

**Ю.С. Андреев, К.П. Помпеев**

**ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ  
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ  
КУРСОВОГО ПРОЕКТА**



**Санкт-Петербург  
2020**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**Ю.С. Андреев, К.П. Помпеев**  
**ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**  
**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ**  
**КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО

по направлению подготовки 12.03.01, 15.03.04

в качестве учебно-методического пособия для реализации основных  
профессиональных образовательных программ высшего образования  
бакалавриата

 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург  
2020

Андреев Ю.С., Помпеев К.П. Технологии приборостроения. Методические указания к выполнению курсового проекта – СПб: Университет ИТМО, 2020. – 83 с.

Рецензент(ы):

Медунецкий Виктор Михайлович, доктор технических наук, профессор, профессор (квалификационная категория «ординарный профессор») факультета систем управления и робототехники, Университета ИТМО.

В методическом пособии содержится общая методика выполнения курсового проекта по дисциплине «Технология приборостроения» для бакалавров, обучающихся по направлениям подготовки 12.03.01 «Приборостроение» и 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»



**Университет ИТМО** – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2020  
© Андреев Ю.С., Помпеев К.П., 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ.....	5
1.1 Цели и задачи курсового проекта.....	5
1.2 Задания на курсовой проект.....	5
1.3 Методические указания к выполнению курсового проекта.....	13
1.3.1 Анализ назначения детали и технологичности ее конструкции.....	13
1.3.2 Тип производства и анализ производственной обстановки.....	15
1.3.3 Способ производства исходной заготовки.....	16
1.3.4 Определение планов обработки поверхностей и проектирование принципиальной схемы ТП.....	16
1.3.5 Проектирование маршрутного ТП изготовления детали.....	17
1.3.6 Размерно-точностной анализ ТП.....	18
1.3.7 Проектирование операций ТП.....	19
1.3.8 Конструкция станочного приспособления и описание его работы....	23
2 ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	24
2.1 Анализ исходных данных.....	24
2.1.1 Анализ назначения детали и технологичности ее конструкции.....	24
2.1.2 Тип производства и анализ производственной обстановки.....	27
2.2 Проектирование ТП изготовления детали.....	29
2.2.1 Способ производства исходной заготовки.....	29
2.2.2 Определение планов обработки поверхностей и проектирование принципиальной схемы ТП.....	29
2.2.3 Разработка маршрутного ТП изготовления детали.....	31
2.2.4 Размерно-точностной анализ ТП.....	34
2.3 Проектирование операций ТП.....	42
2.3.1 Проектирование токарной операции с ЧПУ.....	42
2.3.2 Проектирование фрезерно-сверлильной операции с ЧПУ.....	48
2.4 Конструкция станочного приспособления и описание его работы.....	61
3 ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В САПР ТП «ВЕРТИКАЛЬ».....	63
Список используемых источников.....	83

## **ВВЕДЕНИЕ**

Разработка технологического процесса представляет собой важнейшую задачу при подготовке к производству новых изделий, создает предпосылки для прогрессивной организации производства, является основой для построения роботизированных комплексов и гибких автоматических производств.

Методическое пособие включает в себя подробное описание этапов разработки технологического процесса, таких как:

- анализ конструкции изделия на технологичность;
- расчет величины производственной партии и такта выпуска продукции;
- выбор способа производства исходной заготовки;
- разработка маршрутного технологического процесса;
- размерный анализ технологического процесса;
- расчеты режимов резания и норм времени;
- разработка конструкции станочного приспособления.

Пособие предназначено для обеспечения усвоения студентами учебного материала по дисциплинам «Основы цифрового производства» и «Технологии приборостроения» по направлениям подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» и 12.03.01 «Приборостроение». Пособие может быть использовано при самостоятельной работе студентов над курсовым проектом.

# **1 ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ**

## **1.1 Цели и задачи курсового проекта**

Курсовой проект является самостоятельной работой студента, завершающей изучение курса «Технологии приборостроения». Цель курсового проекта – научить студента применять теоретические знания для решения практических задач при проектировании технологических процессов (ТП) изготовления деталей в условиях современного производства. Он включает элементы комплекса расчетно-графических работ при проектировании технологических процессов и призван решить следующие задачи:

- закрепить теоретические знания, полученные при изучении курса, и расширить технический кругозор за счёт изучения дополнительной специальной литературы;
- научить самостоятельно проводить анализ назначения детали и технологичности ее конструкции;
- научить самостоятельно проводить анализ типа производства и производственной обстановки;
- научить самостоятельно определять способ производства исходной заготовки и ее конфигурацию;
- научить самостоятельно проектировать планы обработки каждой поверхности и принципиальную схему ТП;
- научить самостоятельно разрабатывать структуру и содержание ТП изготовления детали;
- научить самостоятельно проводить синтез структуры операционных размеров и технических требований взаимного расположения поверхностей для каждой операции ТП;
- научить самостоятельно проводить построение технологических размерных цепей, их расчёт и анализ;
- научить самостоятельно разрабатывать операции ТП, выполняемые на универсальных станках или станках с ЧПУ;
- научить самостоятельно разрабатывать конструкцию станочного приспособления и описывать его работу;
- научить заполнять технологическую документацию.

## **1.2 Задания на курсовой проект**

Курсовой проект включает задание, связанное с анализом назначения детали, технологичности ее конструкции, типа производства и производственной обстановки, определением способа производства исходной заготовки, разработкой структуры и содержания ТП изготовления детали в

условиях определенного типа производства, проведением технологических размерных расчетов при проектировании процесса изготовления детали, разработкой операций ТП и конструкции станочного приспособления.

Объем пояснительной записки курсового проекта – 30...40 страниц, включая технологическую документацию.

Пояснительная записка оформляется с учётом требований ГОСТ 2.105-79 и ГОСТ 7-32-81.

Рукописный текст записки представляется на одной стороне листа писчей бумаги формата А4. Размеры полей: левого – 35 мм; правого – 10 мм; верхнего и нижнего – 20 мм.

Пояснительная записка должна иметь сквозную нумерацию страниц. Буквенные обозначения должны быть расшифрованы, указаны единицы измерения используемых в процессе вычисления величин.

Чертёж детали должен быть оформлен в соответствии с требованиями ЕСКД на формате А4, обычно в масштабе 1 : 1.

Карты эскизов выполняются в соответствии с требованиями ГОСТ 3.1103-82 и ГОСТ 3.1104-81 на бланках формата А4 по ГОСТ 3.1105-84, форма 5 или на листе бумаги формата А4. Методы оформления операционных эскизов подробно изложены в [4] и [5].

Маршрутная и операционная карты (МК и ОК) заполняются в соответствии с требованиями ГОСТ 3.1103-82 и общими требованиями к оформлению технологических карт по ГОСТ 3.1104-81.

Задание:

Провести анализ назначения детали, технологичности ее конструкции, типа производства и производственной обстановки. Годовая программа (объем) выпуска деталей согласовывается с преподавателем.

Назначить способ производства исходной заготовки и определить ее конфигурацию, назначить планы обработки поверхностей, спроектировать маршрутный ТП изготовления детали, разработать структуру операционных технологических размеров и требований взаимного расположения поверхностей.

