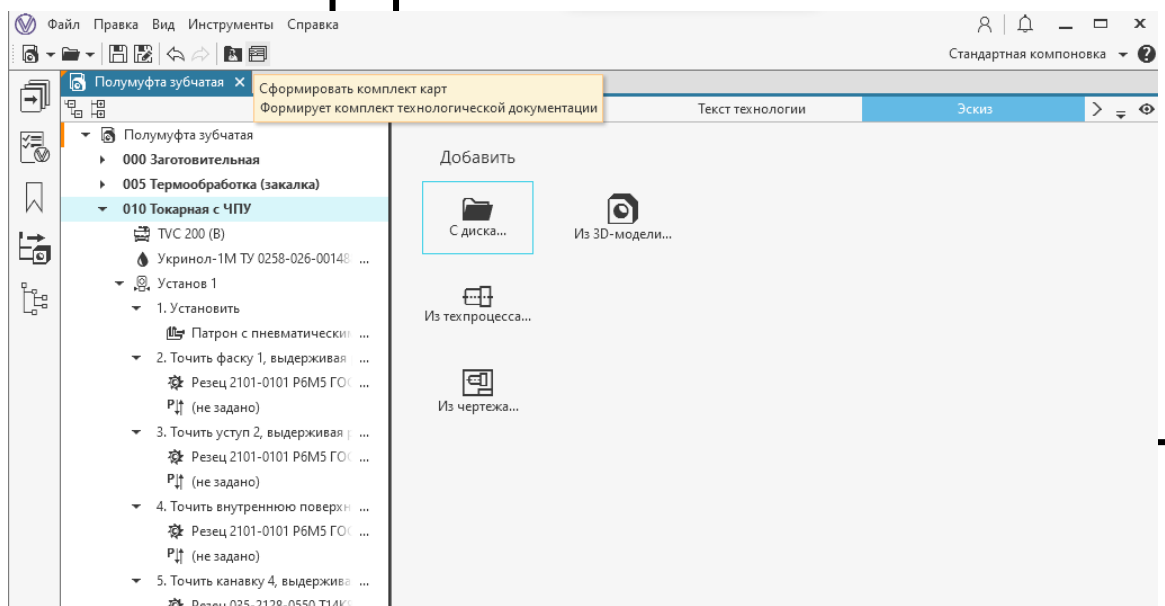


Рис. 34 Формирование комплекта карт

## **2. ПРОФИЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

### **2.1 Выбор промышленного робота**

В современных условиях автоматизированного производства для повышения эффективности механической обработки детали и сокращения штучного времени активно применяются промышленные роботы. В производственной практике используются два основных типа роботизированных систем, каждый из которых имеет свои особенности применения.

Напольные роботизированные системы преимущественно используются для обслуживания станков с открытой фронтальной рабочей зоной. Их конструкция позволяет оптимально интегрироваться в существующие производственные линии, обеспечивая доступ к обрабатываемой детали с передней стороны оборудования. Такие системы особенно эффективны при работе с токарными и фрезерными станками традиционной компоновки.

Портальные роботы, в отличие от напольных, осуществляют обслуживание оборудования с верхним доступом к рабочей зоне. Их конструктивная особенность - подвесное расположение - позволяет эффективно работать с крупногабаритными станками и обрабатывающими центрами, где требуется доступ к детали сверху. Такие системы находят широкое применение в зубообрабатывающих и шлифовальных операциях.

Выбор конкретного типа роботизированной системы для обработки определяется несколькими факторами: компоновкой производственного оборудования, особенностями технологического процесса и требованиями к производительности. Внедрение роботизированных решений позволяет не только сократить время обработки, но и повысить стабильность качества

изготовления детали, а также уменьшить влияние человеческого фактора на производственный процесс.

KUKA KR 12 R1810-2 — это компактный, высокоточный, шестикоординатный робот-манипулятор, предназначенный для выполнения сложных производственных задач. Он сочетает в себе малый вес, расширенный рабочий диапазон и высокую динамику, что делает его универсальным решением для автоматизации различных процессов. Этот робот обладает грузоподъёмностью 12 кг, а его максимальный радиус действия составляет 1810 мм. Благодаря современной кинематике и жёсткой конструкции, он демонстрирует повторяемость движений на уровне  $\pm 0,04$  мм, что особенно важно для задач, требующих высокой точности, таких как сварка, обработка материалов, сборка и тестирование. KR 12 R1810-2 совместим с контроллером KUKA KR C5, который обеспечивает надёжное и энергосберегающее управление движением. Этот контроллер поддерживает интеграцию в цифровые производственные системы и подключение к облачным сервисам, что делает возможным удалённый мониторинг и оптимизацию работы робота. Робот может устанавливаться не только на пол, но и на стену или потолок, что увеличивает его адаптивность к различным условиям производства. Его конструкция обеспечивает защиту от пыли и влаги на уровне IP54, а при необходимости он может быть модифицирован до IP65/IP67 для работы в более сложных условиях, например, в средах с высокой влажностью или загрязнённостью.

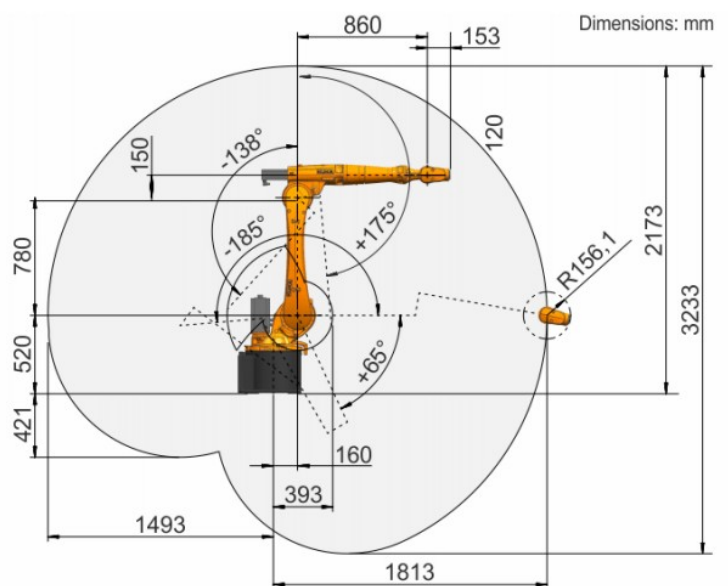


Рис. 35 Робот и его график рабочей зоны

Масса робота составляет примерно 220 кг, а рабочий температурный диапазон варьируется от 0 до 55°C, что позволяет использовать его в различных климатических условиях. Он поддерживает широкий спектр инструментов и периферийного оборудования, включая различные захваты, сварочные горелки и системы визуального контроля. KR 12 R1810-2 находит применение в таких отраслях, как автомобилестроение, электроника, металлообработка, аэрокосмическая промышленность и многие другие. Его высокая скорость работы и точность позволяют значительно повысить производительность и снизить издержки на производство.

Приводы KUKA KR 12 R1810-2 представляют собой современные серводвигатели, обеспечивающие высокую точность, динамику и долговечность работы робота. Каждая из шести осей оснащена индивидуальным электромеханическим приводом, который обеспечивает плавное и точное перемещение в заданных диапазонах. Эти приводы работают с системой обратной связи, что позволяет контролировать положение и скорость робота в реальном времени.

Робот использует высокоэффективные мотор-редукторы, обеспечивающие оптимальный крутящий момент при компактных габаритах. В основе приводов лежит энергосберегающая технология, которая снижает потребление электроэнергии без потери производительности. Благодаря точной системе управления приводами и минимальным люфтам, KR 12 R1810-2 обладает высокой повторяемостью ( $\pm 0,04$  мм), что делает его надёжным решением для точных производственных операций, таких как сварка, сборка и обработка материалов.

Современные промышленные роботы обладают продуманной конструкцией, обеспечивающей их беспрепятственную интеграцию в гибкие производственные системы. Компактные габариты манипулятора и рабочего органа в сочетании с минимальной площадью основания позволяют эффективно эксплуатировать оборудование в условиях ограниченного пространства. Инновационное решение с внутренней прокладкой коммуникаций внутри полых элементов конструкции значительно повышает надёжность системы и снижает износ подвижных соединений. Роботизированный комплекс отличается исключительными эксплуатационными характеристиками. Мощная конструкция рабочего органа обеспечивает работу с крупногабаритными хватными устройствами и тяжёлыми заготовками. Благодаря высоким допустимым моментам и оптимизированным инерционным параметрам система демонстрирует

стабильную производительность при использовании сложного технологического оснащения, включая многопозиционные захваты и специализированный инструмент, сохраняя при этом высокие скоростные показатели обработки.

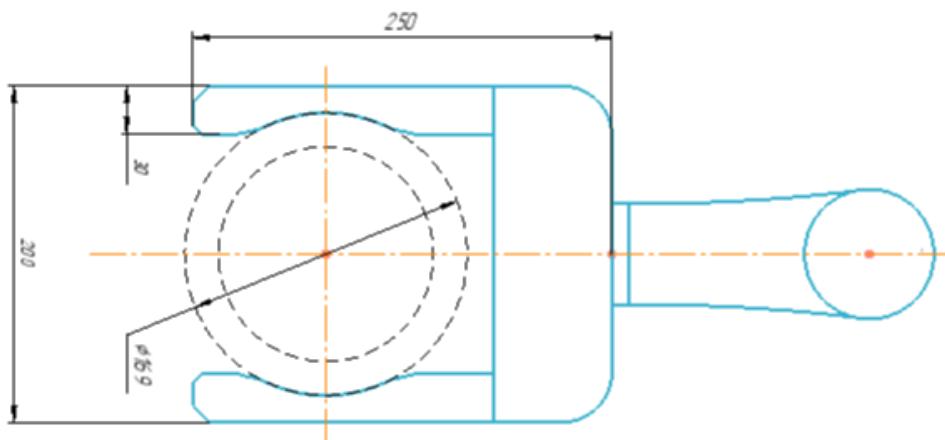


Рис.36 Манипулятор робота

## 2.2 Выбор устройства подачи заготовок

Для удобства и скорости выполнения всех передвижений роботом для складирования деталей и заготовок применим 2 накопительных стола.

Слесарный верстак АВС 1390х686х830 мм ВСО обеспечивает удобство выполнения различных слесарных работ в производственных цехах или мастерских. Модель оборудована полкой для хранения необходимых инструментов и деталей. Широкая столешница с покрытием из оцинкованной стали отличается прочностью и устойчивостью к износу.

## 2.3 Выбор компоновки автоматизированной производственной системы

Автоматизированные производственные системы, включая роботизированные технологические комплексы, используемые в металлообработке, могут иметь линейное или круговое расположение. При круговой компоновке станки размещаются вокруг робота, который работает в цилиндрической или сферической системе координат. Расположение робота и станков планируется таким образом, чтобы рабочая зона станка находилась в пределах зоны досягаемости робота, определяемой минимальным и максимальным вылетом его руки. В нашем случае оптимальным решением является кольцевая компоновка, так как она

позволяет значительно ускорить рабочий процесс и сократить занимаемую комплексом площадь.

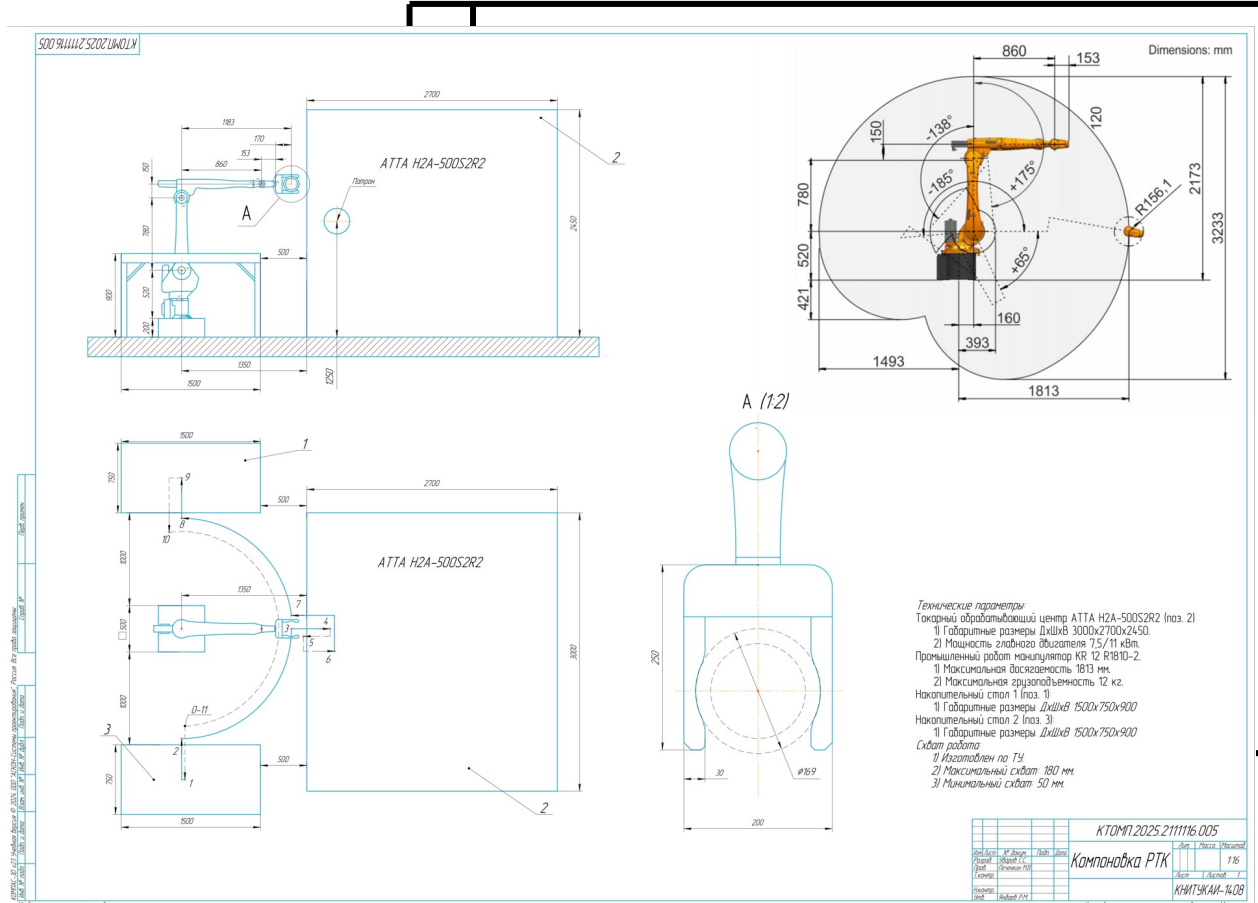


Рис. 37 Пример компоновки роботизированного комплекса

## 2.4 Построение и расчёт элементов траектории захватного устройства ПР

Оптимальным способом построения траектории является визуализация пути перемещения геометрического центра захватного механизма робота. Исходная позиция, соответствующая начальному состоянию роботизированной системы, принимается в качестве нулевой точки отсчёта. Такой графический подход позволяет наглядно проектировать и корректировать маршрут движения рабочего органа. Графическое представление траектории обеспечивает наглядность планирования перемещений и точность позиционирования.

Метод особенно эффективен при программировании сложных пространственных перемещений, когда требуется учитывать взаимное расположение оборудования, заготовок и оснастки в рабочей зоне. Визуализация помогает оптимизировать траекторию, минимизируя лишние перемещения и сокращая время выполнения операций.