Провести размерный анализ технологического процесса, реализуемого в указанных условиях производства, определив все технологические размеры и возможность их выполнения автоматически на принятом оборудовании.

Заполнить маршрутную карту, вычертить операционные эскизы.

Разработать одну или две операции ТП (по заданию преподавателя в зависимости от их сложности) с расчетом режимов резания, нормированием и заполнением операционных карт.

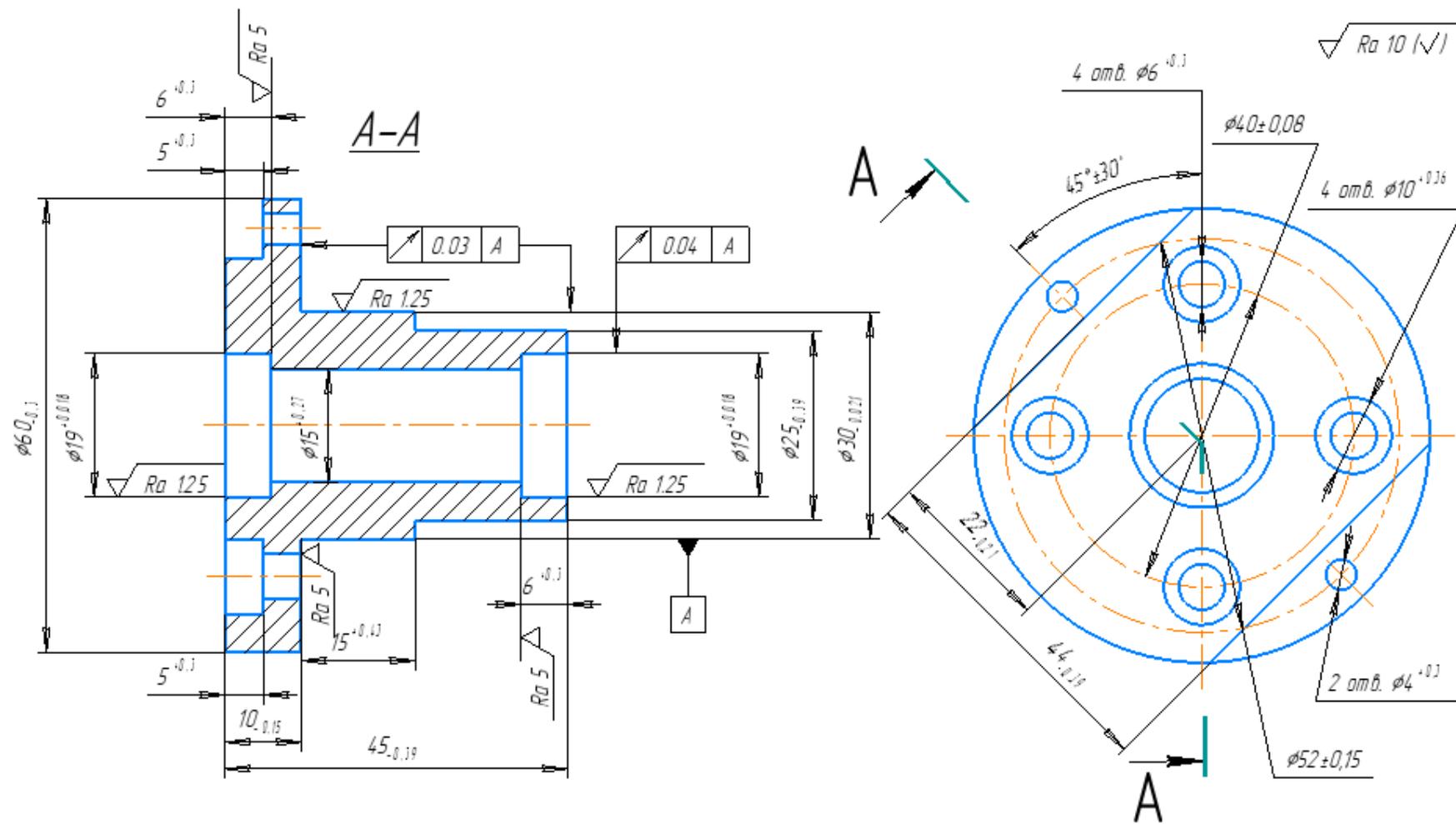
Разработать и описать конструкцию станочного приспособления.

Варианты заданий на курсовой проект студент выбирает из таблицы 1 по двум последним цифрам шифра (табельного номера). Чертеж детали по

согласованию с преподавателем может быть взят студентом с предприятия, на котором он проходит учебную или производственную практику. В этом случае оговариваются условия (тип) производства и годовая программа (объем) выпуска деталей.

Таблица 1 – Варианты заданий на курсовой проект

Две последние цифры шифра	Номера рисунков к заданию и тип производства
00, 20, 40, 60, 80	Рис. 1, массовое производство
01, 21, 41, 61, 81	Рис. 2, среднесерийное производство
02, 22, 42, 62, 82	Рис. 3, крупносерийное производство
03, 23, 43, 63, 83	Рис. 4, мелкосерийное производство
02, 24, 44, 64, 84	Рис. 5, среднесерийное производство
05, 25, 45, 65, 85	Рис. 1, среднесерийное производство
06, 26, 46, 66, 86	Рис. 2, крупносерийное производство
07, 27, 47, 67, 87	Рис. 3, мелкосерийное производство
08, 28, 48, 68, 88	Рис. 4, крупносерийное производство
09, 29, 49, 69, 89	Рис. 5, мелкосерийное производство
10, 30, 50, 70, 90	Рис. 1, крупносерийное производство
11, 31, 51, 71, 91	Рис. 2, мелкосерийное производство
12, 32, 52, 72, 92,	Рис. 3, массовое производство
13, 33, 53, 73, 93	Рис. 4, среднесерийное производство
14, 34, 54, 74, 94,	Рис. 5, массовое производство
15, 35, 55, 75, 95	Рис. 1, мелкосерийное производство
16, 36, 56, 76, 96	Рис. 2, массовое производство
17, 37, 57, 77, 97	Рис. 3, среднесерийное производство
18, 38, 58, 78, 98	Рис. 4, массовое производство
19, 39, 59, 79, 99	Рис. 5, крупносерийное производство



1. Сплав Д16Т.
2. Заготовка: прокат прессованный.