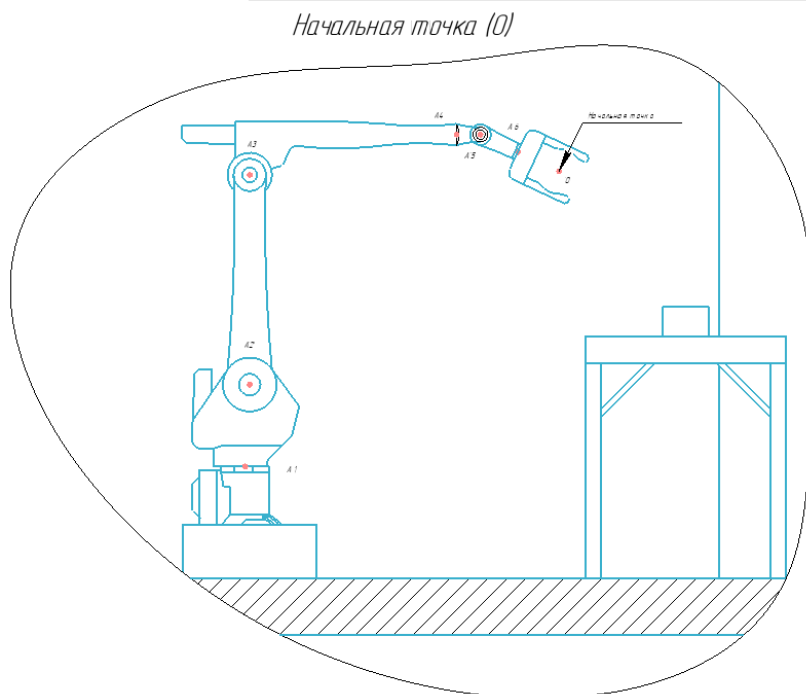


Рис.38 Траектория перемещения робота

*Движение вперед и вниз (0-1)*

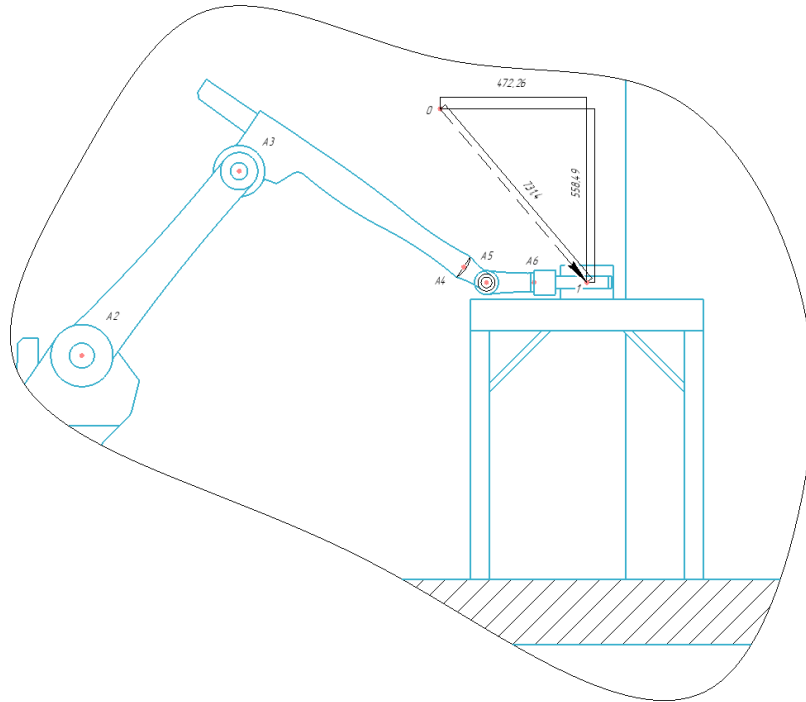


Рис.39 Траектория перемещения робота

*Движение назад и вверх (1-2)*

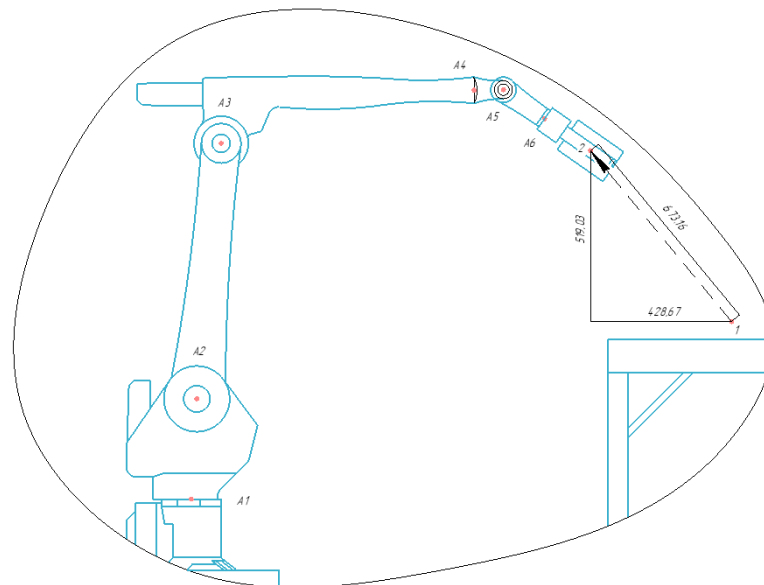


Рис.40 Траектория перемещения робота

*Поворот на 90° против ч. (2-3)*

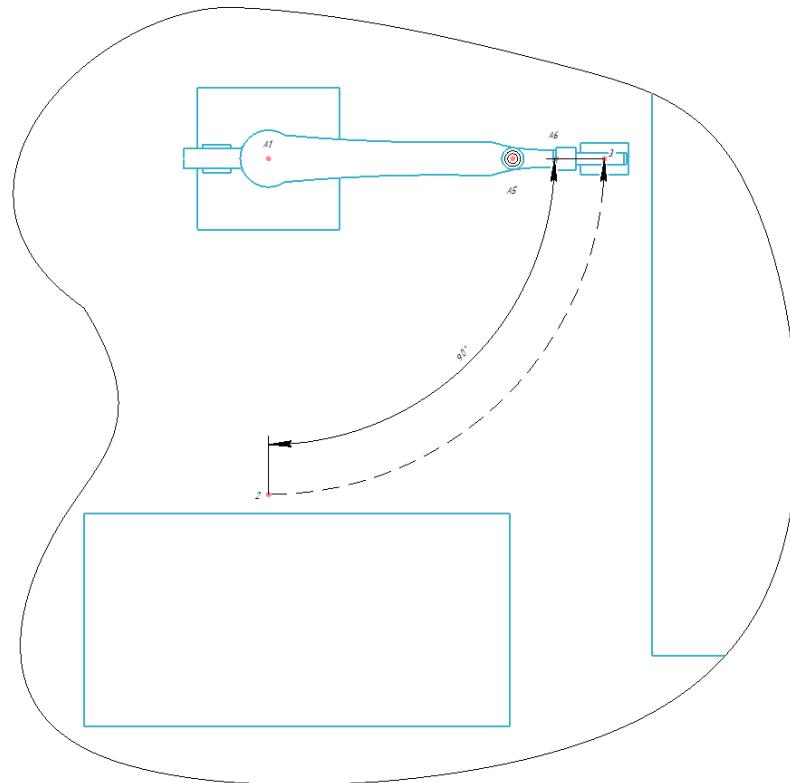


Рис.41 Траектория перемещения робота

*Перемещение вперед и вниз (3-4)*

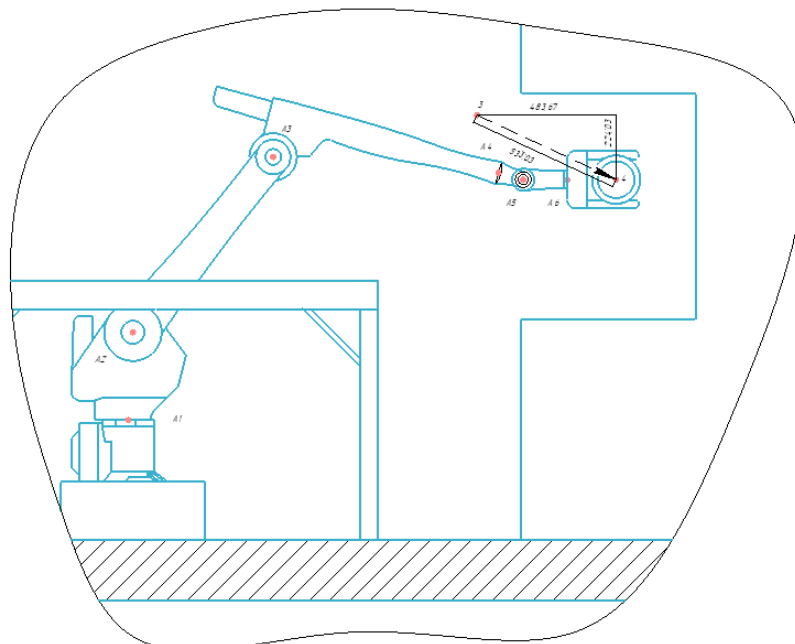


Рис.42 Траектория перемещения робота

*Движение назад и вверх (4-5)*

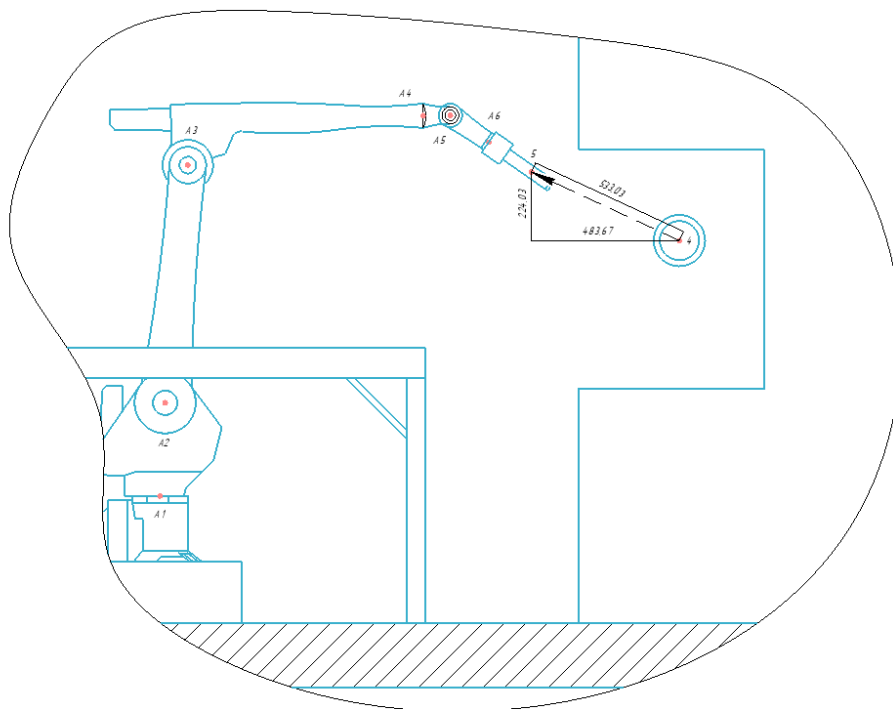


Рис.43 Траектория перемещения робота

*Движение вперед и вниз (5-6)*

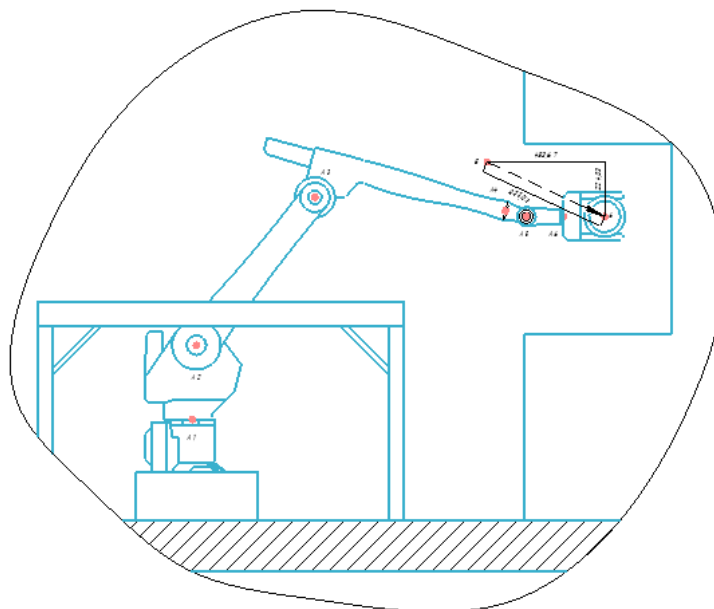


Рис.44 Траектория перемещения робота

*Движение назад и вверх (6-7)*

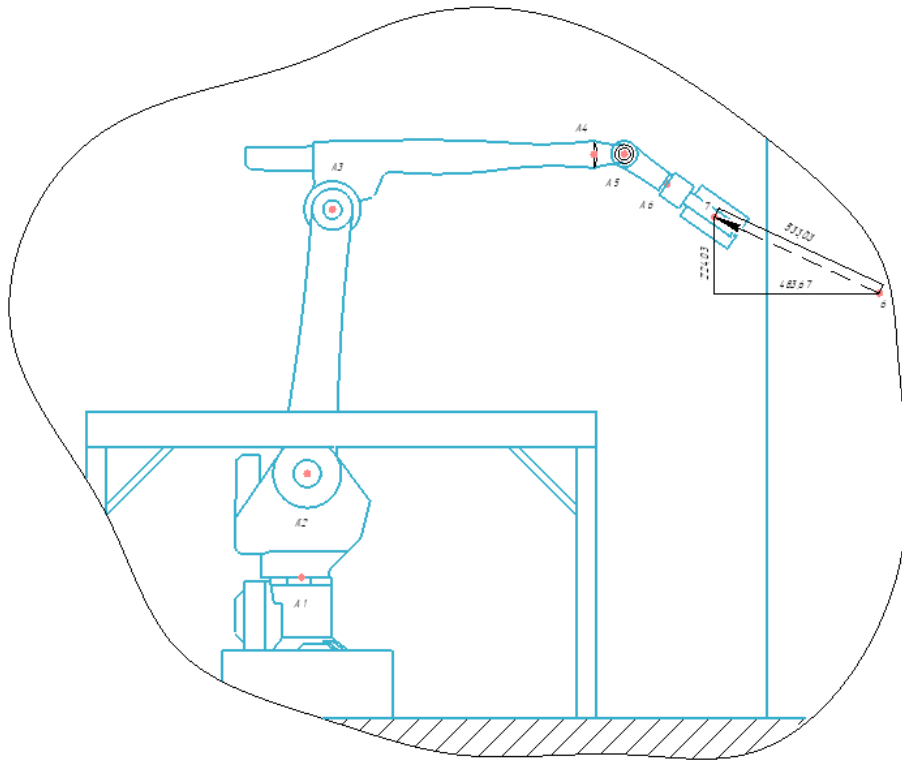


Рис.45 Траектория перемещения робота

*Поворот на 90° против ч. (7-8)*

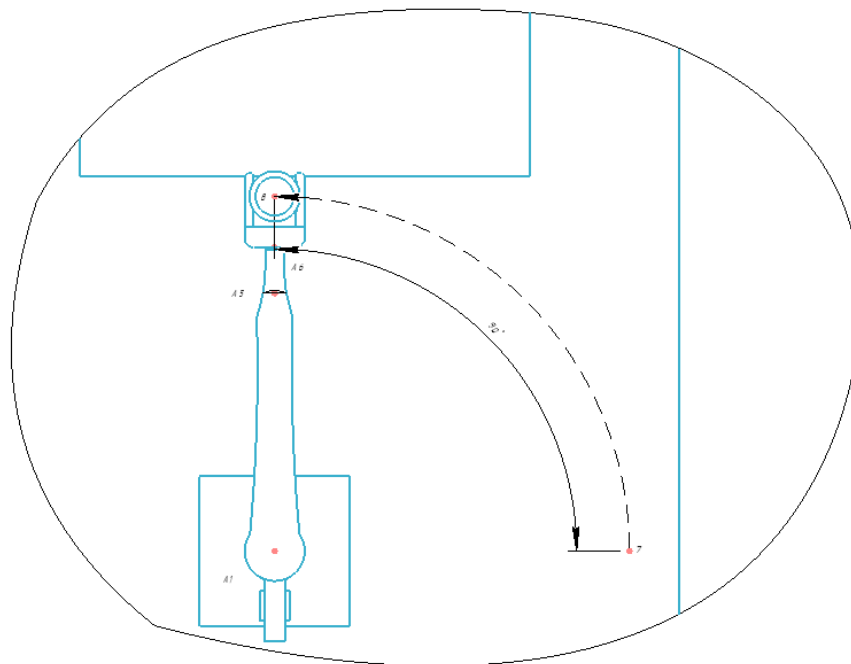


Рис.46 Траектория перемещения робота

*Движение вперед и вниз (8-9)*

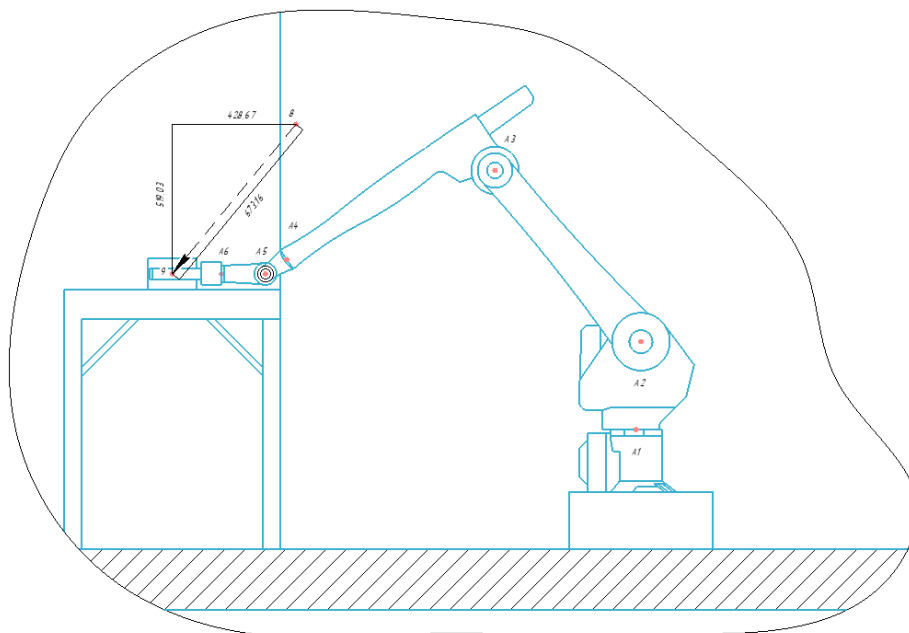


Рис.47 Траектория перемещения робота

*Движение назад и вверх (9-10)*

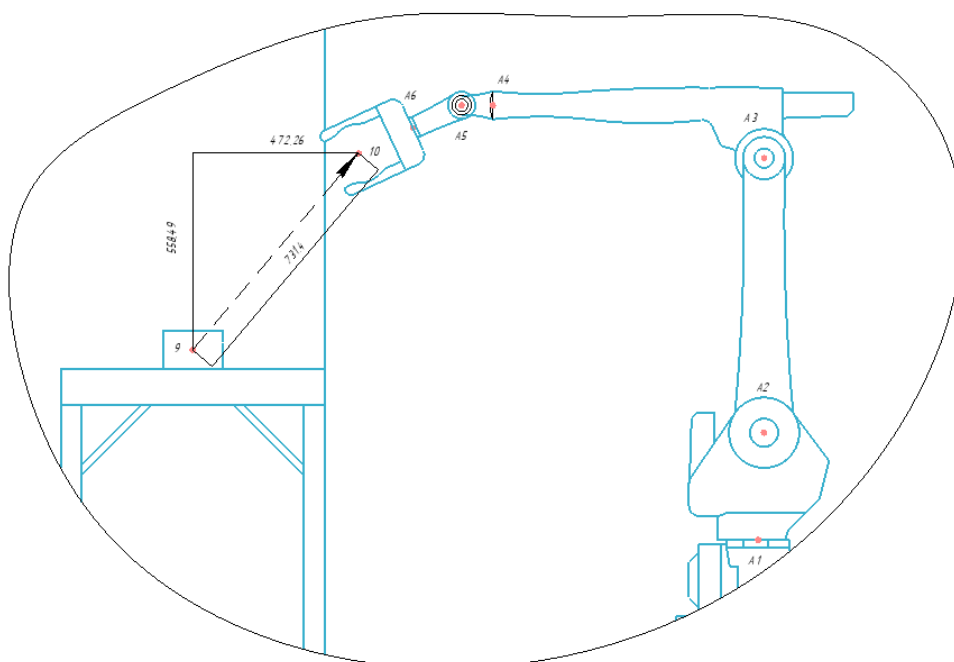


Рис.48 Траектория перемещения робота

Поворот на 180° по ч. и возврат в начальную точку (10-11/0)

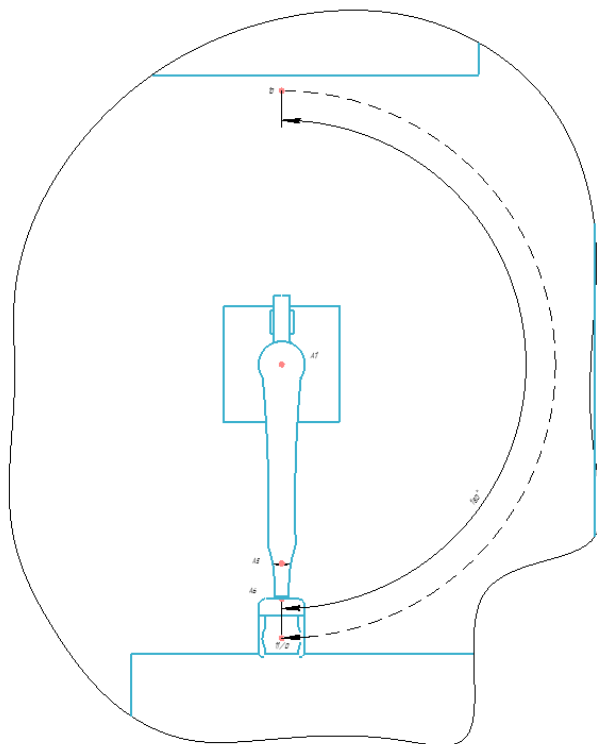


Рис.49 Траектория перемещения робота

Таблица 9 Перемещения робота и величина перемещений

Элемент траектории	Комментарий	Величина перемещения, мм/град
0-1	Движение вперёд и вниз	X=472.26 Z=-558.49
-	Зажим заготовки схватом	
1-2	Движение назад и вверх	X=-428.67 Z=519.03
2-3	Поворот на 90° против ч.	$\varphi = 90^\circ$
3-4	Перемещение вперёд и вниз	X=483.67 Z=-224.03
-	Разжим схвата	
4-5	Движение назад и вверх	X=-483,67 Z=224,03

-	Ожидание	
5-6	Движение вперёд и вниз	X=483,67 Z=-224,03
-	Зажим детали схватом	
6-7	Движение назад и вверх	X=-483,67 Z=224,03
7-8	Поворот на 90° против ч.	$\varphi = 90^\circ$
8-9	Движение вперёд и вниз	X=428,67 Z=-519,03
-	Разжим схвата	
9-10	Движение назад и вверх	X=-472,26 Z=558,49
10-11/0	Поворот на 180° по ч. и возврат в начальную точку	$\varphi = 180^\circ$

## 2.5 Расчёт допустимых скоростей перемещения заготовки

После построения и геометрического расчёта траектории приступим к определению допустимых скоростей перемещения заготовки при обеспечении заданной точности позиционирования.

Для определения скорости линейного позиционирования (координата X (r)) в диапазоне перемещений  $L_x=0,05-0,8$  м ( $L_x - l$  вылет руки ПР) может быть использована эмпирическая формула:

$$V_x = \frac{1,6 L_x \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{M}}$$

где  $\Delta l$  – погрешность позиционирования, мм;

M – масса объекта манипулирования (заготовки, детали), кг.

$$V_{0,47226} = \frac{1,6 \cdot 0,47226 \cdot \sqrt[4]{0,04}}{\sqrt[3]{5,4}} = 0,193 \frac{м}{с}$$

$$V_{0,48367} = \frac{1,6 \cdot 0,48367 \cdot \sqrt[4]{0,04}}{\sqrt[3]{5,4}} = 0,197 \frac{м}{с}$$

$$V_{0,42867} = \frac{1,6 \cdot 0,42867 \cdot \sqrt[4]{0,04}}{\sqrt[3]{5,4}} = 0,175 \frac{м}{с}$$

Скорость вертикального перемещения руки ПР (координата Z) обычно не одинакова при движении вверх и вниз. Однако при правильном уравновешивании масс эти различия невелики, и скорость можно рассчитать по формуле:

$$V_z = \frac{a_z \sqrt{L_z} \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{M}}$$

где  $a_z$  - коэффициент, зависящий от конструкции привода, при электромеханическом приводе  $a_z = 3$ .

$$V_{0,55849} = \frac{3 \cdot \sqrt{0,55849} \cdot \sqrt[4]{0,04}}{\sqrt[3]{5,4}} = 0,57 \frac{м}{с}$$

$$V_{0,51903} = \frac{3 \cdot \sqrt{0,51903} \cdot \sqrt[4]{0,04}}{\sqrt[3]{5,4}} = 0,55 \frac{м}{с}$$

$$V_{0,22403} = \frac{3 \cdot \sqrt{0,22403} \cdot \sqrt[4]{0,04}}{\sqrt[3]{5,4}} = 0,36 \frac{м}{с}$$

Для определения допустимой угловой скорости  $\omega$  при повороте руки ПР относительно вертикальной оси может быть использована формула:

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

где  $\omega$  - угловая скорость, рад/с;

$\varphi$  - угол поворота руки, рад;

$\delta$  - погрешность углового позиционирования, с.

$$\omega_{90} = \frac{0,5 \cdot \sqrt{1,57} \cdot \sqrt[4]{0,04}}{\sqrt[3]{(2 \cdot 1,173)^4}} = 0,089 \text{ рад/с}$$

$$\omega_{180} = \frac{0,5 \cdot \sqrt{3,14} \cdot \sqrt[4]{0,04}}{\sqrt[3]{(2 \cdot 1,173)^4}} = 0,12 \text{ рад/с}$$

Так как движение происходит не прямолинейно, требуется определить результирующую скорость движения.

$$V_{рез} = \sqrt{V_x^2 + V_z^2}$$

Таблица 10 Скорости перемещения промышленного робота

Элемент траектории	Комментарий	Результирующая скорость (м/с)
0-1	Движение вперёд и вниз	0,6

1-2	Движение назад и вверх	0,58
2-3	Поворот на 90° против ч.	0,089
3-4	Перемещение вперёд и вниз	0,41
4-5	Движение назад и вверх	0,41
5-6	Движение вперёд и вниз	0,41
6-7	Движение назад и вверх	0,41
7-8	Поворот на 90° против ч.	0,089
8-9	Движение вперёд и вниз	0,58
9-10	Движение назад и вверх	0,6
10-11/0	Поворот на 180° по ч. и возврат в начальную точку	0,12

## 2.6 Построение циклограммы функционирования автоматизированной производственной системы

Циклограмма функционирования РТК включает в выбранной последовательности все переходы (действия), выполняемые основным и вспомогательным оборудованием, а также ПР, необходимые для обработки заготовки. Построение циклограммы выполняют:

- для быстрого определения рабочего цикла  $T_p$ ;
- для определения значения цикловой производительности  $Q_u$ ;
- для установления возможности сокращения  $T_p$  за счет совмещения времени выполнения отдельных переходов и сокращения длительности не совмещённых переходов и т. д.

Составим таблицу времени выполнения всех переходов работа, предварительно рассчитав их по формулам

$$t_i = \frac{\varphi_i}{\omega_i}; t_i = \frac{l_i}{v_i};$$

где  $\varphi_i$  – углы поворота механизмов;

$l_i$  – линейные перемещения механизмов;

$\omega_i, v_i$  – скорости углового и линейного перемещений соответственно.

Примечание: Время смены инструмента происходит параллельно, поэтому не учитывается. Из-за шагового двигателя не учитываем время поворота кисти.

Далее приступим к построению циклограммы работы комплекса.

Этот важный этап проектирования позволяет наглядно представить временную согласованность работы всех элементов системы.

При построении циклограммы в вертикальной колонке построчно перечисляется оборудование РТК и характер совершаемых им движений (по горизонтали, в выбранном масштабе), откладывается время выполнения каждого движения.

Таблица 11 Время выполнения всех переходов робота

Элемент траектории	Линейное перемещение $l_i$ , м	Скорость линейного перемещения $v_i$ , м/с	Угловое перемещение $\varphi_i$ , рад	Скорость углового перемещения $\omega_i$ , рад/с	Время, $t_i$ , с
0-1	0,7314	0,6	-	-	0,82
1-2	0,67316	0,58	-	-	0,862
2-3	-	-	1,57	0,089	17,6
3-4	0,53303	0,41	-	-	0,769
-	-	-	-	-	-
4-5	0,53303	0,41	-	-	0,769
-	-	-	-	-	832
5-6	0,53303	0,41	-	-	0,769
-	-	-	-	-	-
6-7	0,53303	0,41	-	-	0,769
7-8	-	-	1,57	0,089	17,6
8-9	0,67316	0,58	-	-	0,862
-	-	-	-	-	-
9-10	0,7314	0,6	-	-	0,82
10-11/0	-	-	3,14	0,12	20,3

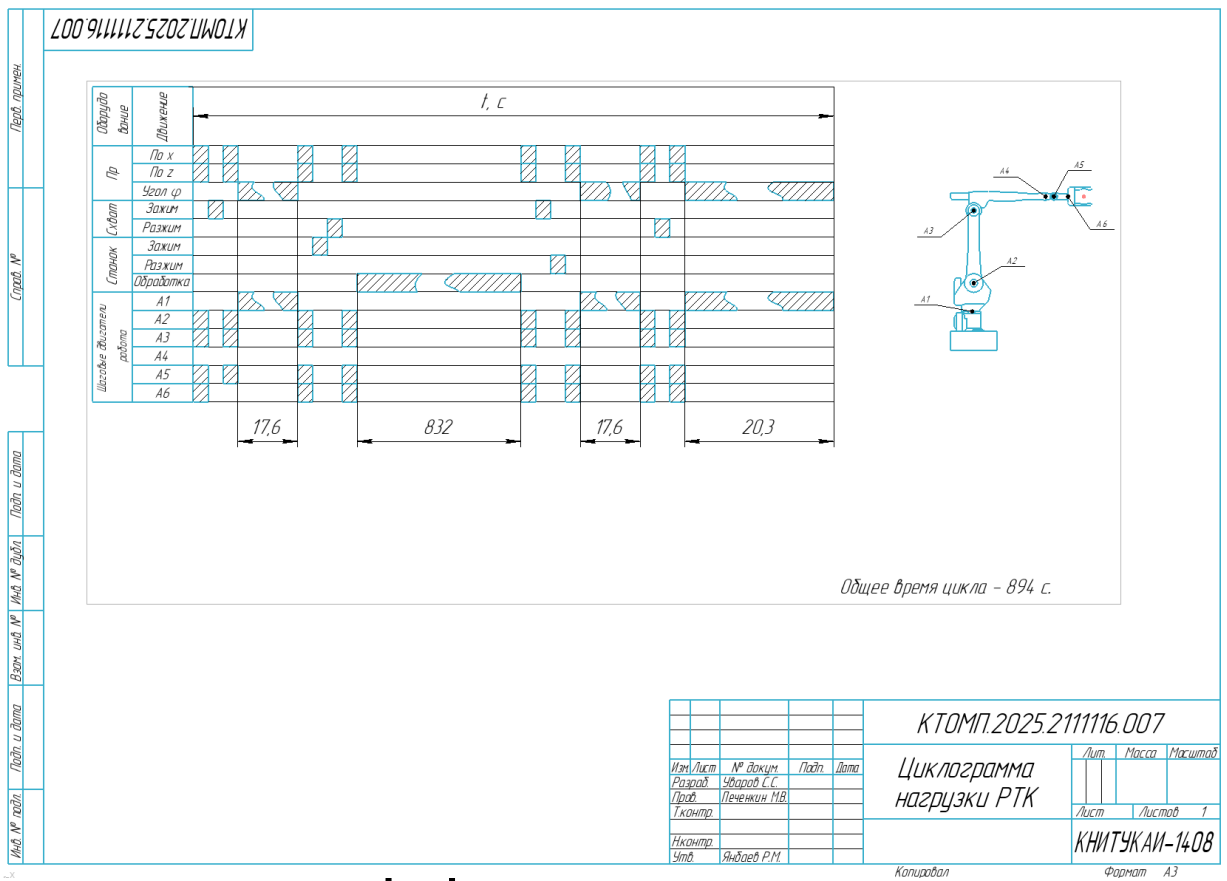


Рис. 50 Циклограмма функционирования роботизированного комплекса

## 2.7 Расчет коэффициентов использования РТК

Часовую цикловую производительность определяем по формуле:

$$Q_c = \frac{3600}{T_c} = \frac{3600}{894} = 4,03$$

Коэффициент относительной загруженности ПР определяют по формуле:

$$K_{зр} = \frac{P_{ср}}{P}$$

где  $P_{ср}$  и  $P$  – средние значения рабочей нагрузки и номинальной грузоподъемности робота соответственно.

$$K_{зр} = \frac{P_{ср}}{P} = \frac{5,4}{12} = 0,45$$

Коэффициенты использования  $K_{нр}$  и  $K_{ис}$  определяют по формулам:

$$K_{нр} = \frac{T_{нр}}{T_c}; K_{ис} = \frac{t_o}{T_c}$$

где  $T_{нр}$  – время работы ПР за рабочий цикл  $T_c$ ;  $t_o$  – время работы станка за рабочий цикл  $T_c$ .