Рисунок 1 – Корпус

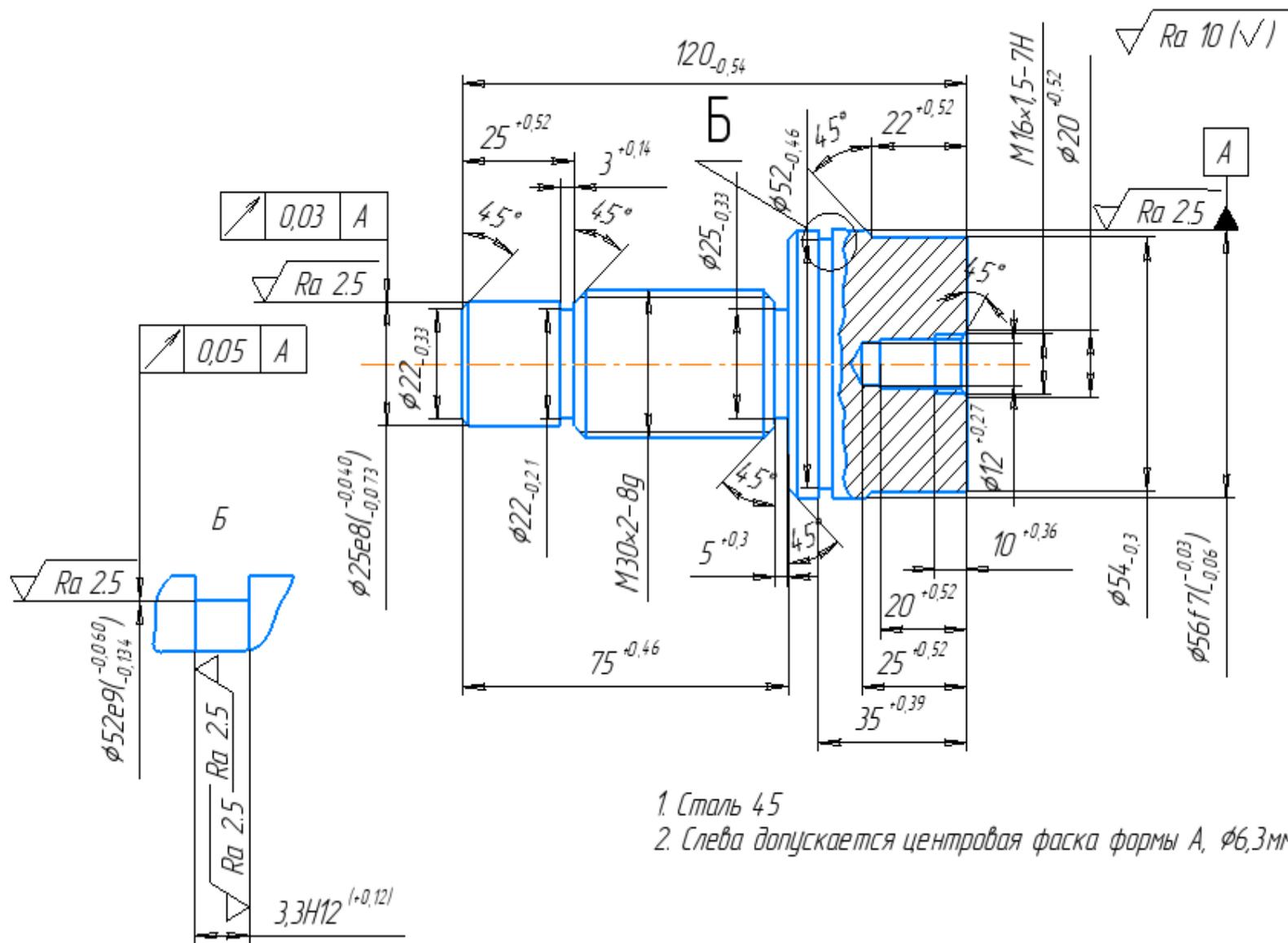


Рисунок 2 – Шток

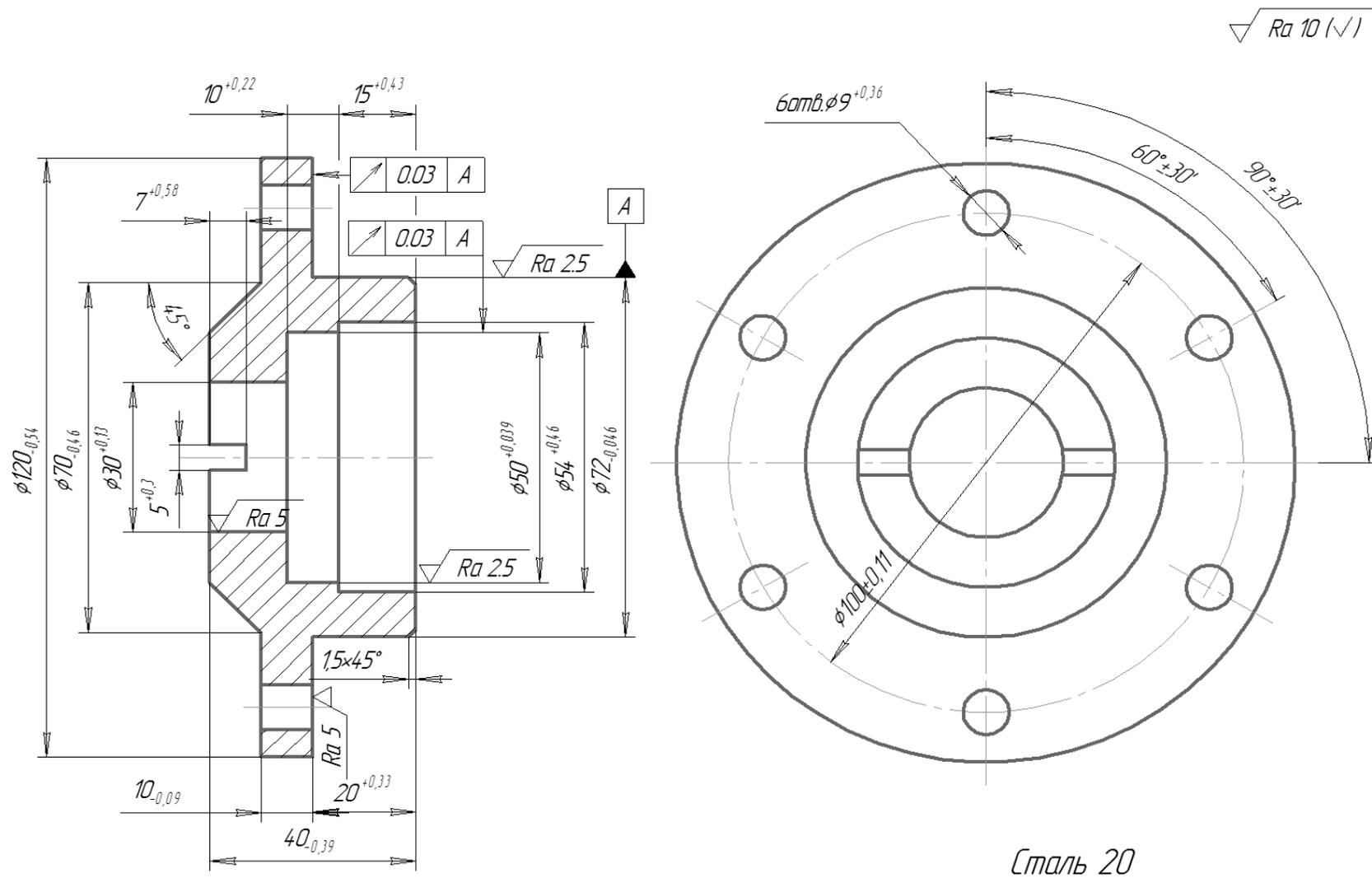