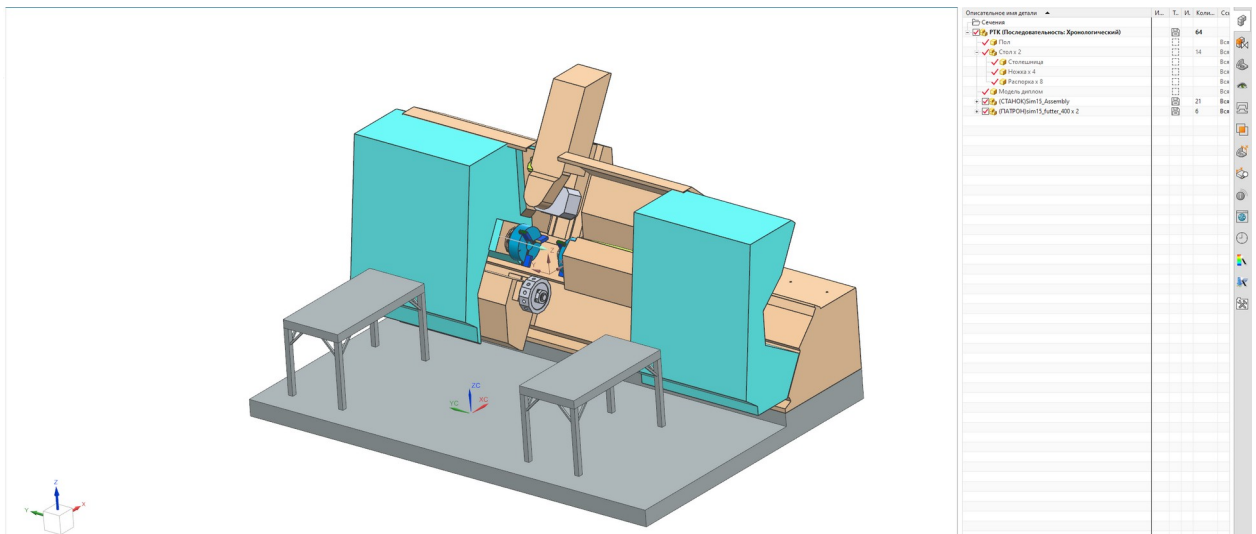
$$K_{np} = \frac{T_{np}}{T_y} = \frac{62}{894} = 0,07$$

$$K_{uc} = \frac{t_o}{T_y} = \frac{832}{894} = 0,93$$

## 2.8 Разработка симуляции и управляющей программы для робота в САМ модуле Siemens NX

### 2.8.1 Создание модели роботизированного технологического комплекса

Перед разработкой управляющей программы для робота, необходимо создать модель РТК согласно компоновки. Для этого создадим сборку в САМ модуле Siemens NX. Для этого нажмём клавишу “Файл” – “Создать” – “Модель” – “Сборка”. После создания файла сборки, аналогично создадим составляющие модели и добавим в сборку при помощи команды “Добавить компонент”. Модели станка и патрона возьмём из стандартной базы NX/





Для этого перейдём во вкладку “Навигатор станка” и раскрыв дерево компонентов станка, добавим геометрию схвата к геометрии фланца робота.

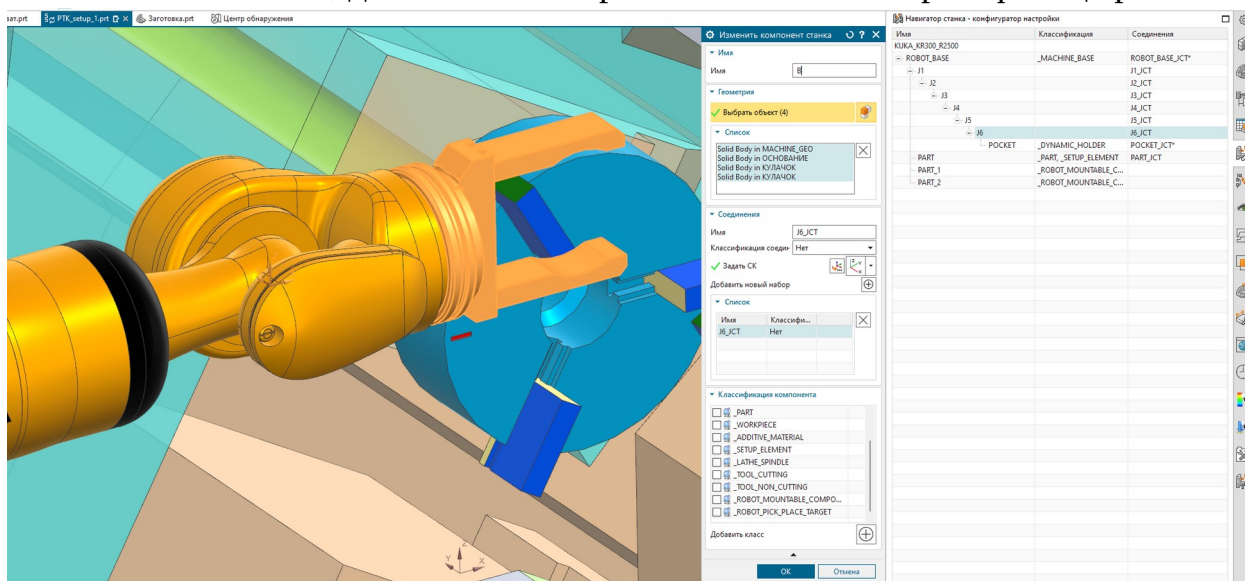


Рис. 54 Добавление геометрии схвата в кинематическую модель станка

Так же необходимо перенести систему координат кармана для инструмента в середину схвата.

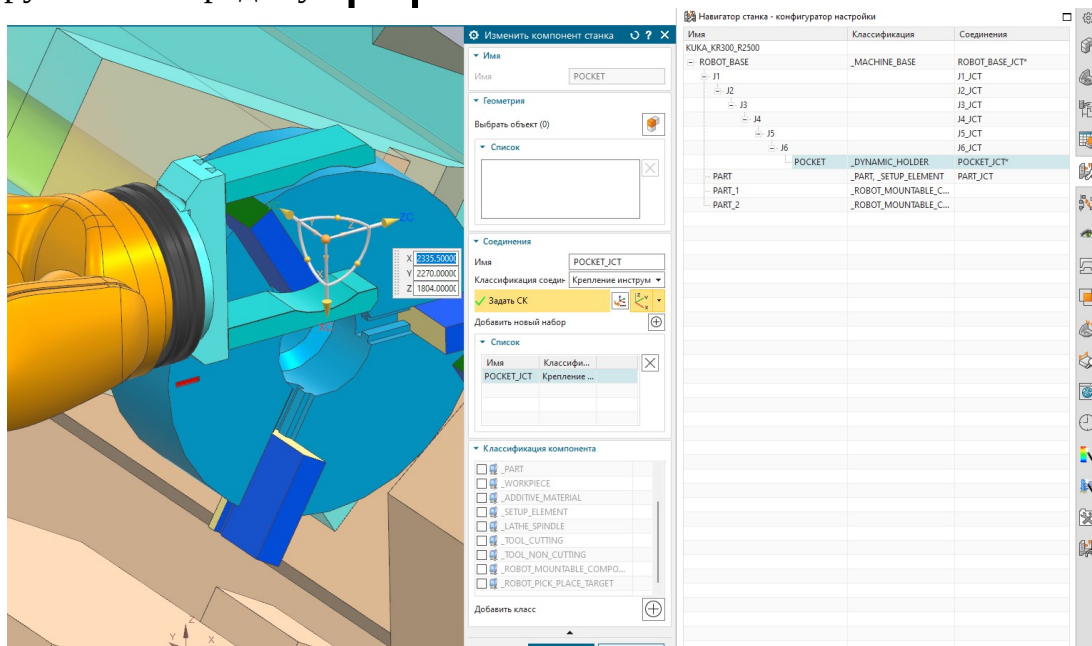


Рис. 55 Установка системы координат схвата

Перед созданием операций нужно создать компоненты станка, соответствующие перемещаемым моделям и добавить их геометрию. Назовём компоненты PART\_1 и PART\_2 и назначим классификацию “\_ROBOT\_MOUNTABLE\_COMPONENT”

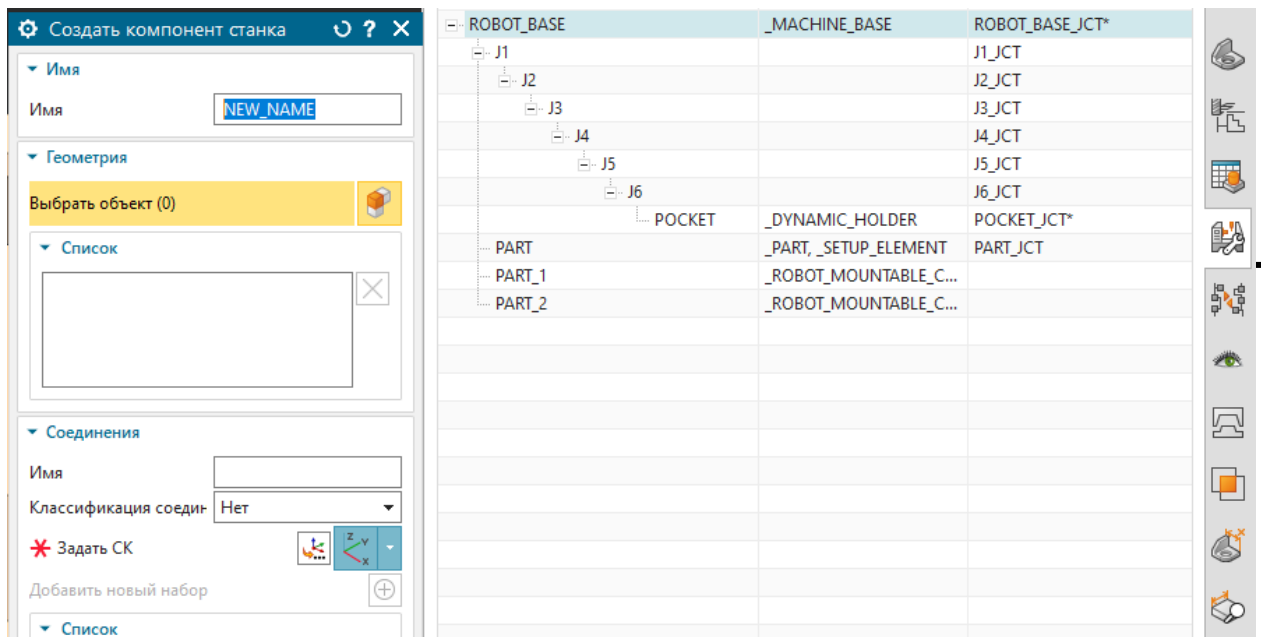


Рис. 56 Создание компонента станка

## 2.8.2 Создание операций перемещения

Для создания операций перемещения нажмём на клавишу “Создание операции” и выберем тип операции “robot”.

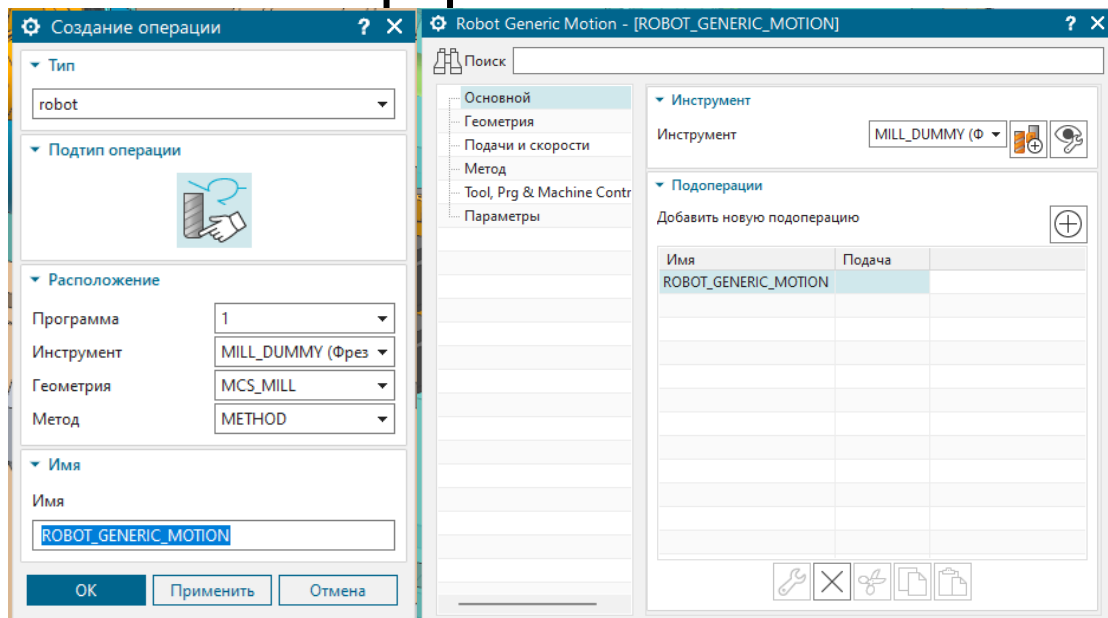


Рис. 57 Создание операции перемещения робота

Далее необходимо выбрать инструмент – пустышку и создать подоперацию.

Подоперации бывают разных типов, такие как:

- 1) Заданная декартова СК робота – перемещение системы координат в нужную точку (положение осей задаётся автоматически)
- 2) Заданная поза робота – позволяет выставить требуемый угол всех осей робота.

3) Крепление робота позволяет “взять” и “отпустить” что либо, перемещать объекты при помощи робота.

Рассмотрим пример создания подопераций “Заданная поза робота” и “Крепление робота”.

Робот имеет 6 подвижных осей и в подоперации “Заданная поза робота” можно указать положение каждой, что позволяет очень гибко настраивать систему указывая угол поворота каждой.

Подоперация “Крепление робота” позволяет соединить ранее созданный компонент станка с схватом, тем самым робот “возьмёт” деталь.

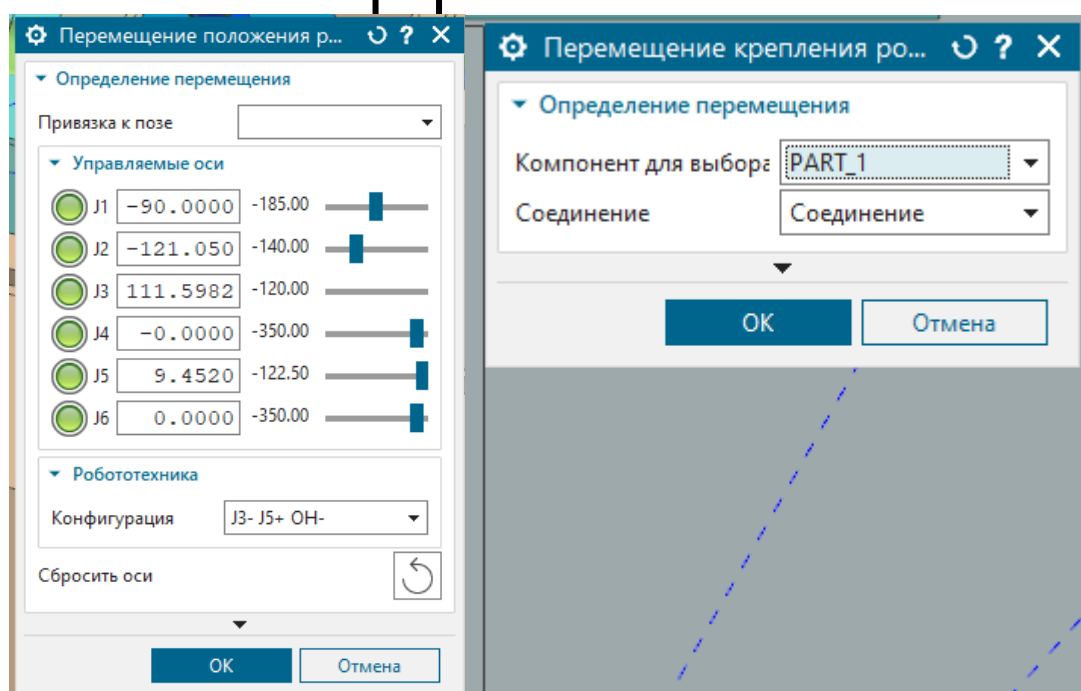


Рис. 58 Подоперации “Заданная поза робота” и “Крепление робота”

Аналогично создаём подоперации для загрузки и выгрузки детали.

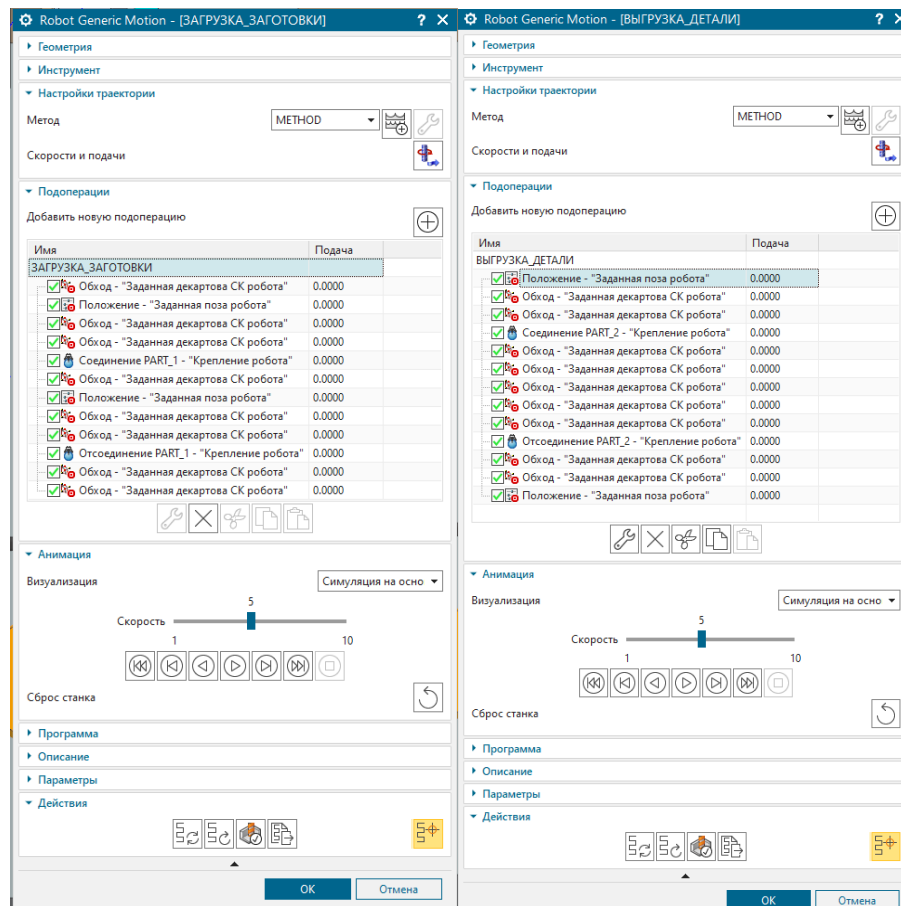


Рис. 59 Операции загрузки заготовки и выгрузки детали из станка роботом

При проектировании стоит учитывать сингулярность осей (точку вырождения). Точка вырождения робота (singularity) — это такое положение робота-манипулятора, в котором он теряет одну или несколько степеней свободы из-за особенностей своей кинематической структуры. Система NX CAM умеет определять такие точки и предупреждать их заранее.

### 2.8.3 Формирование управляющей программы робота

Для вывода программы используется постпроцессор. Постпроцессор — это программа, которая преобразует CAM-операции в управляющий код (G-код) для конкретного станка с ЧПУ. Он учитывает особенности оборудования, например, синтаксис команд и ограничения осей.

Выбираем требуемую программу и нажимаем кнопку пост процессировать, указываем единицы измерения и папку куда сохранится готовая программа.

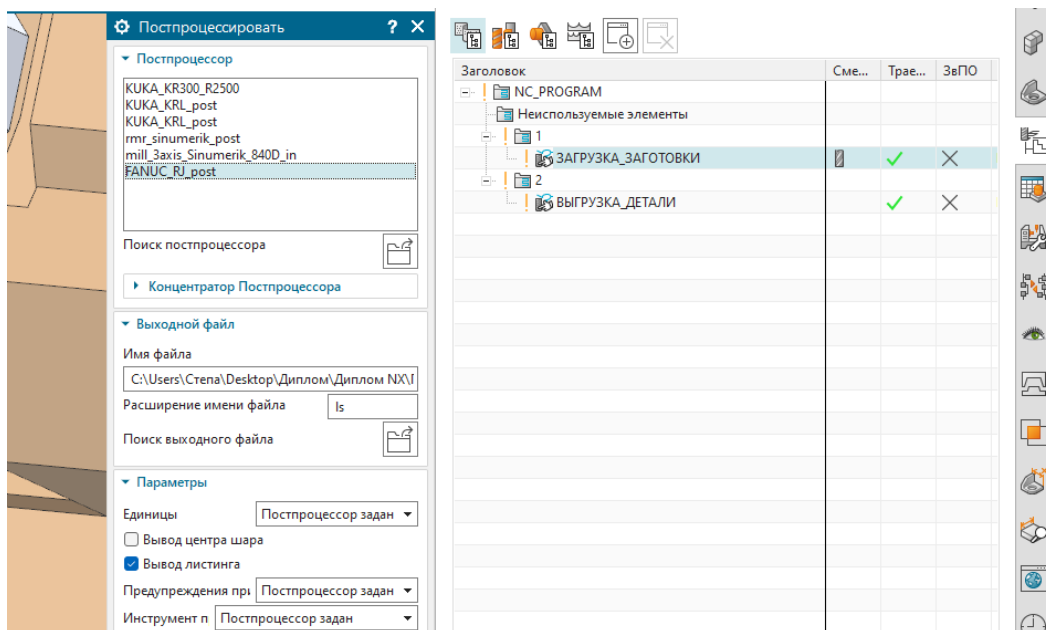


Рис. 60 Формирование управляющей программы робота

## 2.9 Разработка управляющей программы обработки детали в CNC-системе Sinumerik 840D

### 2.9.1 Создание режущих инструментов в системы Sinumerik 840D

Перед разработкой управляющей программы механической обработки для операции 010 создадим в системе Sinumerik 840D режущий инструмент, используемый в данной операции. Для создания режущих инструментов перейдём в функциональную область системы ЧПУ Параметры “Offset” и на горизонтальной панели выбираем команду “Список инструментов”

Согласно Оп. 010 выполняется в 8 переходов. Поэтому согласно выбранным инструментам задаём их параметры.

SIEMENS										SINUMERIK OPERATE			18.05.25 21:39	
Список инструментов										MAGAZIN1			Измерить инструмент.	
Место	Тип	Имя инструмента	ST	D	Длина X	Длина Z	Радиус		Дл. пл.	Ц	1	2		
1		S25R-SDUCL11	1	1	-9.000	122.000	0.200 ←	93.0	55	11.0				
2		G1-4FS-1000-M45	1	1	0.000	-60.000	10.000	4						
3		MGIVL 2520-3	1	1	-12.000	135.000	0.000	3.000	10.0					
4		RT100U	1	1	0.000	-70.000	5.000	118.0						
5		S25R-SDUCR11	1	1	124.000	-39.000	0.200 →	93.0	55	11.0				
6		Hv42m6v	1	1	0.000	-60.000	6.000	1.000						
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														

Рис. 61 Список инструментов, созданных в системе Sinumeric 840D

После создания инструментов можно приступить к созданию управляющей программы операции 010.

### 2.9.2 Создание управляющей программы обработки.

Операция 010 уст. А содержит три перехода, а именно черновое и чистовое точение внутренней поверхности  $\varnothing 132$  на длину 68 (рис. 9) и точение канавки. Создадим управляющую программу с использованием ShopTurn. Для начала вводится “шапка” программы. Шапка ЧПУ-программы в языке Sinumeric задаёт основные параметры обработки, такие как система координат, инструмент, скорость и подача, а также содержит служебную информацию для безопасного и корректного выполнения программы. Она помогает оператору и станку правильно интерпретировать код, избегая ошибок.

Так как программа обработки имеет операции выполняемые в противощпинделе, “Шапка” включает в себя набор переменных, которые обеспечивают правильное смещение нуля и заготовку.

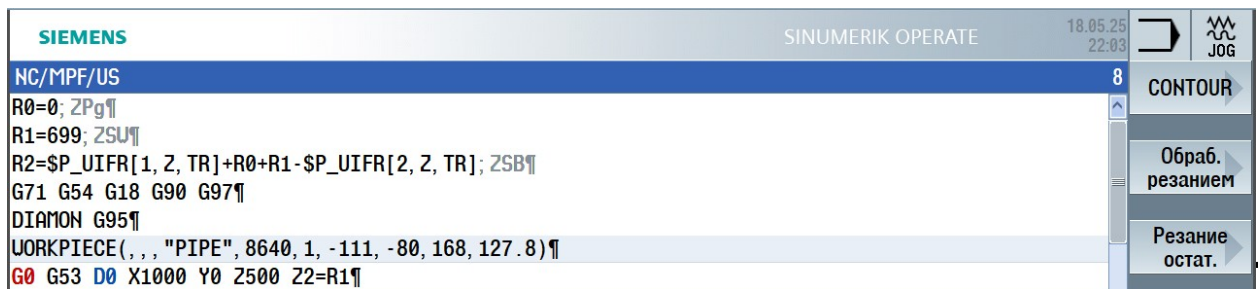


Рис. 62 “Шапка” программы обработки в системе Sinumeric 840D

Создадим операцию внутреннего точения. Для этого командой “T=1 M6 G96” вызовем требуемый инструмент и укажем скорость резания согласно таблице режимов резания.

G96 - включает режим постоянной скорости резания (CSS), при котором частота вращения шпинделя автоматически регулируется в зависимости от текущего диаметра обработки.

Также указываем ось вращения, на которую указываются режимы резания

SETMS(1)-шпиндель, SETMS(2)-противошпиндель, SETMS(3)-приводной инструмент.

Создадим контур обработки нажав на клавишу “Обточка контура”, а затем на вертикальной панели выберем команду “COUNTER” – “Новый контур”. Создаём контур согласно размерам на чертеже и присваиваем ему имя.



Рис. 63 Контур обработки детали на операции 010 Уст. А

Далее при помощи клавиши “Вызов контура” вызовем контур и создадим операцию точения контура. Для этого на горизонтальной панели нажмём на клавишу “Обточка контура”, а затем на вертикальной панели выберем команду “Обработка резанием”. Выставляем все параметры и вручную указываем холостые перемещения, для того чтобы не было зарезов.

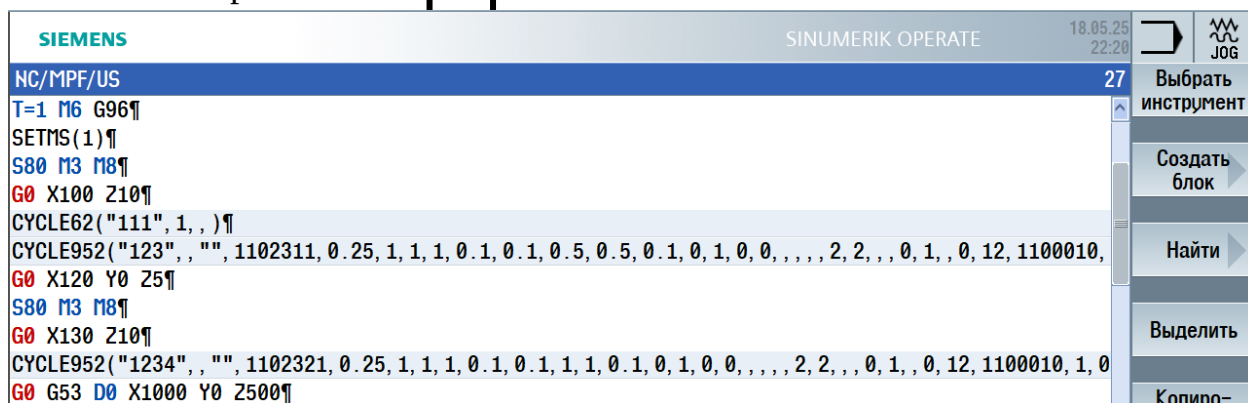


Рис. 64 Программа обработки 1 и 2 перехода в системе Sinumeric 840D

Далее создаётся цикл обработки канавки. Как это было описано выше, вызываем инструмент и указываем режимы резания, затем нажимаем клавишу “Обточка” на горизонтальной панели и переходим во вкладку “Выточка” на вертикальной панели.

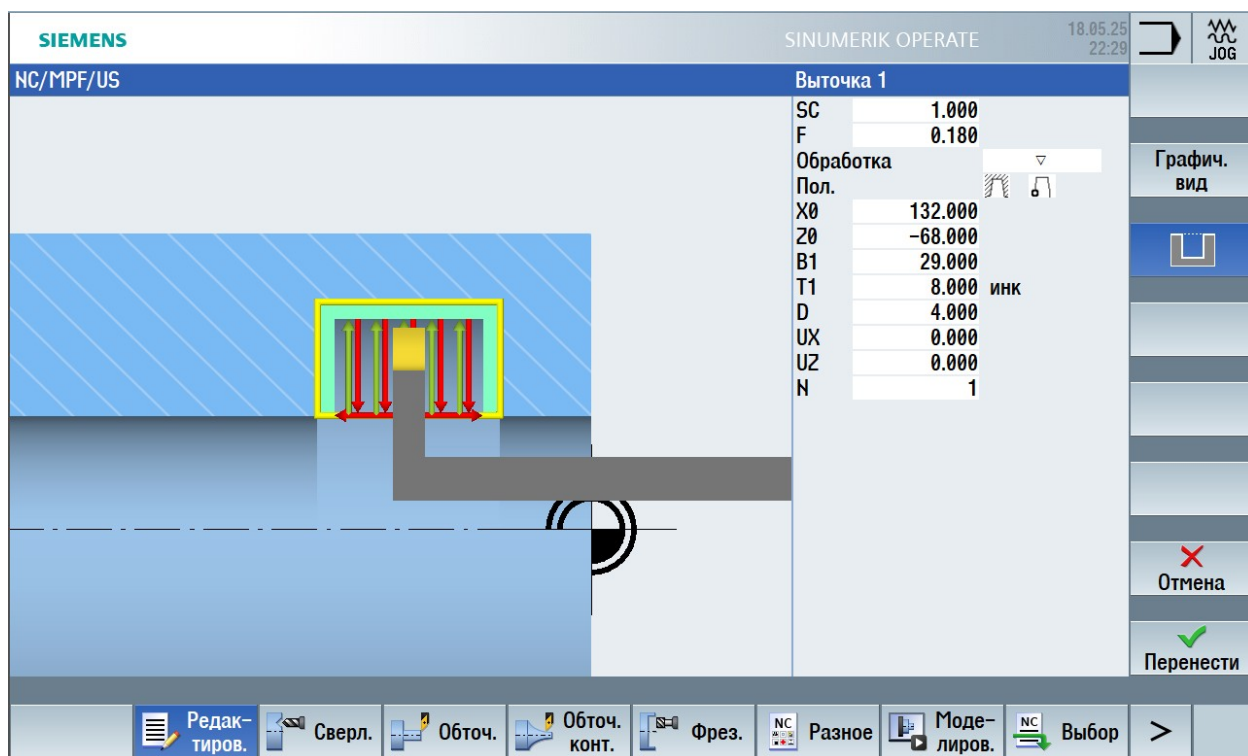


Рис. 65 Создание цикла точения выточки в системе Sinumeric 840D

После создания цикла, как и ранее, вводим координаты холостых перемещений.

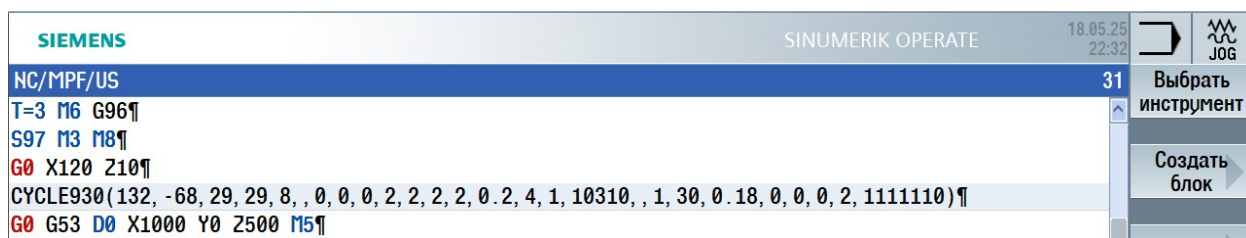


Рис. 66 Программа обработки 3 перехода в системе Sinumeric 840D

Далее, согласно плану обработки, следует уст. Б. Для этого необходимо переустановить деталь в противошпindelь.

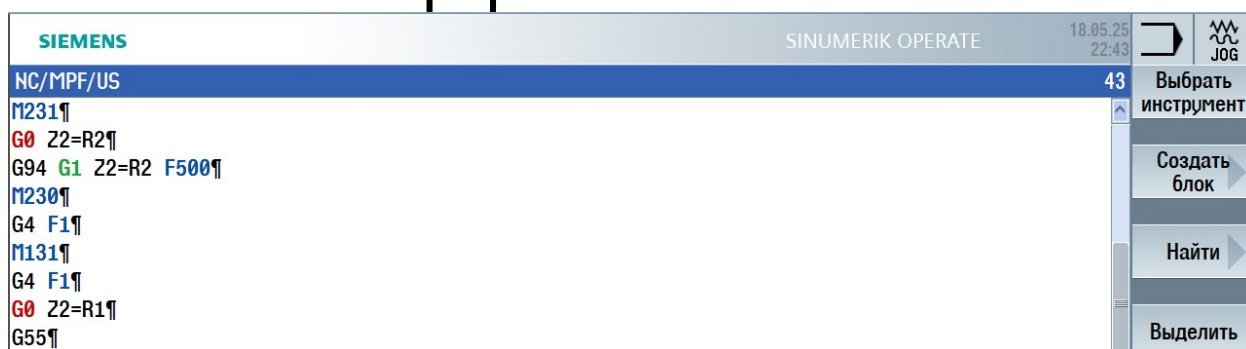


Рис. 67 Программа для переустановки детали в противошпindelь

M231 – включает режим "Сухого хода" (Dry Run) для проверки программы без реального резания.

G0 Z2=R2 – быстрое перемещение оси Z2 в позицию, заданную переменной R2.

G94 G1 Z2=R2 F500 – линейное движение (рабочая подача) оси Z2 до R2 со скоростью 500 мм/мин.

M230 – выключает Dry Run, возвращая станок в нормальный режим.

G4 F1 – пауза 1 секунда (ожидание зажима патрона).

G0 Z2=R1 – быстрый отвод оси Z2 в позицию R1.

G55 – переключение на вторую систему координат для обработки в противошпindelе.

Далее, как описано ранее, создаётся контур и происходит его обработка.

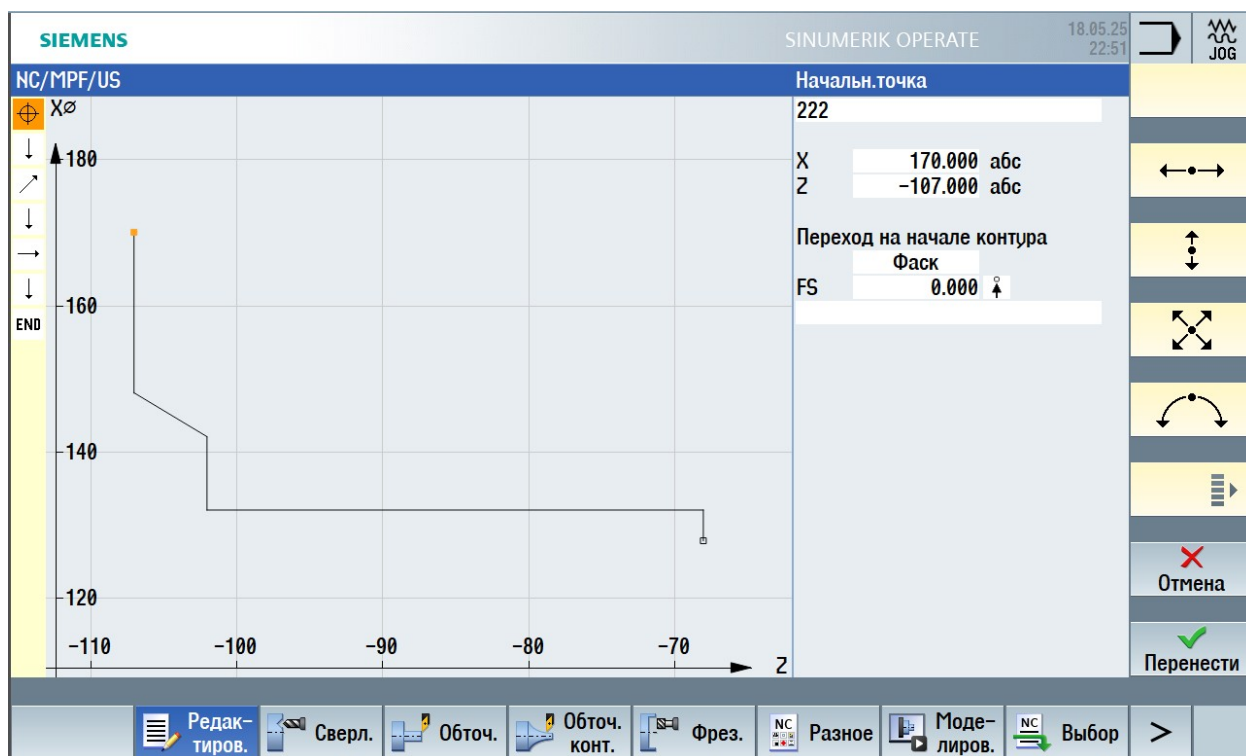


Рис. 68 Контур обработки детали на операции 010 Уст. Б

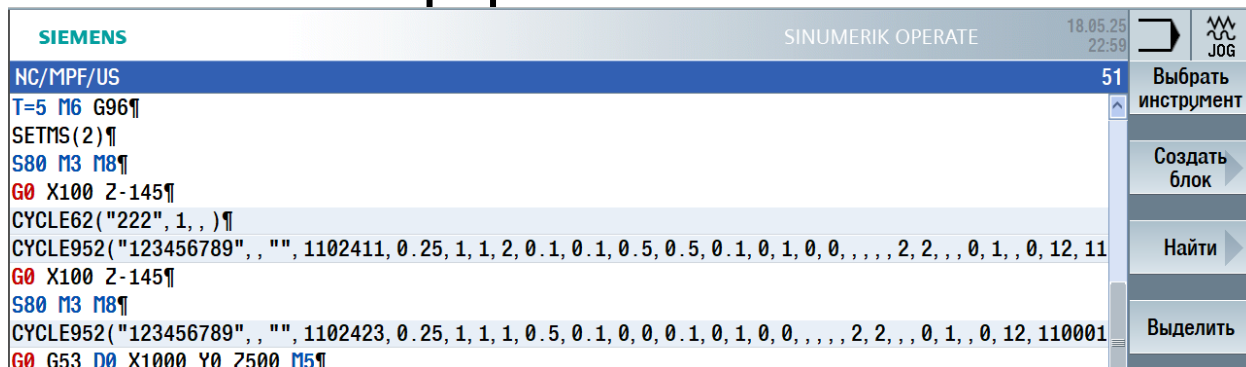


Рис. 69 Программа обработки 4 и 5 перехода в системе Sinumeric 840D

На этом токарная обработка детали завершена и вся последующая обработка будет производиться при помощи приводного инструмента вне главной оси детали.

Следующий переход представляет собой фрезерную обработку, поэтому вращение шпинделя было отключено командой M05 и после вызова инструмента была введена команда SETMS(3), что означает обработку при помощи приводного инструмента.

Для обработки шестигранной поверхности будет использоваться цикл фрезерования многогранной цапфы. Для его создания, нажимаем на клавишу в горизонтальной панели “Фрезерование” – “Цапфа многогранная”.

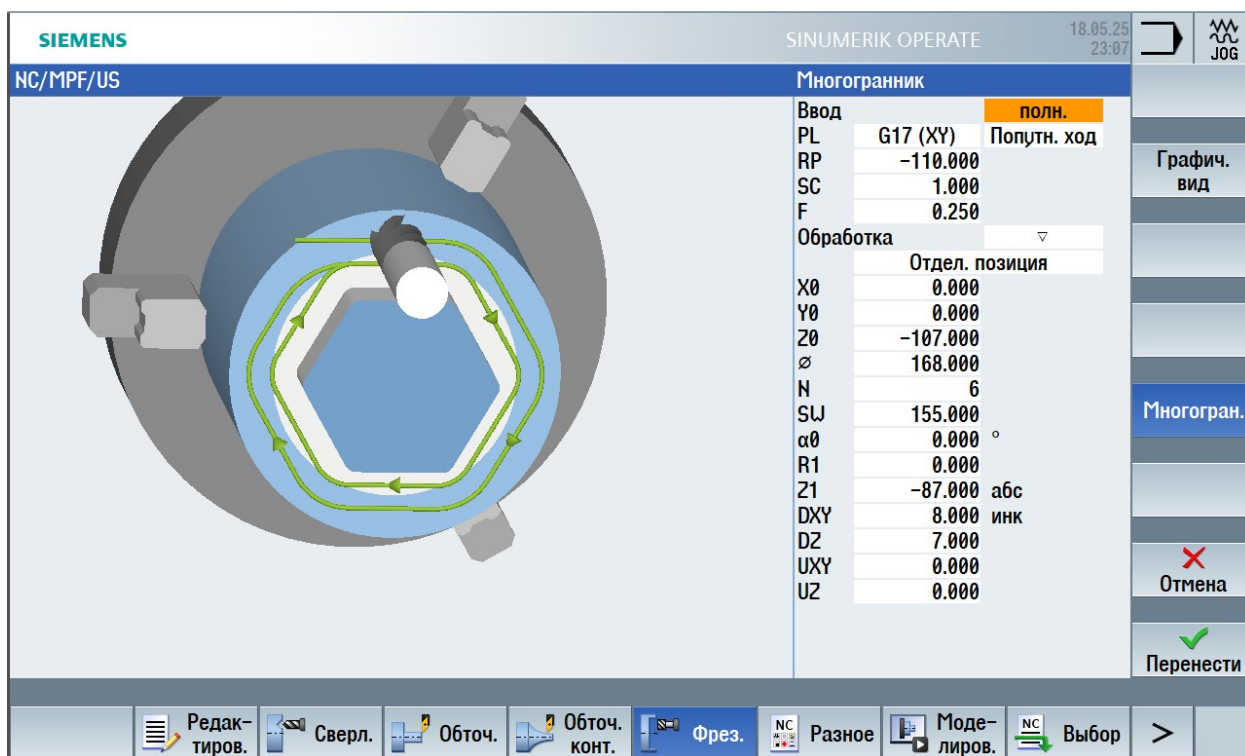


Рис. 70 Обработка шестигранной цапфы в системе Sinumeric 840D

Затем указываем все параметры требуемой поверхности и задаём глубину резания согласно таблицы.

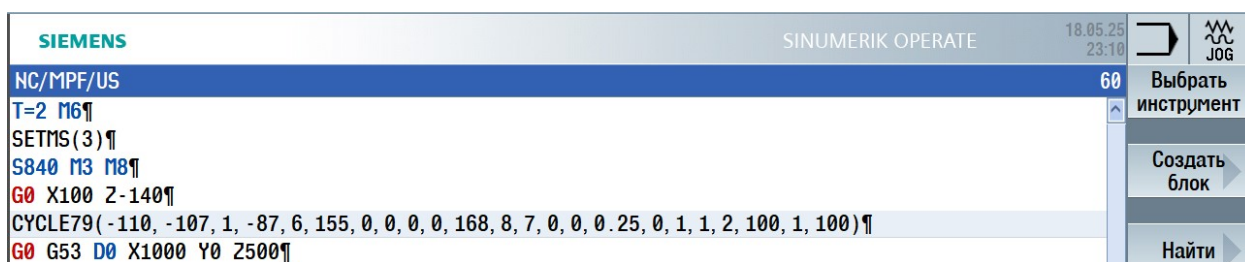


Рис. 71 Программа обработки 6 перехода в системе Sinumeric 840D

Для создания последних двух переходов вызываем инструмент, как это было описано ранее и указываем обработку приводным инструментом. И вызываем цикл сверления отверстий. Для этого на горизонтальной панели нажимаем клавишу “Сверление” и на вертикальной переходим во вкладку “Сверление, развёртывание” и указываем необходимые параметры.

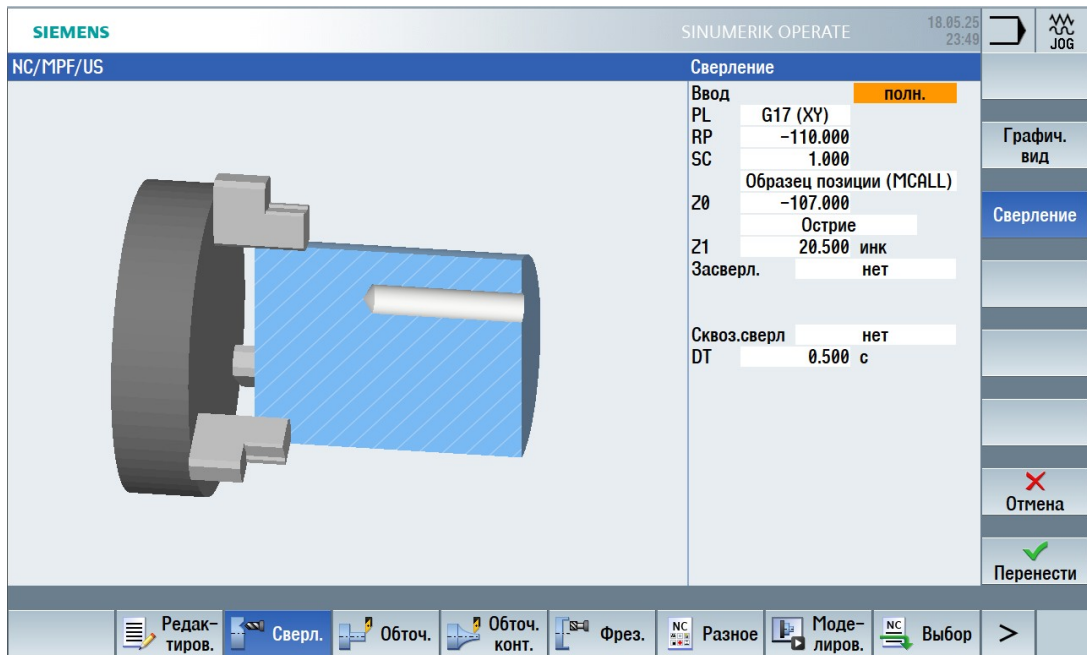


Рис. 72 Цикл сверления отверстий в системе Sinumeric 840D

Также указываем позиции MCALL, данная команда позволяет повторять цикл для нескольких позиций, тем самым делая код более компактный и удобным для написания. По окончании цикла пишется MCALL, для того что бы завершить цикличное повторение.

Массив точек для сверления можно задать при помощи команды HOLES. Для этого нажмём на вкладку “Сверление” – “Позиции” и укажем необходимые параметры.