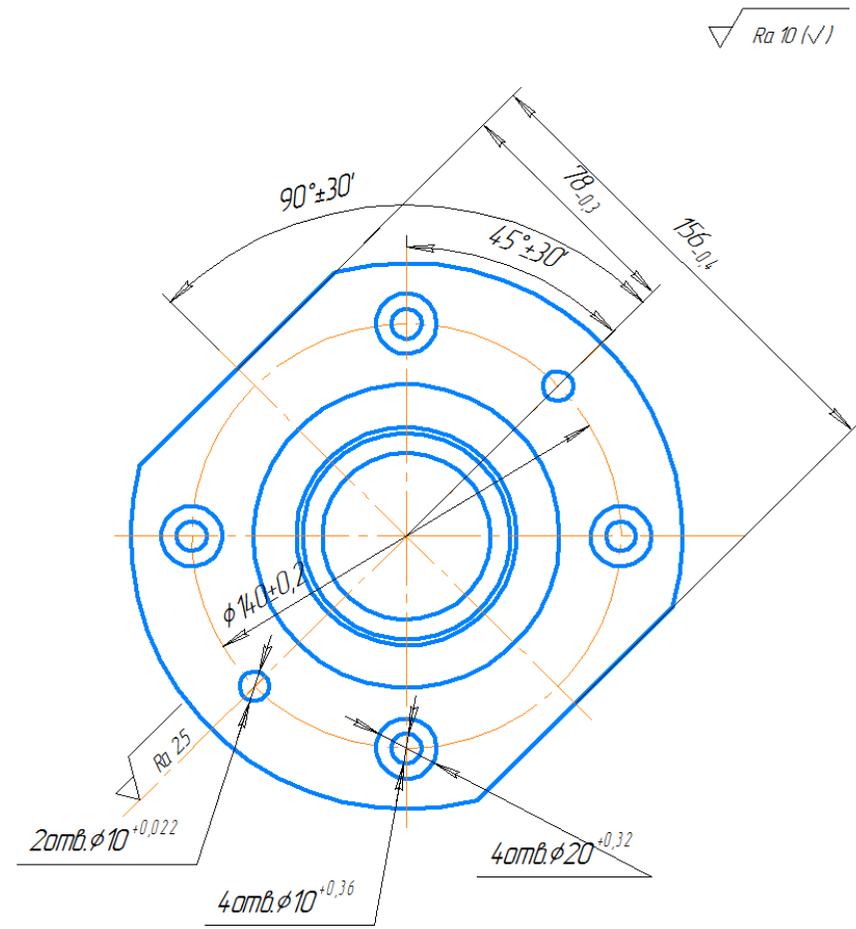
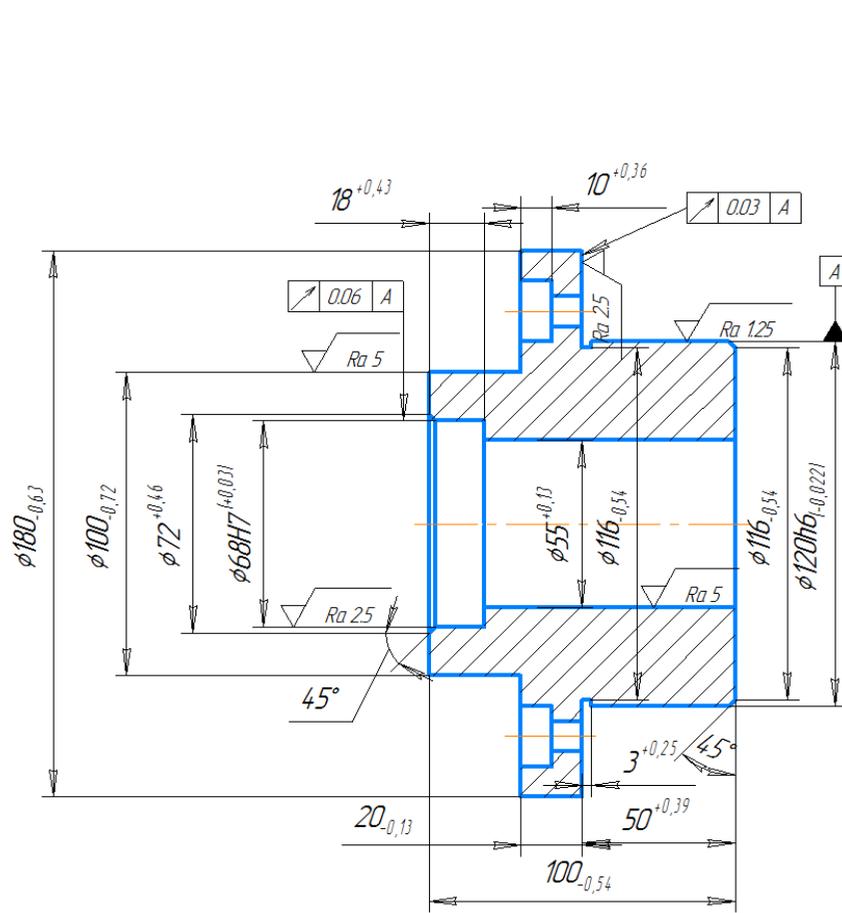