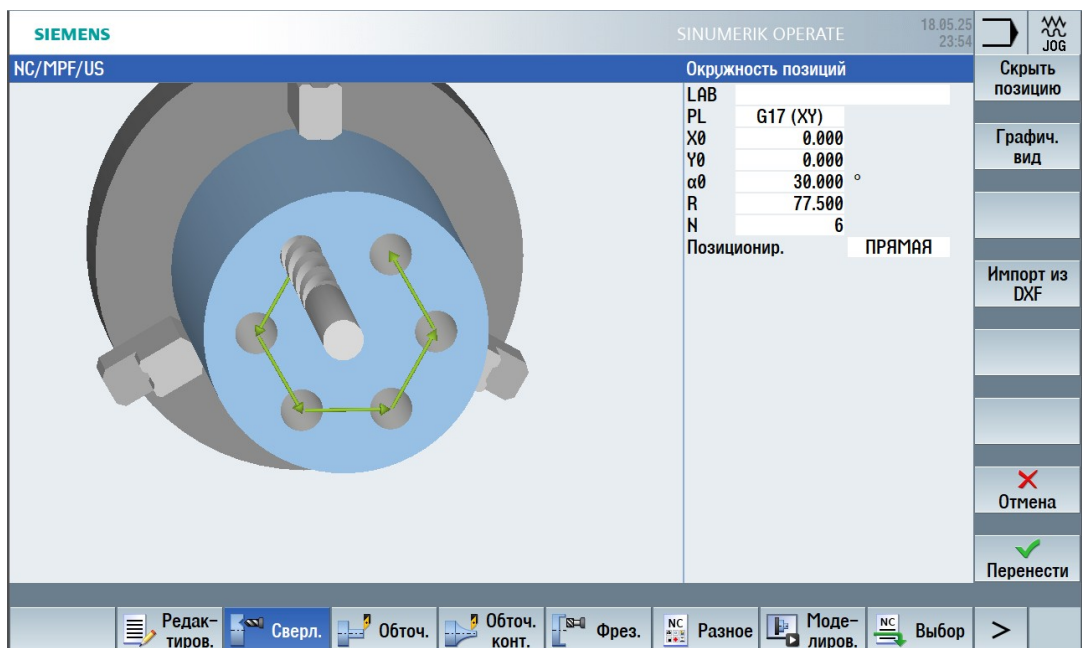


Рис. 73 Создание позиций отверстий в системе Sinumeric 840D

Таким же образом нарезаем резьбу в отверстиях. Для этого вызывается соответствующий инструмент и цикл нарезания резьбы, указывается команда MCALL и позиции для неё.

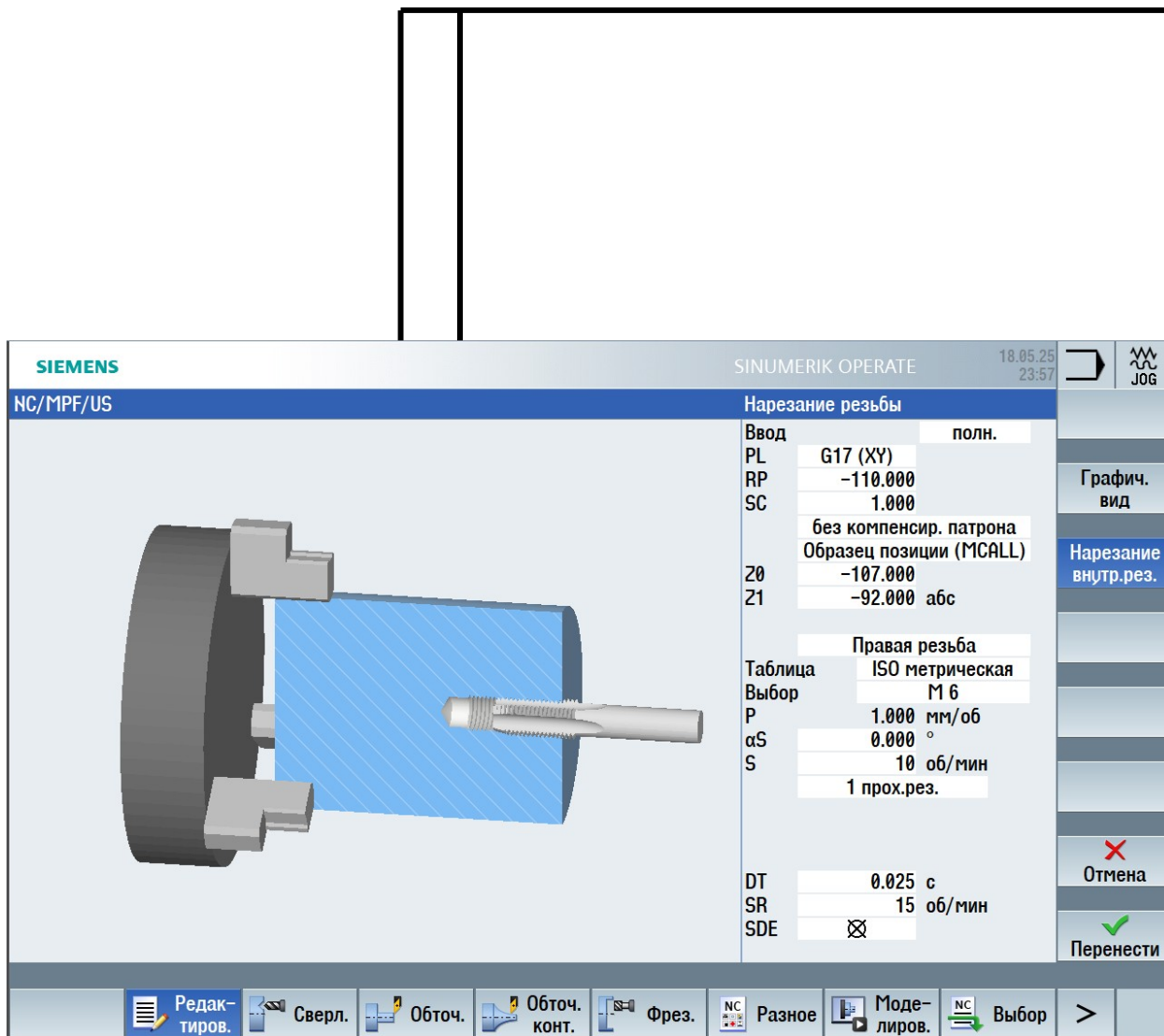


Рис. 74 Цикл нарезания резьбы в отверстиях в системе Sinumeric 840D

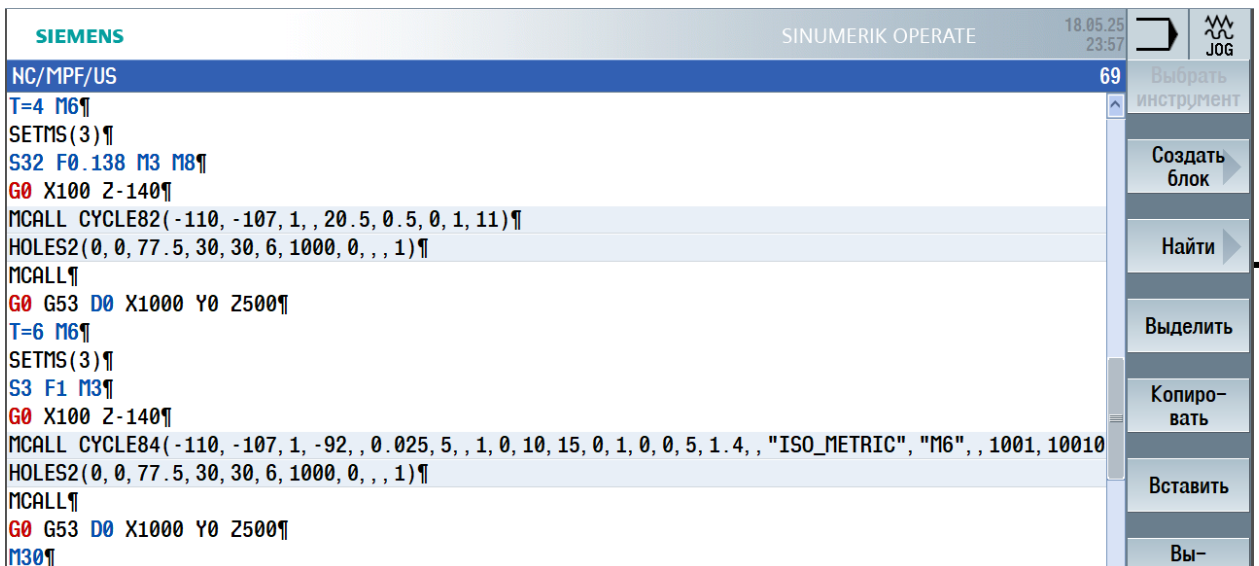


Рис. 75 Программа обработки 7 и 8 перехода в системе Sinumeric 840D

Программа заканчивается командой M30.

M30 – команда выполняет окончание программы с автоматическим возвратом к её началу.

После данной команды указываются контуры обработки, на которые ссылается программа во время обработки.

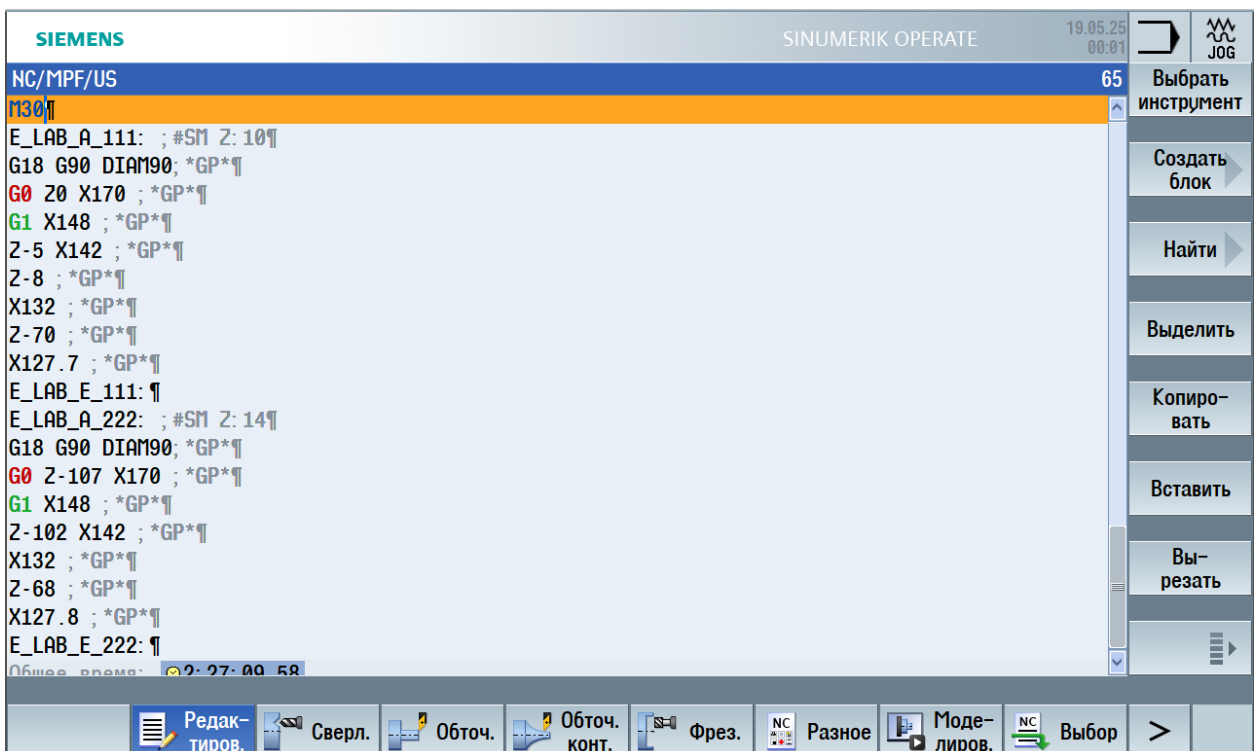


Рис. 76 Контуры обработки в системе Sinumeric 840D

### 2.9.3 Симуляция разработанной управляющей программы в системе Sinumeric

Для проверки созданной управляющей программы в системе Sinumeric 840D имеется специальный модуль “Моделирование”.

Он позволяет посмотреть предполагаемый процесс обработки и выявить ошибки или неправильные перемещения инструмента, на стадии проектирования программы.

Для запуска симуляции обработки на горизонтальной панели нажмём клавишу “Моделирование” и при помощи клавиш на вертикальной панели выберем интересующий нас вид и скорость подачи, это позволит точнее рассмотреть траекторию обработки детали.

В результате симуляции отображается трёхмерная модель полученной детали и траектория движения инструментов.

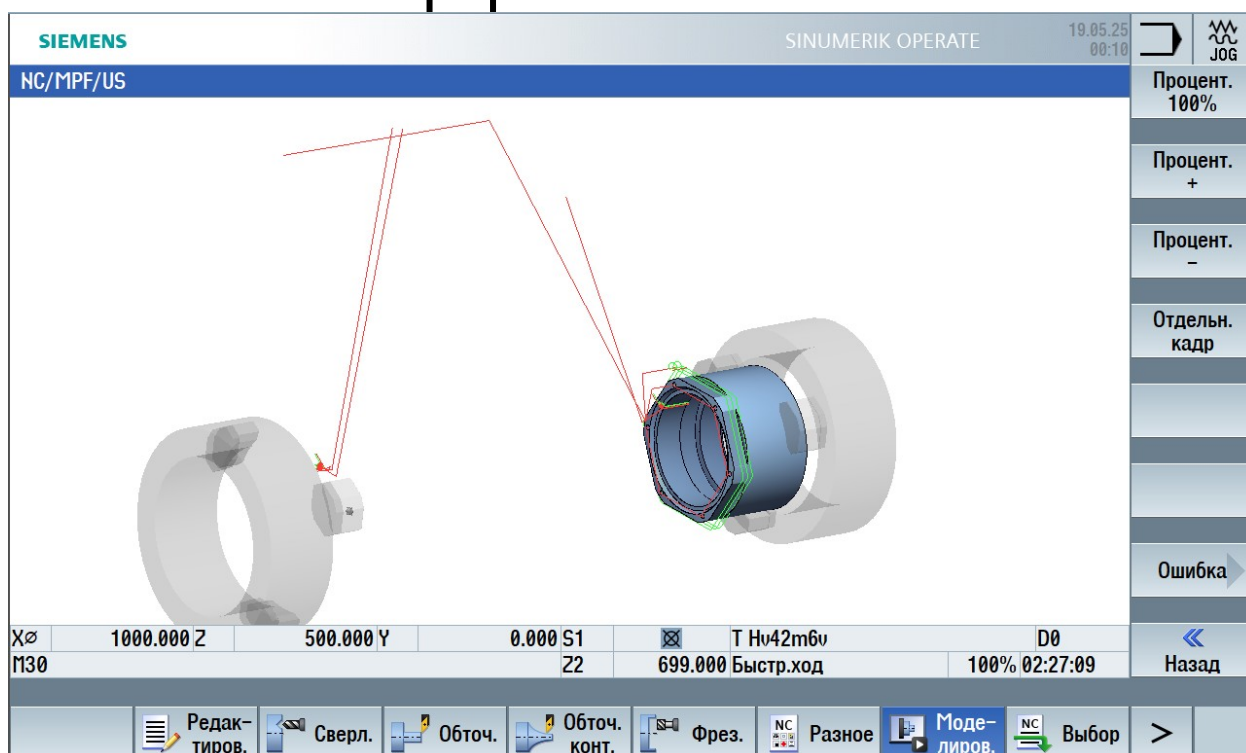


Рис. 77 Траектория движения инструмента в системе Sinumeric 840D

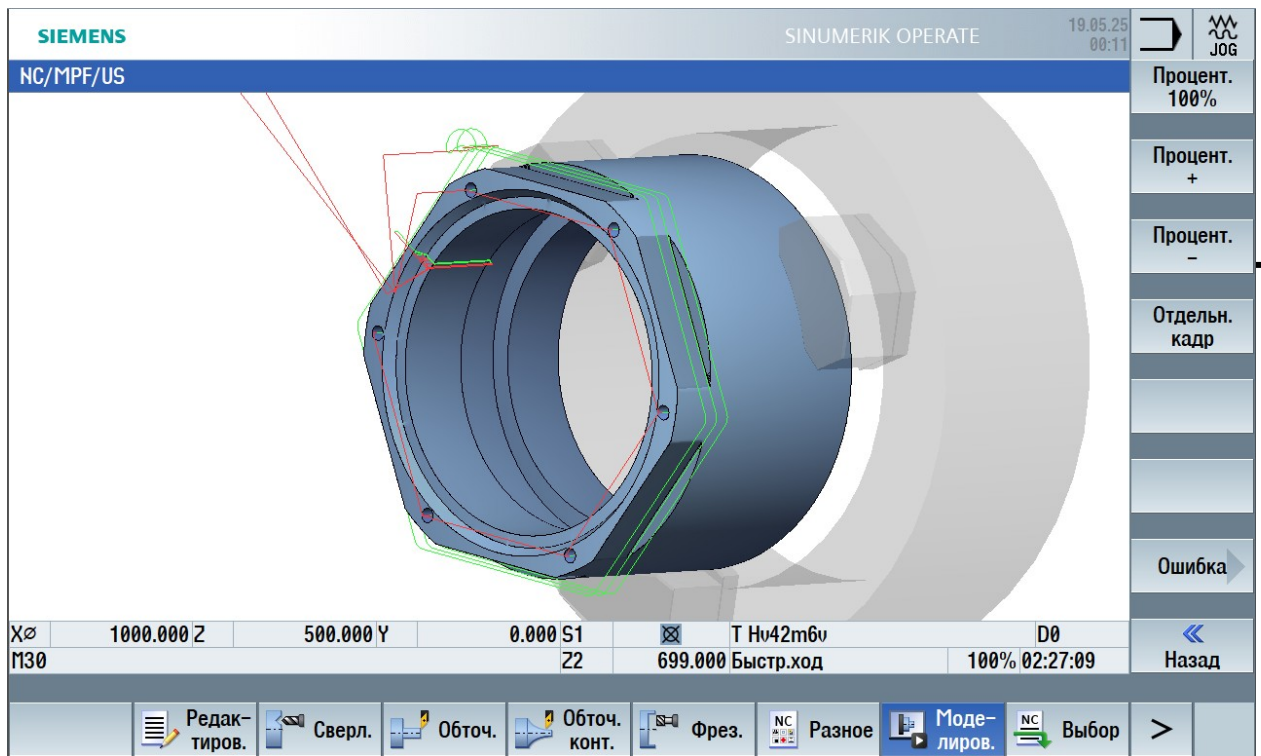


Рис. 78 Готовая деталь в системе Sinumeric 840D

## 2.10 Разработка управляющей программы обработки детали в САМ модуле системы Siemens NX

### 2.10.1 Создание и редактирование основных элементов обработки

Перед созданием операций механической обработки в САМ – модуле системы Siemens NX необходимо создать сборку деталей, загрузить модель станка, выбрать геометрию детали и заготовки, разместить системы координат в шпинделе и протившпинделе, создать режущий инструмент.

Вначале создадим сборку для обработки, она будет в себя включать 3D модель заготовки и детали. Для этого возьмём 3D модель из пункта 1.1.3. Так как из-за удобства работы с зубчатыми колёсами деталь была создана в программе Компас 23, перенесём её в SiemensNX при помощи формата файла IGS. Модель заготовки изготовим при помощи функций цилиндр и отверстие.

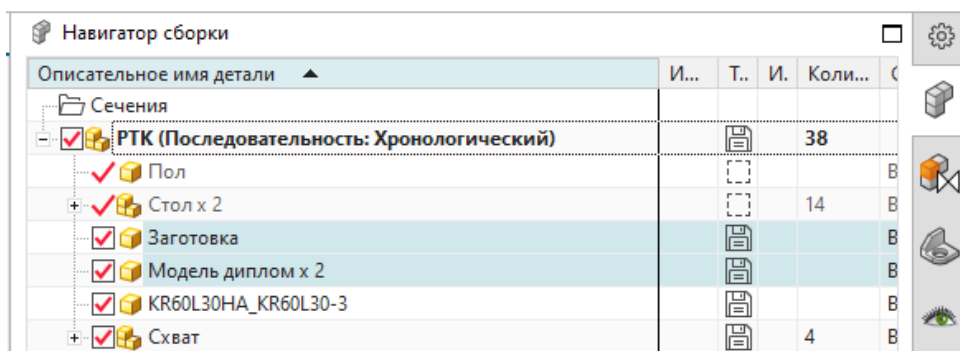


Рис. 79 Сборка для создания обработки в NXCAM

Далее запускаем модель обработки с ссылкой на данную сборку. Загружаем один из встроенных в NXCAM станков, который подходит нам по характеристикам и функционалу, при помощи команды “Переместить компонент” задаём нужное положение для всех элементов.

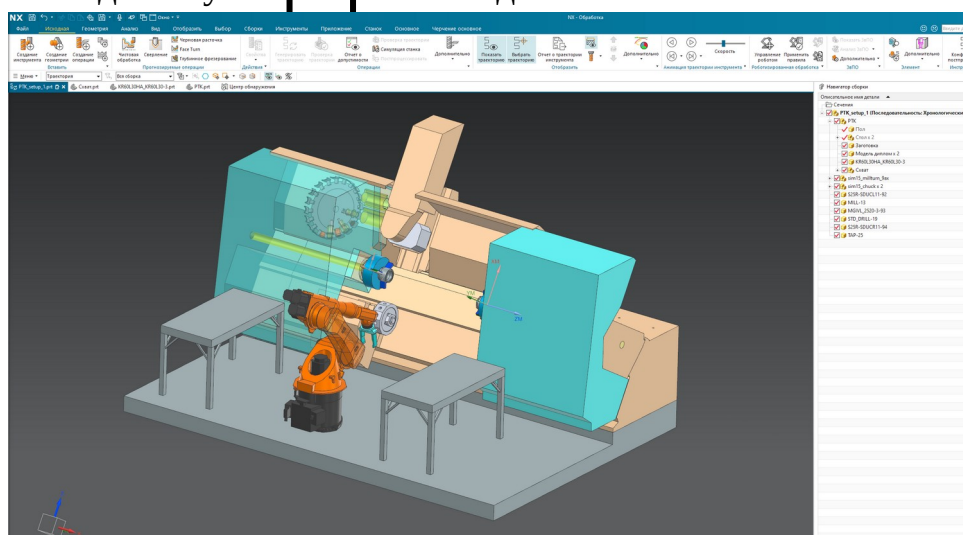


Рис. 80 Модель РТК в модуле NXCAM

Затем приступаем к редактированию основных родительских групп. Модуль NXCAM включает в себя 4 родительских группы, а именно:

1. Группа операций
2. Группа геометрии
3. Группа инструментов
4. Группа методов

Группы операций — объединяют однотипные операции (например, черновую и чистовую обработку) для удобного управления и настройки параметров сразу для нескольких процессов.

Группы геометрии — содержат связанные элементы, такие как заготовка, деталь и зоны обработки, позволяя централизованно задавать геометрические данные для разных операций.

Группы инструментов — хранят инструменты (фрезы, сверла, резцы) с их параметрами, что ускоряет выбор и повторное использование в разных операциях.

Группы методов — определяют стратегии обработки (например, «Черновая», «Получистовая», «Чистовая»), задавая общие параметры скорости, подачи и точности для операций внутри группы.

Начнём с редактирования группы геометрии. Для этого перейдём в соответствующую вкладку “Вид геометрии”. После чего редактируя объект G54, задаём правильное положение системы координат детали.