Рисунок 3 – Крышка



Сталь 45

Рисунок 4 – Втулка

$Ra 5 (\sqrt{ })$

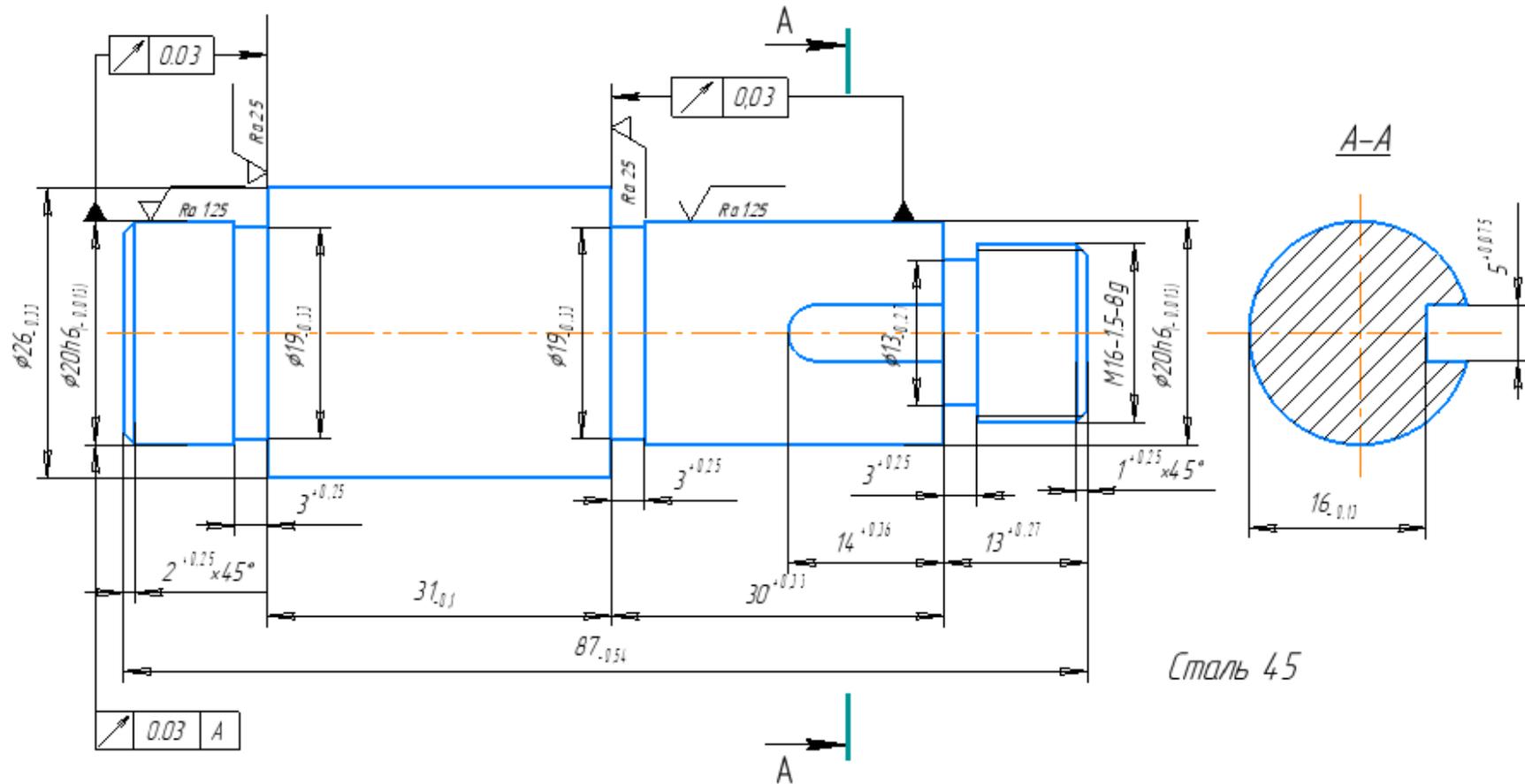


Рисунок 5 – Валик

### 1.3 Методические указания к выполнению курсового проекта

При выполнении задания необходимо последовательно решить следующие задачи:

- используя чертеж детали, описать предполагаемое назначение детали и провести анализ технологичности ее конструкции;
- используя данные о годовой программе выпуска и заданном типе производства, дать описание последнего и охарактеризовать предполагаемую производственную обстановку, а также рассчитать величину производственной партии (для мелко- или среднесерийного производства) или такта выпуска (для крупносерийного или массового производства);
- на основе анализа чертежа детали для заданного типа производства назначить способ производства исходной заготовки, определить ее конфигурацию и с учетом этого назначить планы обработки каждой поверхности;
- разработать маршрутный технологический процесс изготовления детали, представив его в виде эскизов операций ТП с указанием для каждой операции применяемого оборудования, базирования заготовок, обработанных поверхностей и их состояний;
- назначить структуру операционных технологических размеров и требований взаимного расположения поверхностей, провести размерный анализ ТП;
- заполнить маршрутную карту, вычертить операционные эскизы;
- разработать одну или две операции ТП (по заданию преподавателя в зависимости от их сложности) с расчетом режимов резания, провести нормирование операций и заполнить операционные карты;
- разработать конструкцию станочного приспособления и описать его работу.

#### 1.3.1 Анализ назначения детали и технологичности ее конструкции

При описании предполагаемого назначения детали следует охарактеризовать ее общее назначение и назначение ее основных конструктивных элементов, а также привести данные о химическом составе и механических свойствах материала.

В ходе анализа конструкции детали необходимо привести качественную и количественную оценку ее технологичности. При качественной оценке технологичности конструкции детали охарактеризовать простоту ее конструкции, степень использования типовых конструктивных элементов,

возможность их изготовления на серийно выпускаемом оборудовании, стандартным инструментом, с использованием на большинстве операций универсальной технологической оснастки. При количественной оценке технологичности конструкции детали рассчитать средний квалитет, среднюю шероховатость и коэффициент использования материала.

Конструкция детали считается технологичной по параметру точности, если средний квалитет больше или равен 11. Для определения среднего квалитета используется следующее выражение:

$$K_{cp} = \frac{\sum K_i \cdot n_i}{\sum n_i} \geq 11, \quad (1)$$

где  $K_i$  – квалитет  $i$ -го номера;  
 $n_i$  – количество поверхностей (размеров) с квалитетом  $i$ -го номера;  
 $\sum n_i$  – общее количество поверхностей (размеров).

Конструкция детали считается технологичной по параметру шероховатости, если средняя шероховатость больше или равна  $Ra = 2,5$  мкм. Для определения средней шероховатости используется следующее выражение:

$$\text{Ш}_{cp} = \frac{\sum \text{Ш}_i \cdot n_i}{\sum n_i} \geq Ra = 2,5 \text{ мкм}, \quad (2)$$

где  $\text{Ш}_i$  –  $i$ -я шероховатость;  
 $n_i$  – количество поверхностей с  $i$ -й шероховатостью;  
 $\sum n_i$  – общее количество поверхностей.

Коэффициент использования материала рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{и.м.} = \frac{M}{M_M} \quad (3)$$

где  $M$  – масса готовой детали, кг;  
 $M_M$  – масса материала, израсходованного на изготовление детали, кг.

Для расчета среднего квалитета и средней шероховатости, а также определения планов обработки поверхностей и проектирования принципиальной схемы ТП целесообразно предварительно представить структуру детали в виде элементов, связанных между собой размерами и требованиями взаимного расположения. Структуру детали типа тела вращения можно представить объединением элементов вращения (ЭВ<sub>*i*</sub>) и плоскостных

(реальных или мнимых) элементов (ЭП<sub>*i*</sub>). Формально в деталях этого типа можно выделить элементы вращения трех уровней.

К элементам вращения первого уровня относятся цилиндрические и конические (значительной протяженности) наружные и внутренние поверхности, открытые с одной или двух сторон, находящиеся на основной оси вращения детали и обрабатываемые на станках токарной (иногда сверлильной и расточной), шлифовальной и протяжной групп.

Поверхности, которые топологически пересекаются или объединяются с элементами первого уровня, имеют с ними общую ось вращения (фаски, канавки, резьбы, накатки, центровые отверстия, зубчатые венцы, шлицы и шлицевые пазы, скругления между поверхностями вращения первого уровня и ограничивающими их плоскостями) и обрабатываются на том же оборудовании или на специальных станках, относятся к элементам вращения второго уровня.

Остальные поверхности, топологически пересекающиеся с элементами первого уровня, расположенные параллельно, перпендикулярно или под углом к основной оси вращения детали (отверстия, фаски, резьбы, канавки и скругления в них, а также условно пазы, уступы, лыски, прорези, окна, выборки и т.п.) и обрабатываемые на станках сверлильной и фрезерной групп, являются элементами третьего уровня.

Примеры такого представления приведены в [8, 9, 10], а также в п.2 настоящего методического пособия.

### **1.3.2 Тип производства и анализ производственной обстановки**

При описании заданного типа производства необходимо привести его характеристику из [1, 2, 8, 9, 10]. В ходе анализа предполагаемой производственной обстановки следует представить технические характеристики станков, которые будут задействованы в проектируемом ТП. Эти характеристики можно найти в [7], паспортах станков или в интернете.

При проектировании ТП изготовления детали в условиях мелко- или среднесерийного производства следует определить величину производственной партии  $n$  (шт) по следующей формуле:

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi}, \quad (4)$$

где  $N$  – годовая программа выпуска с учетом запасных деталей для настройки станков (5...10% от объема выпуска), шт;

$a$  – число дней хранения запаса деталей для обеспечения ритмичности сборки (5...20 дней);

$\Phi$  – число рабочих дней в году (253 дня).

При проектировании ТП изготовления детали в условиях крупносерийного или массового производства следует определить размер такта выпуска  $\tau$  ( $\frac{\text{мин}}{\text{шт}}$ ) по следующей формуле:

$$\tau = \frac{\Phi_{\text{д}} \cdot 60}{N_{\text{и}}}, \quad (5)$$

где  $\Phi_{\text{д}}$  – действительный фонд времени работы оборудования за рассматриваемый период времени (год, месяц, смена), час;  
 $N_{\text{и}}$  – количество изделий, выпускаемых с поточной линии за рассматриваемый период времени, шт.

### 1.3.3 Способ производства исходной заготовки

Способ производства исходной заготовки (прокат, поковка, штамповка, литье) следует определять с учетом материала, размеров детали, ее конфигурации и годовой программы выпуска. Чем больше объем производства, тем более точную заготовку можно использовать, по своей конфигурации приближенную к конфигурации детали и с меньшими припусками на обработку. В некоторых случаях отдельные поверхности могут быть окончательно получены в исходной заготовке (без последующей обработки).

### 1.3.4 Определение планов обработки поверхностей и проектирование принципиальной схемы ТП

Этап назначения планов обработки поверхностей детали, согласно [8, 9], связан, прежде всего, с выбором методов и способов окончательной и предварительной обработки каждой поверхности с учётом принятого способа производства заготовки и экономической точности способов обработки. Данные по точности и качеству поверхностей, обработанных при разных способах и видах обработки, приведены в [6]. Кроме этого, целесообразно использовать данные о точности и шероховатости поверхности, которые рекомендуется обеспечивать при обработке последней на предшествующем этапе обработки, исходя из её точности и шероховатости, получаемые (обеспечиваемые) на выполняемом этапе обработки. Эти данные представлены в [8, 9, 10].

Далее для каждой поверхности детали назначают план (маршрут) её обработки при переводе этой поверхности из состояния исходной заготовки в состояние готовой детали [8, 9, 10].

Результат определения планов обработки целесообразно представить в виде таблицы, примеры заполнения которой приведены в [8, 9, 10], а также в п.2 настоящего методического пособия. На основании ее анализа формируется определяемая проектантом последовательность этапов ТП. При этом с учетом

технологических возможностей предполагаемого для использования в ТП оборудования рассматривается вопрос объединения между собой нескольких этапов, например, черного и получистового токарных этапов в один предварительный токарный этап, или фрезерного и сверлильного этапов в один фрезерно-сверлильный этап.

### **1.3.5 Проектирование маршрутного ТП изготовления детали**

Проектирование маршрута ТП изготовления детали типа тела вращения связано с разработкой описания операций ТП, при котором указывают модели оборудования, используемого при их выполнении, описывают состояния поверхностей заготовки, получаемые ими после выполнения каждой операции, определяют схемы установки и закрепления заготовки, а также типы и классы точности применяемых приспособлений, реализующие их.

Известно, что точность базовых поверхностей влияет на величину погрешности установки заготовки и на возможность обеспечения заданных требований взаимного расположения поверхностей вращения [8, 9, 10, 11, 12]. Поэтому в случае необходимости проводят корректировку точности базовых элементов вращения.

В [8, 9, 10, 12] приведены различные схемы обеспечения ТВР между обработанными поверхностями при их окончательной обработке, а также описана методика определения типов и классов точности приспособлений, используемых на операциях проектируемого ТП.

Согласно этой методике, для чистовых операций ТП, исходя из условия обеспечения заданных ТВР, следует рассчитать ориентировочный коэффициент  $a$  и воспользоваться рекомендациями для определения типа приспособления и класса его точности (Н – нормальной, П – повышенной, В – высокой).

Следует стремиться к тому, чтобы используемые приспособления надежно обеспечивали выполнение конструкторских требований взаимного расположения поверхностей автоматически без выверки. Либо расчетным путем будет установлено то, что без выверки действительно не обойтись. И для выполнения операции достаточно будет использовать станочное приспособление класса П с выверкой по базовому диаметру, обеспечивающее принятую схему базирования заготовки.

Для операций предварительной обработки заготовки класс точности приспособлений целесообразно определять исходя из точности базовых поверхностей. При этом целесообразно воспользоваться рекомендациями, представленными в [8, 9, 10, 11, 13].

### 1.3.6 Размерно-точностной анализ ТП

Размерно-точностной анализ ТП связан с определением структуры операционных размеров и ТВР внутри каждого операционного комплекса, выявлением линейных размерных цепей и уравнений расчета биений, расчетом биений, диаметральных и линейных размеров, а также припусков на обработку поверхностей (элементов) вращения и плоскостей (плоскостных элементов).

Задача определения структуры операционных размеров и ТВР внутри каждого операционного комплекса решается отдельно для элементов вращения и плоскостей (осей) [8, 9, 10].

При определении структуры геометрических связей для элементов вращения, согласно [8, 9, 10], указывают:

- диаметр и отклонения (для элемента, выполняемого окончательно в операционном комплексе);
- квалитет диаметрального размера (для элемента, выполняемого предварительно в операционном комплексе);
- структуру ТВР (биений) на выходе с каждого операционного комплекса (по необходимости).

Определение структуры геометрических связей между плоскостями (осями), то есть простановка операционных линейных размеров, выдерживаемых на каждой операции, является наиболее сложной задачей. Методика разработки наиболее рациональной структуры операционных технологических линейных размеров при соблюдении основных правил базирования (правила совмещения баз и правила постоянства баз) подробно изложена в [8, 9, 10].

При проведении размерно-точностного анализа ТП, как уже было сказано выше, выполняются расчёты всех операционных размеров, и выявляется возможность выполнения этих размеров и технических требований взаимного расположения элементов с заданной точностью на выбранном оборудовании автоматически при установке заготовки без выверки или с применением выверки.

Для проведения размерно-точностного анализа ТП изготовления деталей класса корпусов, кронштейнов, рычагов, плит и т.п. деталей – не тел вращения, прежде всего, разрабатывают размерные схемы ТП по линейным размерам в трёх взаимно перпендикулярных плоскостях (в каждой плоскости строится своя размерная схема).

Для проведения размерно-точностного анализа ТП изготовления деталей класса тела вращения разрабатывают размерную схему биений (для определения неравномерности припуска и выполнения технических требований взаимного расположения элементов вращения) и размерную схему линейных размеров.

Методика построения указанных линейных размерных схем или схем

биений, выявления линейных размерных цепей и уравнений расчета биений, расчета биений, диаметральных и линейных размеров, а также припусков на обработку приведена в [8, 9, 10]. Следует заметить, что расчет диаметральных размеров целесообразно проводить в табличной форме и только после того, как будет установлена возможность обеспечения заданных ТВР автоматически без выверки, или аналитически будет доказана неизбежность проведения выверки заготовки.