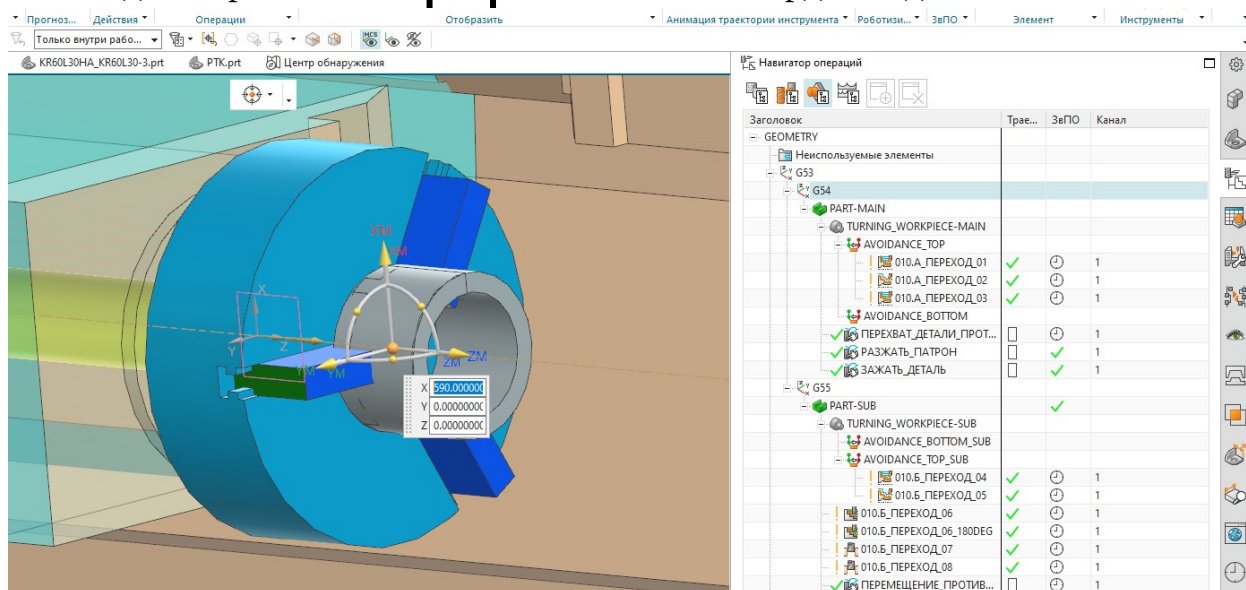


Рис. 81 Положение системы координат детали

И редактируя объект G55 аналогично задаём положение системы координат в противощпинделе.

После чего редактируя объекты “PART-MAIN” и “PART-SUB” указываем геометрию заготовки и детали для шпинделя и противощпинделя соответственно. Для заготовки в противощпинделе выбираем ЗвПО (Заготовка в процессе обработки) с источником “PART-MAIN”

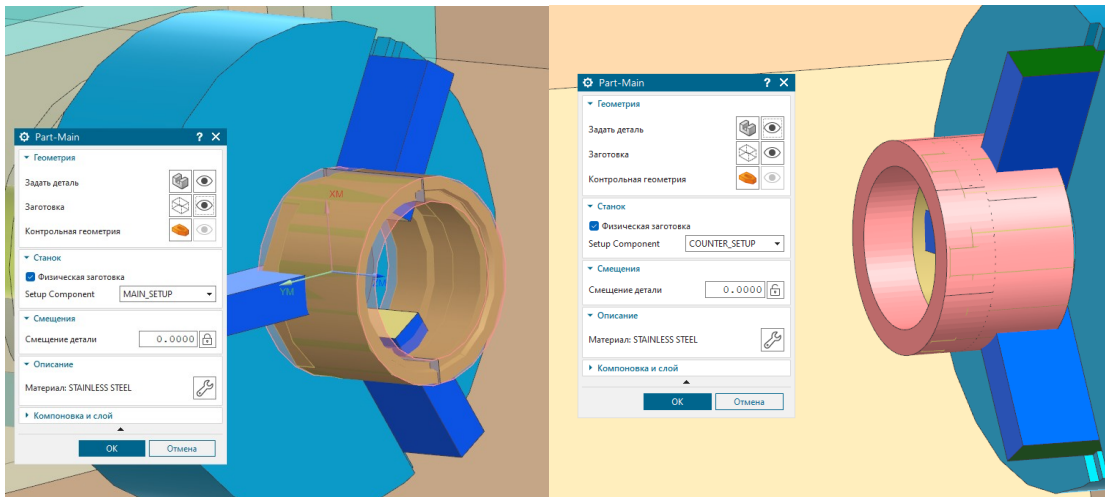


Рис. 82 Геометрия детали и заготовки

Так же настраиваем ссылочные позиции для переноса геометрии заготовки в объект TURNING\_WORKPIECE-SUB. Ну и прописываем заготовку и деталь в кинематическую настройку станка для корректного отображения симуляции обработки.

Перед созданием операций также нужно создать необходимые режущие инструменты. Для этого перейдем во вкладку “Вид инструментов” и командой “Создание инструмента” создадим резец согласно параметрам, которые мы определили ранее.

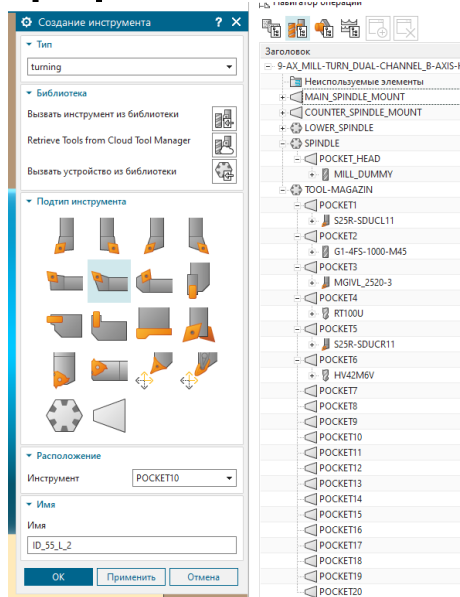


Рис. 83 Создание режущего инструмента

После выбора подходящего подтипа, выбора расположения в магазине и названия, открывается окно, в котором вводятся параметры пластины, держателя и адаптера. Заполняем согласно выбранного инструмента.

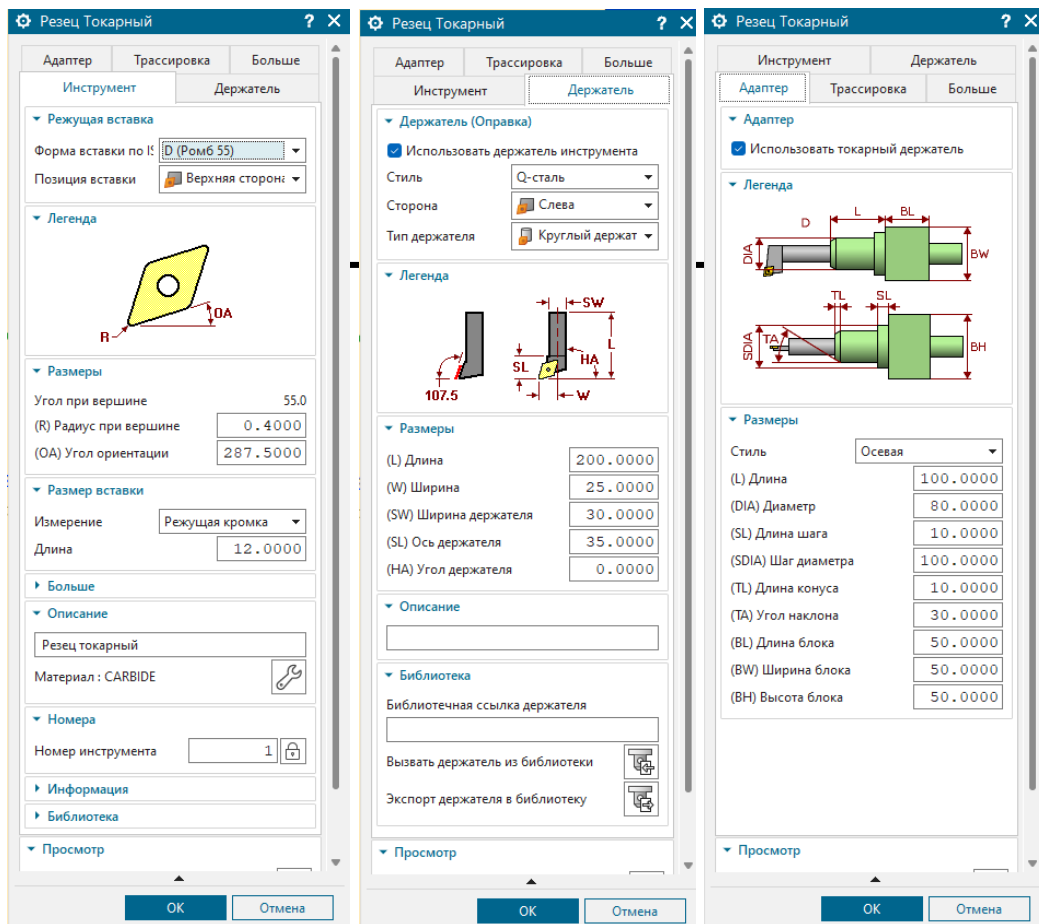


Рис. 84 Создание режущего инструмента “S25R-SDUCL11”

Аналогично создаём остальные инструменты. Важно не забыть указать регистр настройки = 1 для инструментов с осевым вращением, так как траектория построена уже с учётом диаметра инструмента и коррекция не требуется.

Инструмент	Регистр	Параметры
TOOL-MAGAZIN	1	
POCKET1	1	
+ S25R-SDUCL11	1	
POCKET2	1	
+ G1-4FS-1000-M45	1	
POCKET3	1	
+ MGIVL_2520-3	1	
POCKET4	1	
+ RT100U	1	
POCKET5	1	
+ S25R-SDUCR11	1	
POCKET6	1	
+ HV42M6V	1	

Рис. 85 Список инструментов для обработки в NXCAM

## 2.10.2 Создание операций механической обработки

Разрабатываемая управляющая программа токарно-фрезерной обработки для Оп.010 содержит 8 переходов что соответствует 8 операциям

обработки. Так же надо учитывать операции предназначенные для автоматизации обработки, такие как зажим и разжим патрона, перемещение детали в противошпindelь.

Для создания операции перейдем во вкладку “Создание операции” и выберем интересующий нас, тип операции.

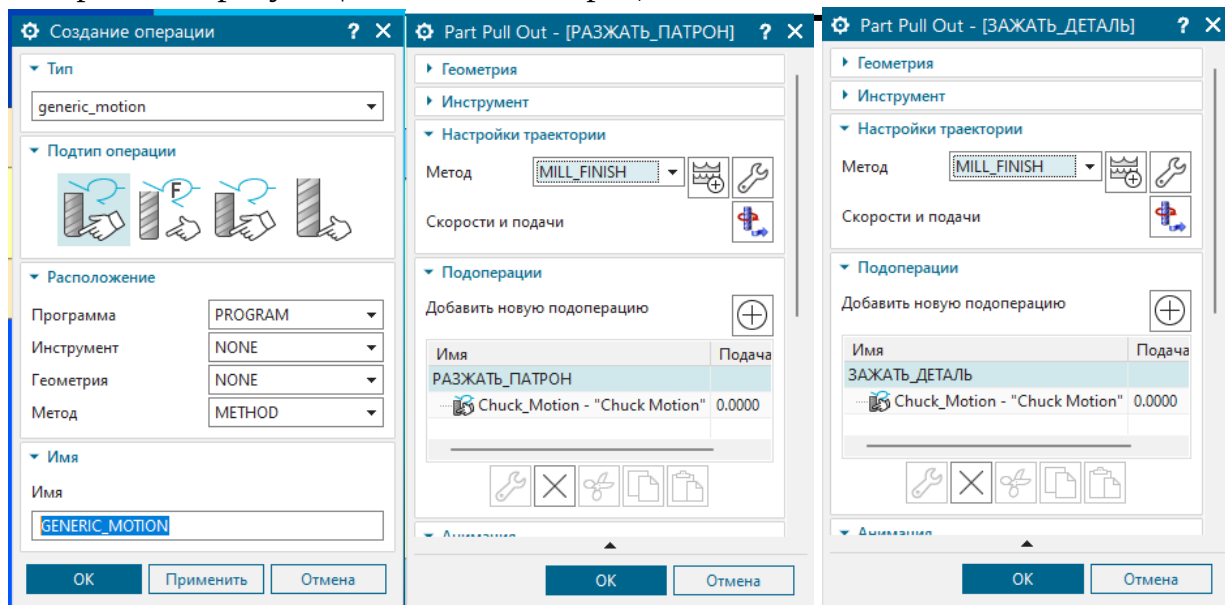


Рис. 86 Создание операции зажима и разжима патрона

После создания операции зажима и разжима детали, переходим к основным операциям обработки.

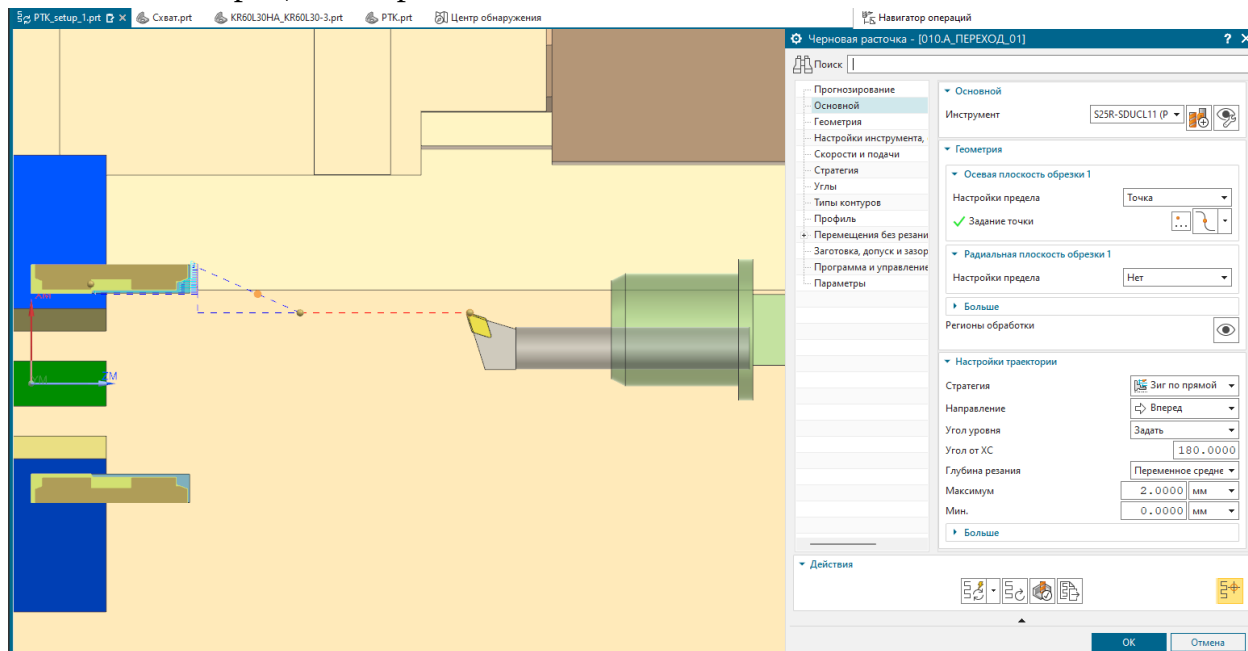


Рис. 87 Переход 1, траектория инструмента и область обработки

При создании операции указывается требуемый инструмент, геометрия и метод обработки. В качестве геометрии выбираем “TURNING\_WORKPIECE-MAIN” так как обработка токарного типа.

Припуски и режимы резания на все операции разные, метод обработки не будет учитываться. Также необходимо задать холостые перемещения, маневрирование, для того что бы избежать врезания инструмента в деталь и указать плоскости обрезки. Плоскость обрезки позволяет ограничить область резания до требуемого уровня.

По аналогии создаю все операции, выполняемые в основном шпинделе станка.

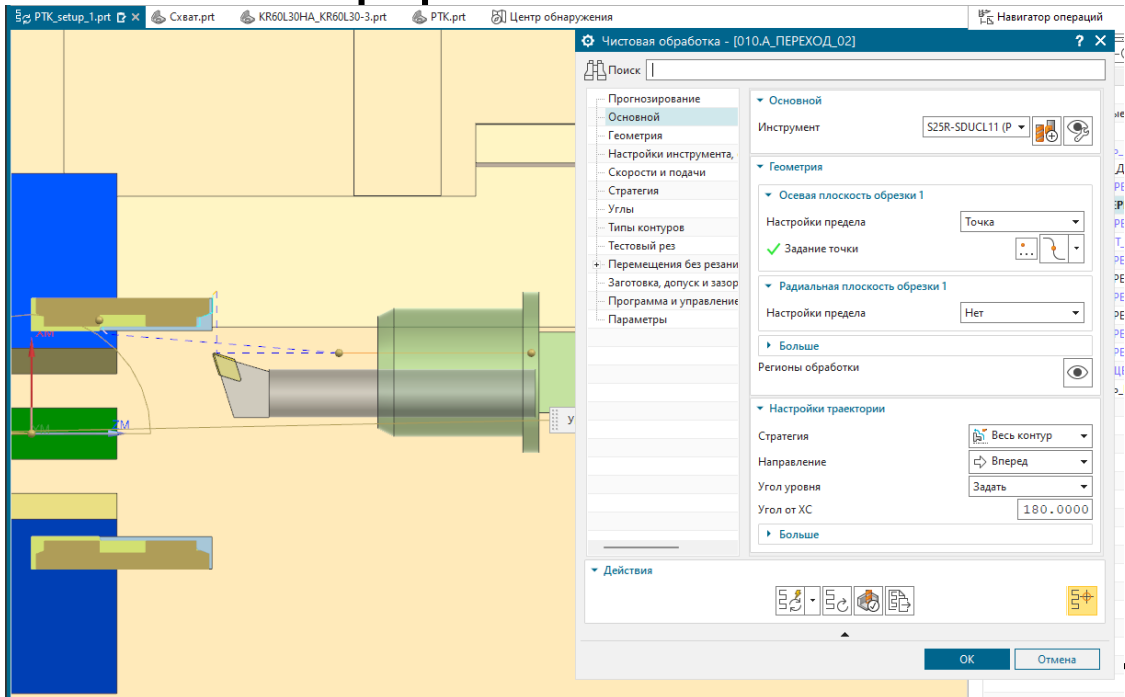


Рис. 88 Переход 2, траектория инструмента и область обработки

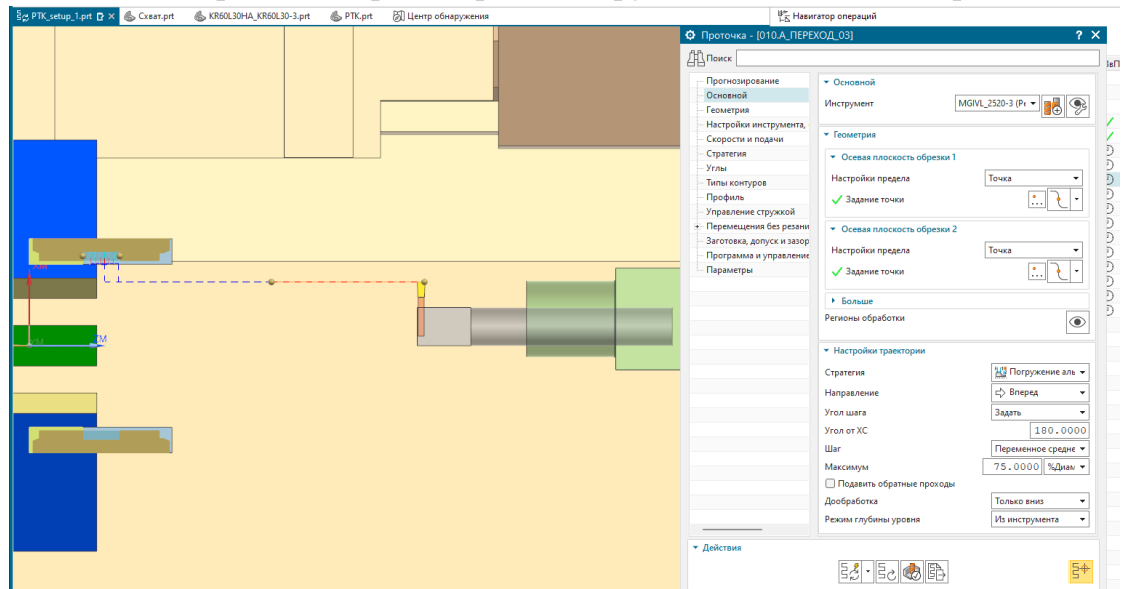


Рис. 89 Переход 3, траектория инструмента и область обработки

Далее деталь переустанавливается в противошпиндель станка, для этого существует специальная операция. В качестве инструмента выбирается "MILL\_DUMMY" – фреза пустышка, которая привязана к кинематике

противошпинделя и позволяет с определённой подачей, переместить его на требуемое расстояние с требуемой скоростью.

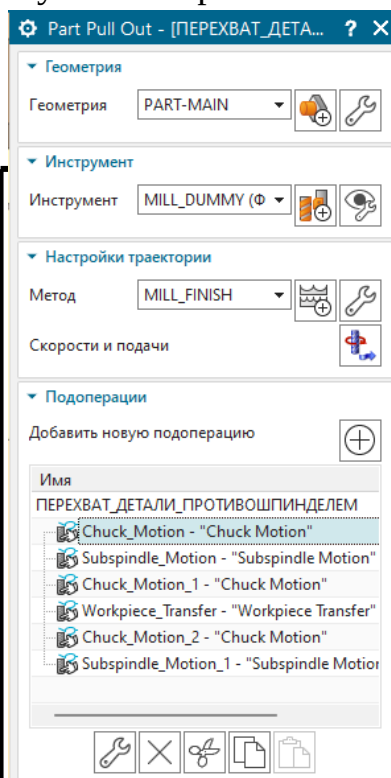


Рис. 90 Создание операции перемещения детали в противошпиндель

Данная операция состоит из следующих подопераций:

1. Chuck\_Motion – Разжим кулачков патрона в противошпинделе.
2. Subspindel\_Motion – Перемещение противошпинделя на требуемую координату.
3. Chuck\_Motion – Зажим кулачков патрона в противошпинделе.
4. Workpiece\_Transfer – передача геометрии заготовки в систему координат противошпинделя.
5. Chuck\_Motion – Разжим кулачков патрона в основном шпинделе.
6. Subspindel\_Motion – Перемещение противошпинделя в домашнюю координату для начала обработки.

После переустановки детали аналогично выше описанному алгоритму создаём операции токарной обработки согласно плану обработки, геометрия изменится на “TURNING\_WORKPIECE-SUB”.