После выполнения всех расчётов окончательно вычерчиваются операционные эскизы и заполняется маршрутная карта.

Маршрутная карта (МК) заполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 3.1118-82 с учётом общих требований к заполнению технологических карт по ГОСТ 3.1104-81. При заполнении маршрутной карты следует использовать рекомендации, изложенные в [4, 5].

### **1.3.7 Проектирование операций ТП**

В ходе разработки операции ТП определяют наименования, материал и количество инструментов в наладке, структуру операции, рассчитывают режимы резания, разрабатывают схему наладки и расчетно-технологические карты (для операции, выполняемой на станке с ЧПУ), проводят техническое нормирование операции (определяют нормы времени) и заполняют соответствующую технологическую документацию.

Инструменты, технологически необходимые для проведения операции, образуют определенный комплект. Состав этого комплекта инструментов зависит от вида заготовки, ее конфигурации и технологических возможностей станка.

В ходе проектирования операций, выполняемых на токарных, фрезерных, сверлильных, а также многооперационных станках с ЧПУ, при выборе наименований инструментов, составляющих инструментальную наладку, следует использовать указания, представленные в [6].

Выбор материала режущего инструмента проводится с использованием данных, которые представлены в [7].

Структура операции зависит от количества заготовок, которые одновременно устанавливаются в приспособлении или на столе станка, количества инструментов, которые используются при выполнении операции, а также от последовательности работы инструментов в процессе выполнения операции.

Построение технологической последовательности обработки на проектируемой операции является основой для определения её структуры. При этом проводится анализ технической возможности и экономической целесообразности концентрации обработки путем применения наборов

нормального режущего инструмента или специальных режущих инструментов (в том числе и фасонных), а также за счет использования специальных многоинструментальных державок, устанавливается возможность последовательной или/и параллельной обработки отдельных поверхностей или заготовки в целом.

При определении технологической последовательности обработки и структуры операции целесообразно использовать рекомендации для типовых схем обработки, которые представлены в [2, 6].

Следует заметить, что установление рациональных режимов резания является одним из важных этапов проектирования операции. В большинстве случаев режимы резания назначают исходя из задачи достижения высокой производительности с учетом малых затрат на режущий инструмент и сохранением его высокой стойкости. В случае точной обработки заготовок, кроме требований высокой производительности и экономичности, на первый план выдвигается задача обеспечения требуемой точности.

Глубину резания при черновой обработке назначают предельно допустимой по прочности наиболее слабого звена рассматриваемой системы «Обработка». При окончательной обработке глубину резания устанавливают в зависимости от заданной точности и шероховатости поверхности, для чего используют представленные в [2, 7] рекомендации.

Величину подачи и скорости резания выбирают по нормативам или рассчитывают по формулам теории резания [7].

После этого для станка с ЧПУ проектируется схема его наладки, выполняются необходимые расчеты точности настройки, определяются рабочие циклы станка, требования взаимного расположения инструментов, уточняются режимы обработки [10].

В общем случае проектирование наладки осуществляется с соблюдением следующей последовательности.

1. Выполняются расчеты точности станка на настроечные размеры (определение среднего настроечного размера, допуска на настройку или расчет предельных настроечных размеров). Для этого целесообразно использовать руководящие материалы и формулы, которые представлены в [2].

2. По отдельным переходам составляется план размещения режущих инструментов в суппортах, инструментальных (револьверных) головках или инструментальном магазине.

3. В случае необходимости для отдельных инструментов проводится корректировка режимов резания.

4. На все инструменты оформляются схемы их движения с указанием размещения, рабочих и холостых движений каждого инструмента.

Оформление схем наладок для станков с ЧПУ проводят с указанием на них способа крепления заготовки, контуров обрабатываемых элементов,

контуров срезаемого припуска (тонко), расстояний от оси резцедержателя до базовой плоскости и до оси вращения шпинделя для токарных станков, либо координат инструмента в нулевом положении относительно осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  для сверлильных, фрезерных и многооперационных станков, расстановки инструмента в резцедержателе или магазине, самих инструментов для обработки каждой поверхности или нескольких поверхностей (конструктивных элементов) заготовки и их вылетов от оси резцедержателя (или шпинделя) в продольном и поперечном направлениях.

Разработку схем наладок следует вести с использованием руководящих материалов, представленных в [6, 10].

Схемы движения режущих инструментов разрабатываются путем построения их траекторий, по которым они в ходе обработки поверхностей заготовки совершают свои рабочие и вспомогательные перемещения [10].

Для каждого инструмента траектория его движения начинается в исходной (нулевой) точке программы. В действительности на схемах движения инструментов изображаются траектории движения их режущих кромок. Поэтому при их разработке следует учитывать диаметр режущего инструмента. В связи с этим для фрезерных, сверлильных, станков с ЧПУ и многоцелевых станков вычерчивают движение центра инструмента: сверла, фрезы, борштанги и т.п.

Для станков токарной группы в случае обработки заготовок с прямоугольными образующими вычерчивают траекторию фиксированной точки. Она является точкой пересечения касательных, проведенных параллельно осям координат и радиусу резца. В случае же обработки сферических поверхностей заготовки вычерчивается траектория центра радиуса вершины резца.

Рабочие движения инструмента на схеме показываются сплошными линиями, а его холостые движения – пунктирными линиями.

Арабскими цифрами нумеруют последовательно расположенные опорные точки траектории инструмента, в которых происходит изменение направления его движения.

Эта схема предназначена для учета всех без исключения перемещений, совершаемых инструментом, как по их величине, так и по направлению. Для каждого инструмента схему его движения следует вычерчивать отдельно. Для токарных станков такая схема вычерчивается в координатной плоскости  $XOZ$ , а для станков фрезерно-сверлильной группы она изображается в координатных плоскостях  $XOZ$  и  $XOY$ .

Проектирование схемы движения инструмента завершается вычерчиванием обрабатываемого контура заготовки и соответствующей ему траектории инструмента с нанесением осей координат заготовки и указанием

координат ее базовых поверхностей в этой системе отсчета, то есть расстояния от нулевой точки заготовки до исходной точки программы.

На этом этапе за каждым инструментом закрепляют определенные номера корректоров. Ввод с пульта ЧПУ необходимой величины коррекции вылета инструмента компенсирует погрешности системы «Обработка», возникающие при настройке и работе станка, которые могут быть вызваны неточностью положения режущего инструмента на станке, деформациями системы «Обработка» и другими факторами. Осуществляя периодическую коррекцию вылета режущего инструмента, можно также компенсировать его износ.

Координаты каждой опорной точки траектории режущего инструмента рассчитывают в выбранной системе координат, то есть от начала декартовой системы координат заготовки, которое было принято при разработке операции ТП.