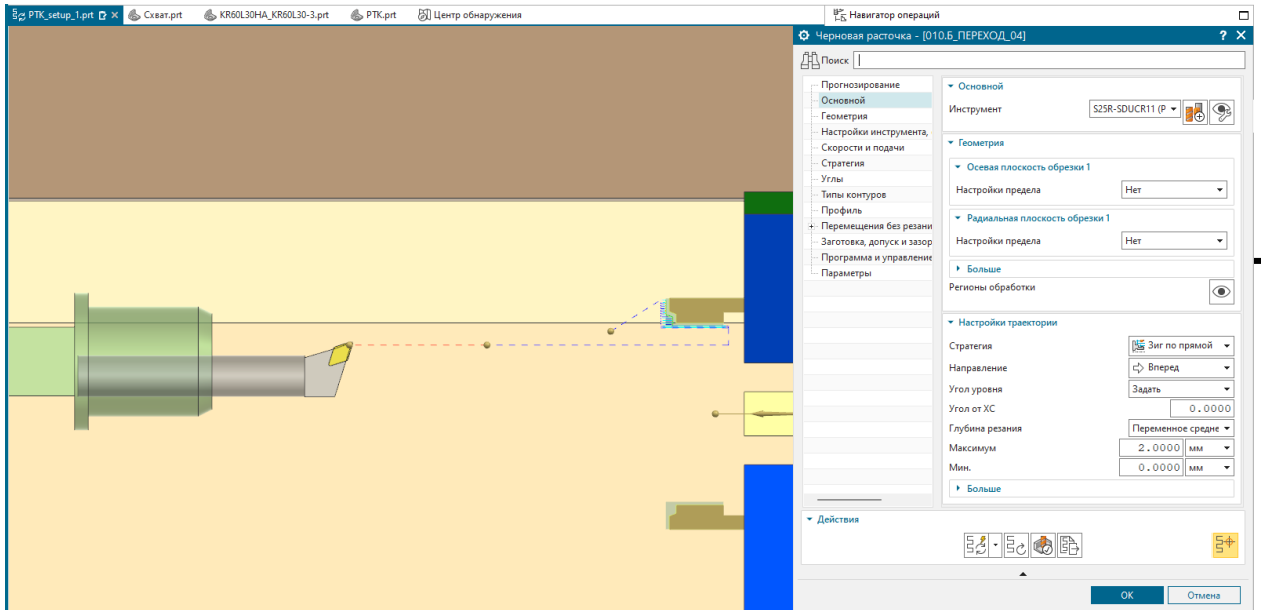


Рис. 91 Переход 4, траектория инструмента и область обработки

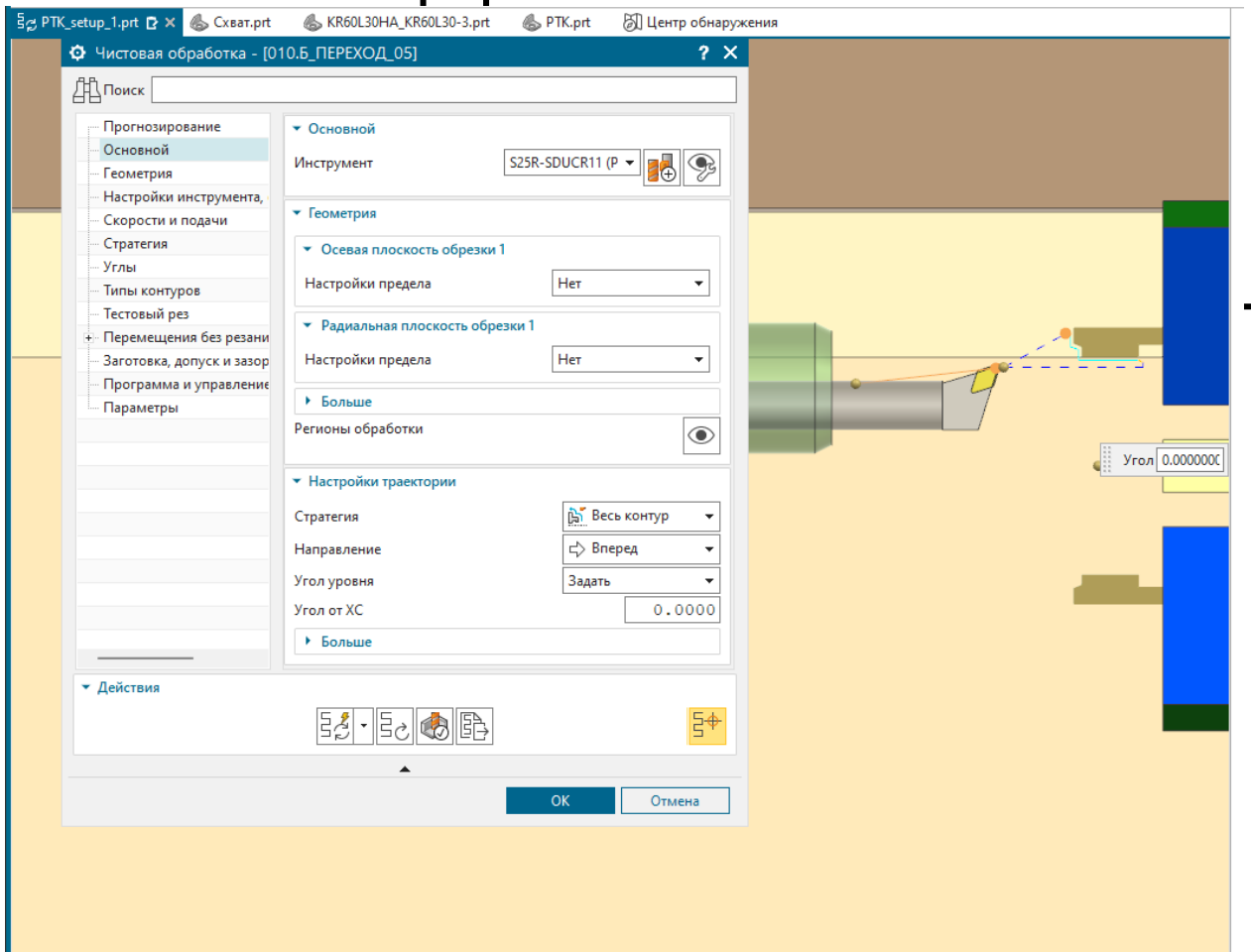


Рис. 92 Переход 5, траектория инструмента и область обработки

Затем переходим к фрезерной обработке, в качестве геометрии указываем PART-SUB, так как это 3х осевая обработка.

Из-за размеров детали, станку не хватает максимально допустимых перемещений по оси X, поэтому переход 6 будет разбит на 2 отдельные подоперации. В первой операции мы обрабатываем верхние плоскости шестигранной поверхности. Так же указываем маневрирование и режимы резания.

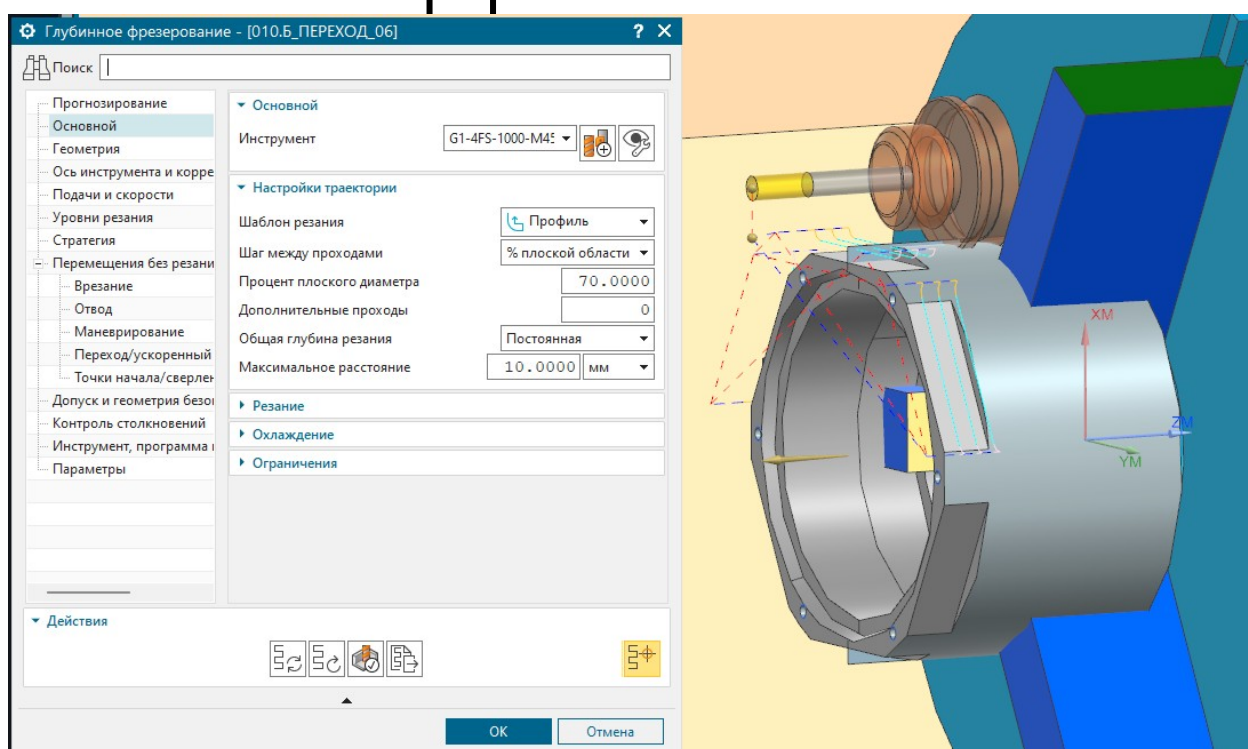


Рис. 93 Переход 6.1, траектория инструмента и область обработки

Для обработки оставшихся плоскостей, создадим подобную операцию, но во вкладке “Инструмент, программа и управление станком” введём события, задаваемые пользователем. В начале операции “Rotate” – поворот по часовой стрелке оси протившпинделя на 180 °, а в конце операции поворот против часовой стрелки оси протившпинделя на 180 °. Тем самым при симуляции и работе настоящего станка, деталь перевернётся и обрабатывающий центр не выйдет за предельные значения осей.

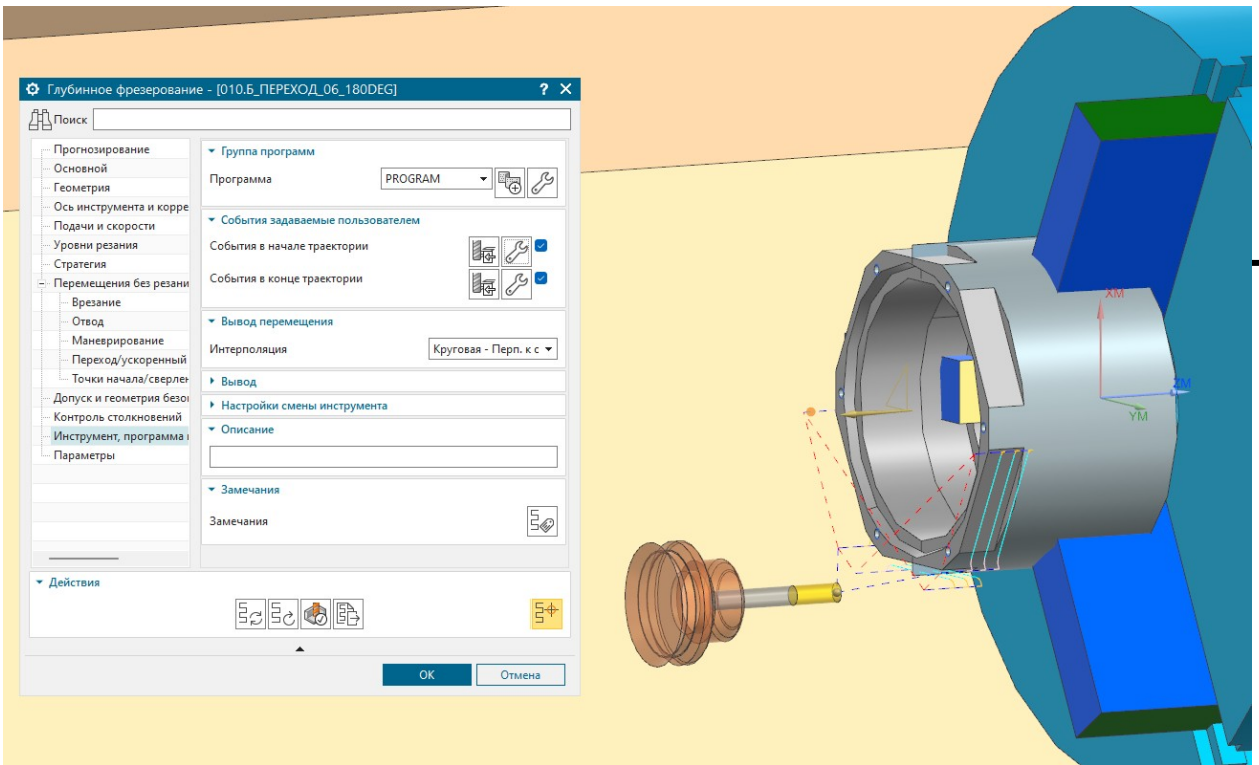


Рис. 94 Переход 6.2, траектория инструмента и область обработки  
 Далее производится сверление отверстий, геометрия PART-SUB.

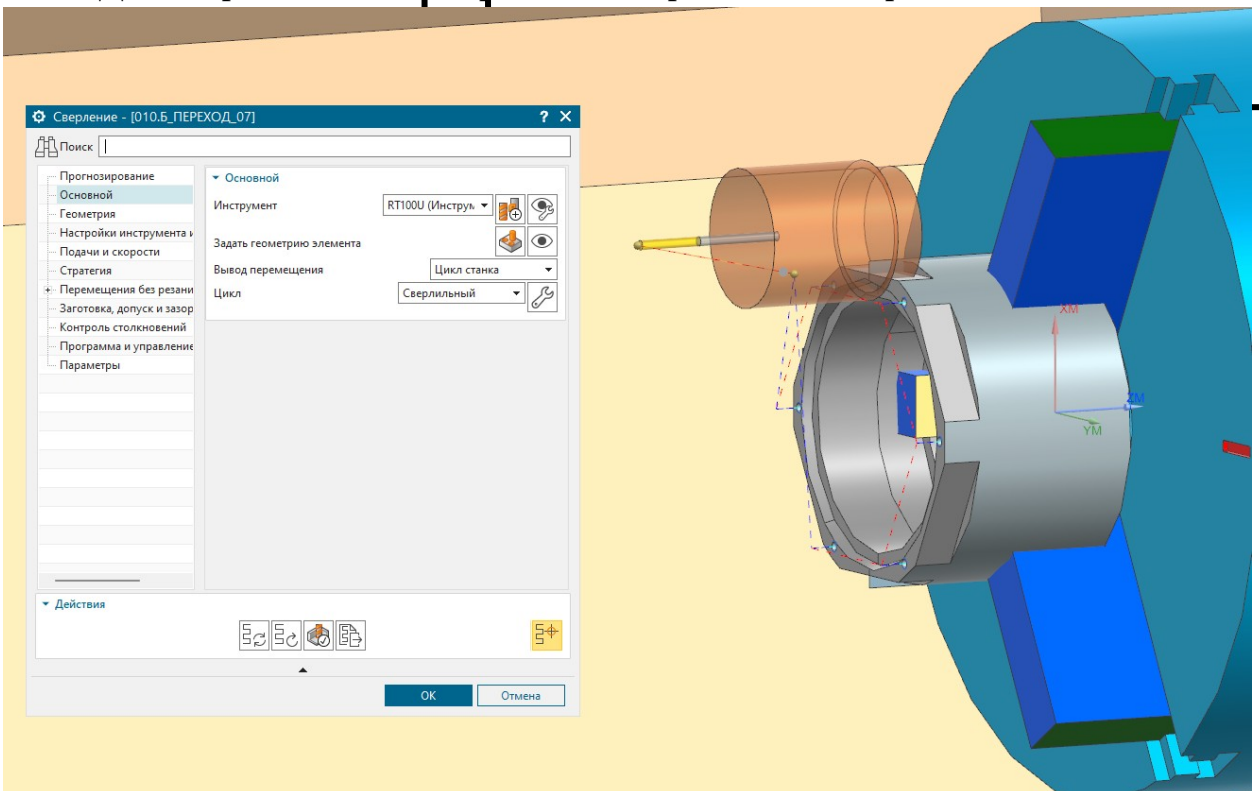


Рис. 95 Переход 7, траектория инструмента и область обработки

И заключительный этап обработки, нарезание резьбы, он выполняется аналогично операции сверления.

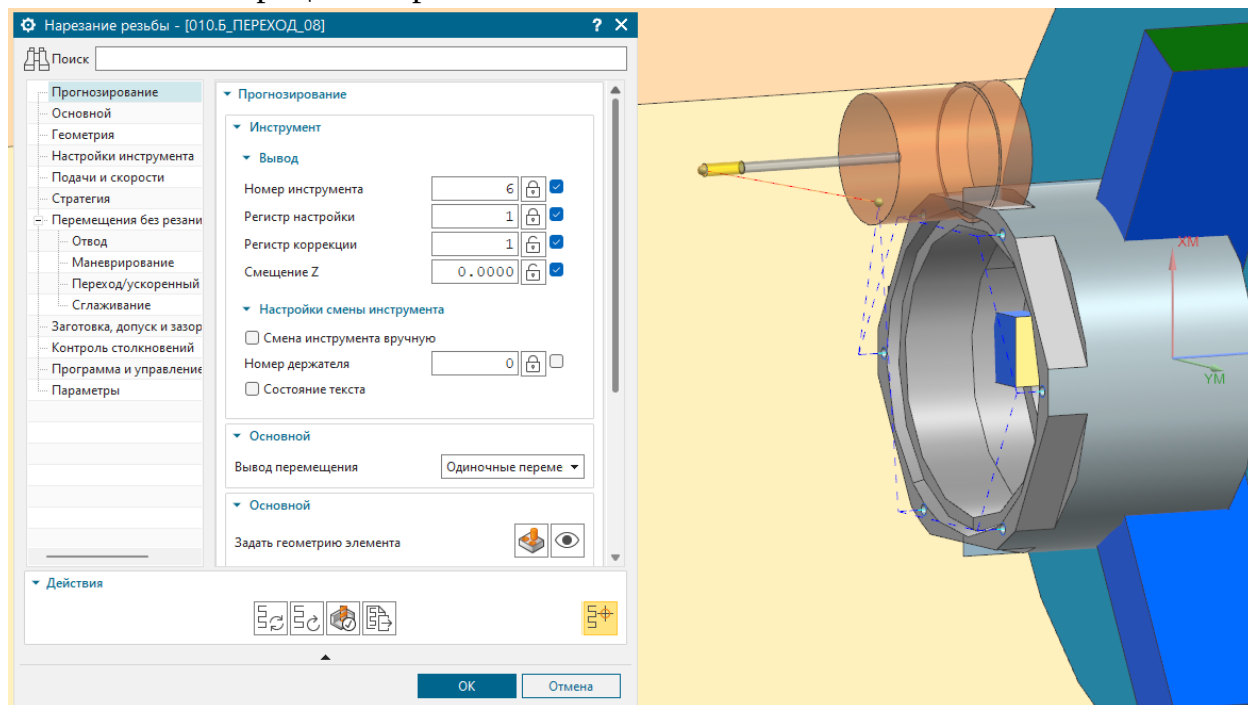


Рис. 96 Переход 8, траектория инструмента и область обработки

Так как обработка автоматизированная, добавим операции перемещения протившпинделя и разжима патрона, для того что бы промышленный робот смог забрать деталь после обработки.

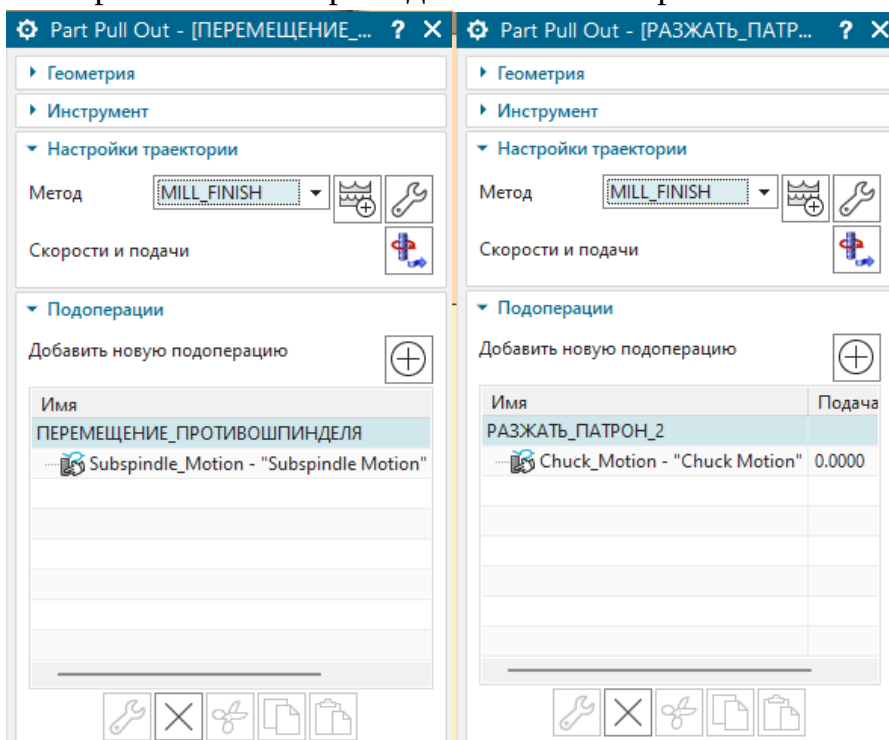


Рис. 97 Создание операции перемещения шпинделя и разжима патрона

Заголовок	Сме...	Трае...	ЗвПО	Канал	Инструмент	Описание инструмента
NC_PROGRAM						
Неиспользуемые элементы						
PROGRAM						
РАЗЖАТЬ_ПАТРОН	☑	☐	☑	1	MILL_DUMMY	Фреза 5 параметров
ЗАЖАТЬ_ДЕТАЛЬ	☑	☐	☑	1	MILL_DUMMY	Фреза 5 параметров
010.А_ПЕРЕХОД_01	☑	☑	⌚	1	S25R-SDUCL11	Резец токарный
010.А_ПЕРЕХОД_02	☑	☑	⌚	1	S25R-SDUCL11	Резец токарный
010.А_ПЕРЕХОД_03	☑	☑	⌚	1	MGIVL_2520-3	Резец токарный канаво...
ПЕРЕХВАТ_ДЕТАЛИ_ПРОТИВОШПИНДЕЛ...	☑	☐	⌚	1	MILL_DUMMY	Фреза 5 параметров
010.Б_ПЕРЕХОД_04	☑	☑	⌚	1	S25R-SDUCR11	Резец токарный
010.Б_ПЕРЕХОД_05	☑	☑	⌚	1	S25R-SDUCR11	Резец токарный
010.Б_ПЕРЕХОД_06	☑	☑	⌚	1	G1-4FS-1000-M45	Фреза 5 параметров
010.Б_ПЕРЕХОД_06_180DEG	☑	☑	⌚	1	G1-4FS-1000-M45	Фреза 5 параметров
010.Б_ПЕРЕХОД_07	☑	☑	⌚	1	RT100U	Инструмент для обрабо...
010.Б_ПЕРЕХОД_08	☑	☑	⌚	1	HV42M6V	Резьба
ПЕРЕМЕЩЕНИЕ_ПРОТИВОШПИНДЕЛЯ	☑	☐	⌚	1	MILL_DUMMY	Фреза 5 параметров
РАЗЖАТЬ_ПАТРОН_2	☑	☐	⌚	1	MILL_DUMMY	Фреза 5 параметров

Рис. 98 Полный список операций обработки детали

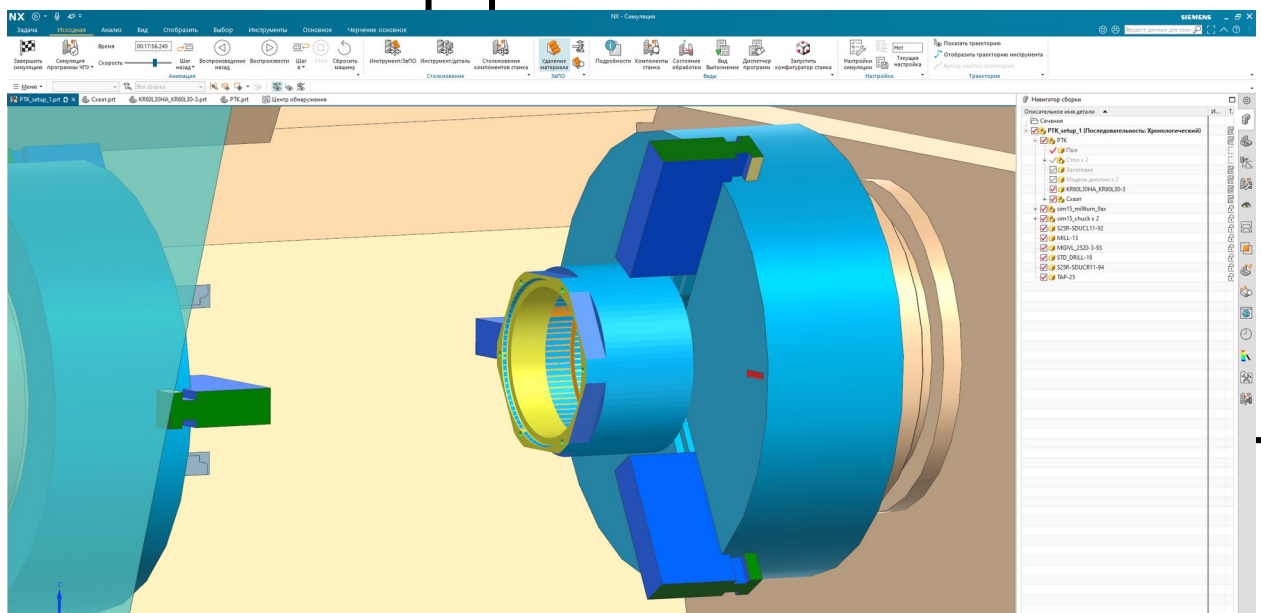


Рис. 99 Результат работы всей программы и её симуляции в NXCAM

### 2.10.3 Формирование управляющей программы

Для качественной работы станка необходимо ещё раз проверить все операции на наличие “зарезов” и столкновений, после чего можно переходить к формированию управляющей программы для обработки детали “Полумуфта зубчатая”

В системе Siemens NX CAM существует отдельная вкладка “Постпроцессировать”. Перед тем как нажать на неё, выбираем необходимые к постпроцессированию операции в виде операций.

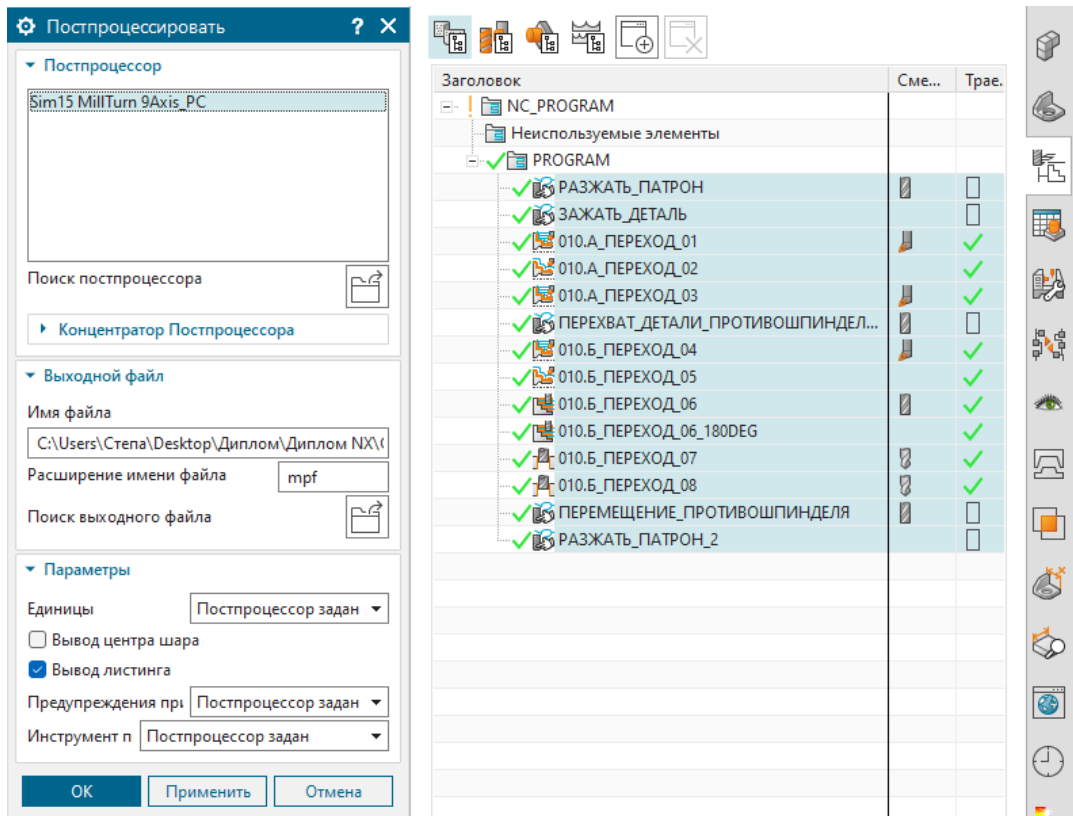


Рис. 100 Постпроцессирование в системе NXCAM

Выбираем требуемый постпроцессор, единицы измерения и расположение выходного файла. Затем постпроцессуем и получаем готовую программу для работы на станке с ЧПУ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выпускной квалификационной работы разработана автоматизированная технология для производства детали «Полумуфта зубчатая», включающая в себя технологический процесс, роботизированный технологический комплекс и управляющую программу.

Для формирования комплекта технологической документации был произведён анализ детали и её заготовки, составлен план обработки, рассчитаны размерные цепи, режимы резания и нормы времени. А также подобраны средства технологического оснащения, исходя из ранее приведенных расчетов.

В ходе проектирования РТК был подобран промышленный робот, произведён анализ его использования и составлена циклограмма нагружения.

Для станков с ЧПУ разработана управляющая программа в САМ – модуле Siemens NX и в CNC – системе Sinumerik 840D.

В общем и целом, в выпускной квалификационной работе на тему «Проектирование процесса изготовления детали "Полумуфта зубчатая" с разработкой токарно-фрезерных операций в САМ-системе» реализованы все поставленные цели и задачи с использованием полученных знаний.

## CONCLUSION

In the course of the final qualifying work, an automated technology for the production of the "Gear Coupling Half" part was developed, including a technological process, a robotic technological complex, and a control program.

To prepare a set of technological documentation, an analysis of the part and its blank was carried out, a machining plan was developed, dimensional chains were calculated, cutting conditions and time norms were determined. Additionally, the necessary technological equipment was selected based on the previously performed calculations.

During the design of the robotic technological complex (RTC), an industrial robot was chosen, its operational efficiency was analyzed, and a load cycle diagram was compiled.

For CNC machines, a control program was developed in the CAM module of Siemens NX and the CNC system Sinumerik 840D.

Overall, the final qualifying work on the topic "Designing the Manufacturing Process of the 'Gear Coupling Half' Part with the Development of Turning and Milling Operations in a CAM System" successfully achieved all set goals and objectives, utilizing the acquired knowledge and skills.

### Список использованных источников и литературы

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя.Т.1. 2011. – 897 с.
2. А.И. Астахов, С.В. Бояршинов, Б.Н. Вардашкин. Станочные приспособления.: М, Машиностроение, 2011, Т.1, -592 с.
3. А.К. Горошкин «Приспособления для металлорежущих станков» Справочник. М, Машиностроение, 2012. – 695 с.
4. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник / Под ред. В. И. Баранчикова. М.: Машиностроение, 1990. 400.с
5. Бурчаков Ш.А., Ухватов Н.Н. Технология машиностроения. Учебное пособие для студентов заочного и вечернего обучения. Казань, 2013. – 187 с.
6. Коровин Е.М. Зыков В.Ю. Расчет режимов резания конструкционных материалов: Учебное пособие. Казань. Издательство Казанского государственного технического университета, 2012. -47с.
7. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 1, 2.Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1985. 496.с
8. Кривоухов В.А. Петруха П.Г. и др. Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки. М: Машиностроение, 2012. -615 с.
9. Панов А.А. и др. Обработка металлов резанием. М: Машиностроение, 2012. -736 с.
- 10.Безъязычный, В.Ф. Основы технологии машиностроения: учебник / В.Ф. Безъязычный. — 2-е изд. — Москва : Машиностроение, 2016. — 568 с.
- 11.Маталин, А.А. Технология машиностроения: учебник / А.А. Маталин. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 512 с.
- 12.Допуски и посадки/ В.Д. Мягков, М.А. Палей и др.-Л: Машиностроение. Ле-нингр. Отд-ие, 1982. – Ч.2.448 с., ил.

13. Altintas Y. Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design, 1 edition. — Butterworth-Heinemann, 326 p.
14. Davim J.P. (Ed.) Modern Manufacturing Engineering, Springer, 2015. — VIII, 321 p.
15. ГОСТ 7062-90. Поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые ковкой на прессах. Припуски и допуски. Государственный стандарт. Введен. 01.01.92. 47 с.
16. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные: допуски, припуски, кузнечные напуски. — М.: Издательство стандартов — с. 2-37
17. ГОСТ 31404-86. Формы и правила оформления документов на технологические процессы и операции обработки резанием. Введен. 01.07.87. 59 с.
18. ГОСТ 3.1001-2011 - Единая система технологической документации. Общие положения
19. ГОСТ 3.1118-82 - Единая система технологической документации. Формы и правила оформления маршрутных карт
20. ГОСТ 3.1126-88 - Единая система технологической документации. Правила выполнения графических документов на поковки
21. ГОСТ 1.41512-86 Детали механообрабатываемые. Размеры технологические нормальные.
22. <http://haas-stanki.ru> - подбор станков HAAS
23. <https://www.plm.automation.siemens.com>
24. <http://mashinform.ru/>

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1. Управляющая программа для установки заготовки в станок, в системе NX CAM

```
N10 DEF REAL _camtolerance
; Base data
N12 _camtolerance=0.06
N14 $P_UIFR[1]=CTrans(X,250.000000,Y,-0.000001,Z,180.000000):CROT(X,0.000000,Y,-
0.000000,Z,0.000000)
N16 TRAFOOF
N18 TRANS
N20 ROT
N22 $MC_ROBX_EXT_ROT_BASE_OFFSET[0]=0.000000
N24 $MC_ROBX_EXT_ROT_BASE_OFFSET[1]=0.000000
N26 $MC_ROBX_EXT_ROT_BASE_OFFSET[2]=0.000000
N28 $MC_ROBX_EXT_ROT_PART_OFFSET[0]=0.000000
N30 $MC_ROBX_EXT_ROT_PART_OFFSET[1]=0.000000
N32 $MC_ROBX_EXT_ROT_PART_OFFSET[2]=0.000000
N34 NEWCONF
; Tool Data
; $TOOL=CTrans(X,0.000000,Y,0.000000,Z,0.000000):CROT(X,-
0.000000,Y,90.000000,Z,0.000000)
N36 $MC_ROBX_TTCFL_POS[0]=0.000000
N38 $MC_ROBX_TTCFL_POS[1]=0.000000
N40 $MC_ROBX_TTCFL_POS[2]=0.000000
N42 $MC_ROBX_TTCFL_RPY[0]=-0.000000
N44 $MC_ROBX_TTCFL_RPY[1]=90.000000
N46 $MC_ROBX_TTCFL_RPY[2]=0.000000
N48 $MC_ROBX_TOOL_DIR=1
N50 NEWCONF
N52 T="DUMMY_MILL" M6
N54 TRAORI
N56 CYCLE832(_camtolerance,_OFF,1)
N58 G54
N60 TRANS X0.0 Y0.0 Z0.0
N62 AROT Z0.0
N64 AROT Y0.0
N66 AROT X0.0
N68 G0 PTP X935.5 Y-30. Z1604. A=180. B=0.0 C=180. STAT=2 TU=11 S0 D1 M3
N70 TRAFOOF
N72 TRANS
N74 ROT
N76 RA11=-90.000000 RA12=-121.050172 RA13=111.598242 RA14=-0.000014 RA15=9.452026
RA16=0.000014
N78 TRAORI
N80 X-380. Y1170. Z962. A=0.0 B=-90. C=-90. STAT=2 TU=3
N82 X-380. Y1370. Z962. A=0.0 B=-90. C=-90. STAT=2 TU=3
N84 ;!# Mount("PART_1")
```

N86 X-380. Y1370. Z1362. A=0.0 B=-90. C=-90. STAT=2 TU=3  
 N88 TRAFOOF  
 N90 TRANS  
 N92 ROT  
 N94 RA11=0.000000 RA12=-109.830883 RA13=115.000000 RA14=93.750000 RA15=15.000000  
 RA16=93.750000  
 N96 TRAORI  
 N98 X1787.215 Y133. Z1250. A=0.0 B=5.169 C=180. STAT=2 TU=3  
 N100 X1787.215 Y303. Z1250. A=0.0 B=5.169 C=180. STAT=2 TU=3  
 N102 ;!# Unmount("PART\_1")  
 N104 X1787.215 Y162.999 Z1249.999 A=0.0 B=5.169 C=180. STAT=2 TU=3  
 N106 X990.468 Y162.999 Z1322.076 A=0.0 B=5.169 C=180. STAT=2 TU=3  
 N108 M5  
 N110 M2

## **Приложение 2. Управляющая программа для выгрузки детали из станка, в системе NX CAM**

N10 DEF REAL \_camtolerance  
 ; Base data  
 N12 \_camtolerance=0.06  
 N14 \$P\_UIFR[1]=CTrans(X,250.000000,Y,-0.000001,Z,180.000000):CROT(X,0.000000,Y,-  
 0.000000,Z,0.000000)  
 N16 TRAFOOF  
 N18 TRANS  
 N20 ROT  
 N22 \$MC\_ROBX\_EXT\_ROT\_BASE\_OFFSET[0]=0.000000  
 N24 \$MC\_ROBX\_EXT\_ROT\_BASE\_OFFSET[1]=0.000000  
 N26 \$MC\_ROBX\_EXT\_ROT\_BASE\_OFFSET[2]=0.000000  
 N28 \$MC\_ROBX\_EXT\_ROT\_PART\_OFFSET[0]=0.000000  
 N30 \$MC\_ROBX\_EXT\_ROT\_PART\_OFFSET[1]=0.000000  
 N32 \$MC\_ROBX\_EXT\_ROT\_PART\_OFFSET[2]=0.000000  
 N34 NEWCONF  
 ; Tool Data  
 ; \$TOOL=CTrans(X,0.000000,Y,0.000000,Z,0.000000):CROT(X,-  
 0.000000,Y,90.000000,Z,0.000000)  
 N36 \$MC\_ROBX\_TTCFL\_POS[0]=0.000000  
 N38 \$MC\_ROBX\_TTCFL\_POS[1]=0.000000  
 N40 \$MC\_ROBX\_TTCFL\_POS[2]=0.000000  
 N42 \$MC\_ROBX\_TTCFL\_RPY[0]=-0.000000  
 N44 \$MC\_ROBX\_TTCFL\_RPY[1]=90.000000  
 N46 \$MC\_ROBX\_TTCFL\_RPY[2]=0.000000  
 N48 \$MC\_ROBX\_TOOL\_DIR=1  
 N50 NEWCONF  
 N52 T="DUMMY\_MILL" M6  
 N54 G0 RA11=-9.361600 RA12=-116.909000 RA13=123.712600 RA14=99.441500 RA15=9.452400  
 RA16=79.579800  
 N56 TRAORI

```

N58 CYCLE832(_camtolerance,_OFF,1)
N60 G54
N62 TRANS X0.0 Y0.0 Z0.0
N64 AROT Z0.0
N66 AROT Y0.0
N68 AROT X0.0
N70 PTP X1787.224 Y163.001 Z1249.979 A=0.0 B=5.17 C=180. STAT=2 TU=3 S0 D1 M3
N72 X1787.224 Y-26.999 Z1249.979 A=0.0 B=5.17 C=180. STAT=2 TU=34
N74 ;!# Mount("PART_2")
N76 X1787.223 Y153. Z1249.979 A=0.0 B=5.17 C=180. STAT=2 TU=3
N78 X990.477 Y153.001 Z1322.065 A=0.0 B=5.17 C=180. STAT=2 TU=3
N80 X343.753 Y-1099.841 Z1322.064 A=4.817 B=1.878 C=111.252 STAT=2 TU=2
N82 X-265.11 Y-1411.748 Z1254.063 A=-90. B=-65. C=0.0 STAT=2 TU=34
N84 X-265.111 Y-1411.748 Z1024.063 A=-90. B=-65. C=0.0 STAT=2 TU=34
N86 ;!# Unmount("PART_2")
N88 X-159.456 Y-1185.17 Z1024.063 A=-90. B=-65. C=0.0 STAT=2 TU=34
N90 X-159.457 Y-1185.17 Z1684.063 A=90. B=-80. C=180. STAT=2 TU=10
N92 TRAF00F
N94 TRANS
N96 ROT
N98 RA11=-9.361600 RA12=-116.909000 RA13=123.712600 RA14=99.441500 RA15=9.452400
    RA16=79.579800
N100 M5
N102 M2

```

### Приложение 3. Управляющая программа в CNC – системе Sinumerik 840D

```

R0=0
R1=699
R2=$P_UIFR[1,Z,TR]+R0+R1-$P_UIFR[2,Z,TR]
G71 G54 G18 G90 G97
DIAMON G95
WORKPIECE(,,,"PIPE",8640,1,-111,-80,168,127.8)
G0 G53 D0 X1000 Y0 Z500 Z2=R1
T=1 M6 G96
SETMS(1)
S80 M3 M8
G0 X100 Z10
CYCLE62("111",1,,)
CYCLE952("123",,,,"",1102311,0.25,1,1,1,0.1,0.1,1,1,0.1,0.1,0,0,,,,,2,2,,,0,1,,0,12,1100010,1,0)
G0 X120 Y0 Z5
S80 M3 M8
G0 X130 Z10
CYCLE952("1234",,,,"",1102311,0.25,1,1,1,0.1,0.1,1,1,0.1,0.1,0,0,,,,,2,2,,,0,1,,0,12,1100010,1,0)
G0 G53 D0 X1000 Y0 Z500
T=3 M6 G96
S97 M3 M8
G0 X120 Z10

```

```

CYCLE930(132,-68,29,29,8,,0,0,0,2,2,2,2,0.2,4,1,10310,,1,30,0.18,0,0,0,2,1111110)
G0 G53 D0 X1000 Y0 Z500 M5
M231
G0 Z2=R2
G94 G1 Z2=R2 F500
M230
G4 F1
M131
G4 F1
G0 Z2=R1
G55
T=5 M6 G96
SETMS(2)
S80 M3 M8
G0 X100 Z-145
CYCLE62("222",1,,)
CYCLE952("12343456789",,,",1102311,0.25,1,1,1,0.1,0.1,1,1,0.1,0.1,0,0,,,,,2,2,,0,1,,0,12,1100010,1,0
)
G0 X100 Z-145
S80 M3 M8
CYCLE952("12343456789",,,",1102311,0.25,1,1,1,0.1,0.1,1,1,0.1,0.1,0,0,,,,,2,2,,0,1,,0,12,1100010,1,0
)
G0 G53 D0 X1000 Y0 Z500 M5
T=2 M6
SETMS(3)
S840 M3 M8
G0 X100 Z-140
CYCLE79(-110,-107,1,-87,6,155,0,0,0,0,168,8,7,0,0,0.25,0,1,1,2,100,1,100)
G0 G53 D0 X1000 Y0 Z500
T=4 M6
SETMS(3)
S32 F0.138 M3 M8
G0 X100 Z-140
MCALL CYCLE82(-110,-107,1,,20.5,0.5,0,1,11)
HOLES2(0,0,77.5,30,30,6,1000,0,,1)
MCALL
G0 G53 D0 X1000 Y0 Z500
T=6 M6
SETMS(3)
S3 F1 M3
G0 X100 Z-140
MCALL CYCLE84(-110,-107,1,-
92,,0.025,5,,1,0,10,15,0,1,0,0,5,1.4,, "ISO_METRIC", "M6",,1001,1001002)
HOLES2(0,0,77.5,30,30,6,1000,0,,1)
MCALL
G0 G53 D0 X1000 Y0 Z500
M30
E_LAB_A_111:

```

G18 G90 DIAM90  
G0 Z0 X170  
G1 X148  
Z-5 X142  
Z-8  
X132  
Z-70  
X127.7  
E\_LAB\_A\_111:  
E\_LAB\_A\_222:  
G18 G90 DIAM90  
G0 Z-107 X170  
G1 X148  
Z-102 X142  
X132  
Z-68  
X127.8  
E\_LAB\_A\_222:

#### **Приложение 4. Управляющая программа для Оп.010 Уст. А в системе NXCAM**

N10 G40 G18 G710 G90  
N20 ;Operation : 010.A\_ПЕРЕХОД\_01  
N30 DIAMON  
N40 T1 D01 M06  
N50 LIMS=1500  
N60 G96 S180 M04  
N70 G00 X100. Z190.  
N80 Z117.598  
N90 X130.074  
N100 G01 Z116.398 F.4  
N110 Z44.9 F.3  
N120 X127.8 F.4  
N130 X126.103 Z45.749 F.5  
N140 G00 Z117.6  
N150 X132.348  
N160 G01 Z116.4 F.4  
N170 Z44.9  
N180 X130.074  
N190 X128.377 Z45.749 F.5  
N200 G00 Z117.6  
N210 X135.371  
N220 G01 Z116.4 F.4  
N230 Z104.9  
N240 X132.348  
N250 X130.651 Z105.749 F.5  
N260 G00 Z117.6  
N270 X138.395

N280 G01 Z116.4 F.4  
N290 Z104.9  
N300 X135.371  
N310 X133.674 Z105.749 F.5  
N320 G00 Z117.6  
N330 X141.418  
N340 G01 Z116.4 F.4  
N350 Z104.9  
N360 X138.395  
N370 X136.698 Z105.749 F.5  
N380 G00 Z117.6  
N390 X144.442  
N400 G01 Z116.4 F.4  
N410 Z104.9  
N420 X141.418  
N430 X139.721 Z105.749 F.5  
N440 G00 Z117.6  
N450 X147.976  
N460 G01 Z116.4 F.4  
N470 Z110.945  
N480 X144.442 Z106.527  
N490 X142.745 Z107.376 F.5  
N500 G00 Z117.6  
N510 X151.509  
N520 G01 Z116.4 F.4  
N530 Z112.9  
N540 X149.54  
N550 X147.976 Z110.945  
N560 X146.278 Z111.793 F.5  
N570 G00 Z117.6  
N580 X155.043  
N590 G01 Z116.4 F.4  
N600 Z112.9  
N610 X151.509  
N620 X149.812 Z113.749 F.5  
N630 G00 Z117.6  
N640 X158.577  
N650 G01 Z116.4 F.4  
N660 Z112.9  
N670 X155.043  
N680 X153.346 Z113.749 F.5  
N690 G00 Z117.6  
N700 X162.111  
N710 G01 Z116.4 F.4  
N720 Z112.9  
N730 X158.577  
N740 X156.88 Z113.749 F.5  
N750 G00 Z117.6

N760 X165.645  
N770 G01 Z116.4 F.4  
N780 Z112.9  
N790 X162.111  
N800 X160.414 Z113.749 F.5  
N810 G00 Z117.6  
N820 X169.179  
N830 G01 Z116.4 F.4  
N840 Z112.9  
N850 X165.645  
N860 X163.948 Z113.749 F.5  
N870 G00 Z115.249  
N880 X171.016  
N890 G01 X172.713 Z114.4 F.4  
N900 Z112.9  
N910 X169.179  
N920 X167.482 Z113.749 F.5  
N930 G00 X100. Z190.  
N940 ;Operation : 010.A\_ПЕРЕХОД\_02  
N950 DIAMON  
N960 G96 S180 M04  
N970 Z114.8  
N980 X177.062  
N990 G03 X172.262 Z112.4 I-2.4 K0.0 F.4  
N1000 G01 X150.217  
N1010 X145.442 Z106.431  
N1020 Z104.4  
N1030 X133.348  
N1040 Z44.4  
N1050 X128.251  
N1060 G03 X123.451 Z46.8 I0.0 K2.4 F.5  
N1070 G00 X99.966 Z190.668  
N1080 X100. Z310.  
N1090 ;Operation : 010.A\_ПЕРЕХОД\_03  
N1100 DIAMON  
N1110 T3 D01 M06  
N1120 LIMS=1500  
N1130 G96 S180 M04  
N1140 X100. Z190.  
N1150 Z59.1  
N1160 X128.748  
N1170 G01 X129.348 F.4  
N1180 X148. F.3  
N1190 G04 S1.  
N1200 X147.4 F.5  
N1210 G00 X128.748  
N1220 Z55.267  
N1230 G01 X129.348 F.4

N1240 X148.  
N1250 G04 S1.  
N1260 X146.8 Z55.867 F.5  
N1270 G00 X128.748  
N1280 Z62.933  
N1290 G01 X129.348 F.4  
N1300 X148.  
N1310 G04 S1.  
N1320 X146.8 Z62.333 F.5  
N1330 G00 X128.748  
N1340 Z51.433  
N1350 G01 X129.348 F.4  
N1360 X148.  
N1370 G04 S1.  
N1380 X146.8 Z52.033 F.5  
N1390 G00 X128.748  
N1400 Z66.767  
N1410 G01 X129.348 F.4  
N1420 X148.  
N1430 G04 S1.  
N1440 X146.8 Z66.167 F.5  
N1450 G00 X126.748  
N1460 Z47.6  
N1470 G01 X127.348 F.4  
N1480 X148.  
N1490 G04 S1.  
N1500 X146.8 Z48.2 F.5  
N1510 G00 X128.748  
N1520 Z70.6  
N1530 G01 X129.348 F.4  
N1540 X148.  
N1550 G04 S1.  
N1560 X146.8 Z70. F.5  
N1570 G00 X100.  
N1580 Z190.  
N1590 Z310.  
N1600 M30