Если координаты точки определяют выполнение размера заготовки с допуском (заданного чертежом или технологией), то этот размер должен задаваться в тех значениях, которыми обеспечивается его выполнение в пределах заданного или принятого допуска. Применительно к механической обработке заготовок на металлорежущих станках следует учитывать выполнение фактического размера за счет упругих отжати и износа инструмента для наружных поверхностей в «+», а для внутренних – в «-». Поэтому настроечные размеры для обработки поверхностей заготовки следует задавать в пределах 1/3 поля допуска: у вала – ближе к нижнему, а у отверстия – к верхнему пределу. Также можно использовать задание настроечных размеров в середине поля их допуска.

Далее на основе операционной технологии для схемы движения каждого режущего инструмента разрабатывается расчетно-технологическая карта (РТК) в табличной форме [10]. В ней указываются: номера опорных точек; их координаты по осям  $X$  и  $Z$  (для токарных станков с ЧПУ) или  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  (для станков с ЧПУ фрезерно-сверлильной группы); величины перемещений инструмента по осям; информация о номере корректора инструмента, характере его движения (рабочий или холостой ход), минутной подаче и частоте вращения шпинделя. При необходимости в РТК для части, как правило, холостых перемещений инструмента указывается название ведущей оси (ведущая ось – ось, по которой время перемещения будет наибольшим, при движении инструмента одновременно по нескольким осям). Под таблицей РТК записывается основное время и время холостых ходов.

Техническое нормирование проектируемой операции проводят с использованием руководящих материалов и формул, представленных в [6, 7]. После проведения нормирования операции согласно ГОСТ заполняют операционную карту.

### **1.3.8 Конструкция станочного приспособления и описание его работы**

Конструкция станочного приспособления разрабатывается студентами в ходе изучения дисциплины «Конструирование технологической оснастки» с использованием методических указаний по этой дисциплине.

При описании работы приспособления следует указать то, как приспособление устанавливается и закрепляется на столе станка и как устанавливается и закрепляется заготовка в приспособлении.

## 2 ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Задание: описать предполагаемое назначение детали, провести анализ технологичности ее конструкции, описать заданный тип производства и охарактеризовать предполагаемую производственную обстановку, назначить способ производства исходной заготовки и определить ее конфигурацию, назначить планы обработки поверхностей, спроектировать маршрутный ТП изготовления детали, разработать структуру технологических размеров и требований взаимного расположения поверхностей; провести размерный анализ технологического процесса, определив все технологические размеры и возможность их выполнения автоматически на принятом оборудовании; заполнить технологическую документацию; разработать токарную и фрезерно-сверлильную операции ТП, выполняемые на станках с ЧПУ, рассчитать режимы резания, провести нормирование операций, заполнить операционные карты, разработать конструкцию станочного приспособления и описать его работу.

### 2.1 Анализ исходных данных

#### 2.1.1 Анализ назначения детали и технологичности ее конструкции

На рисунке 6 представлен чертёж втулки, которую необходимо изготовить в условиях среднесерийного производства в количестве  $N = 1800$  шт. В качестве материала детали использована сталь 40Х.

Деталь «Втулка» служит подшипником скольжения. Наружная цилиндрическая поверхность  $\varnothing 80h7$  с шероховатостью  $Ra=1,25$  мкм служит для установки втулки в корпус передаточного механизма. Два отверстия  $\varnothing 4H8$  с шероховатостью  $Ra=1,25$  мкм и две лыски с шероховатостью  $Ra=10$  мкм служат для однозначной ориентации втулки в корпусе. Центральное отверстие  $\varnothing 50H6$  с шероховатостью  $Ra=1,25$  мкм служит для установки вала. Наружная канавка  $\varnothing 72h13$  шириной 10 мм с шероховатостью  $Ra=10$  мкм и отверстие в ней  $\varnothing 5H12$  с шероховатостью  $Ra=10$  мкм служат для подвода масла к шейке вала.

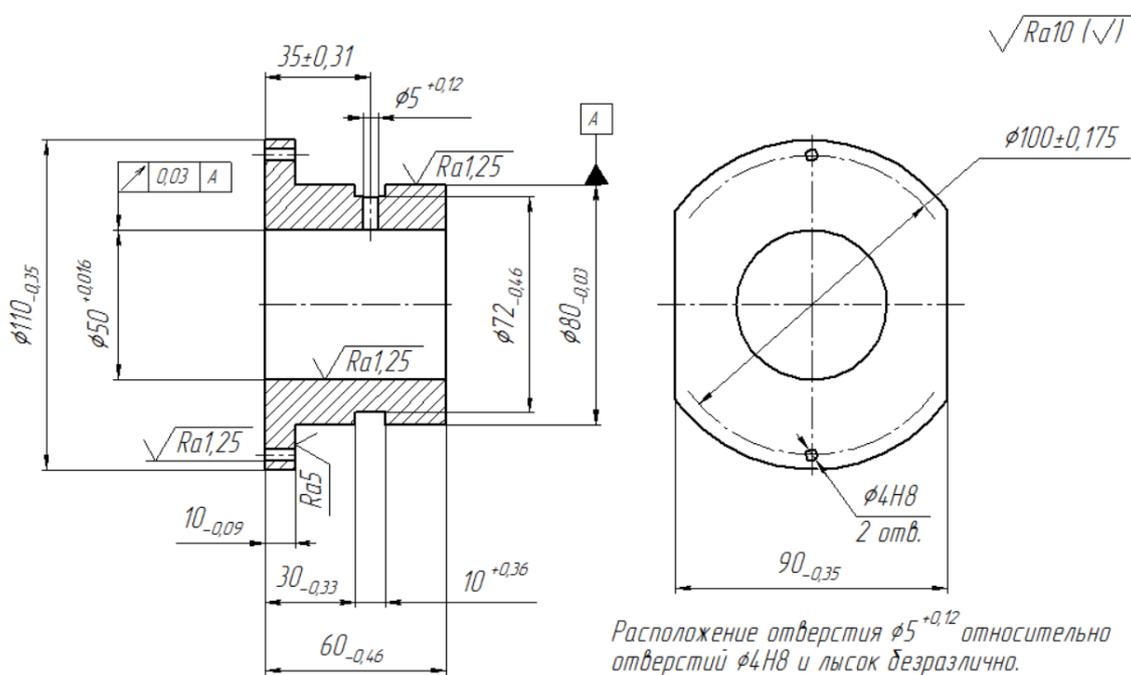


Рисунок 6 – Втулка

Втулка изготавливается из стали 40Х. Химический состав и механические свойства материала представлены соответственно в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Химический состав стали 40Х, % (ГОСТ 4543-71)

C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	S	P	Fe
0,36 – 0,44	0,5 – 0,8	0,17 – 0,37	0,8 – 1,1	< 0,3	< 0,3	< 0,035	< 0,035	96,62 – 97,5

Таблица 3 – Механические свойства стали 40Х (ГОСТ 4543-71, до / после ТО)

Предел текучести, $\sigma_{0,2}$	Временное сопротивление, $\sigma_B$	Относительное удлинение, $\delta_5$	Ударная вязкость, КСЧ	Твердость
МПа		%	кДж/м <sup>2</sup>	НВ
315 / 490	570 / 655	14 / 15	34 / 59	180 / 230

Разобьем структуру детали на взаимосвязанные элементы вращения (ЭВ) и плоскостные элементы (ЭП), между которыми покажем связи в виде конструкторских размеров и требований взаимного расположения. Структура детали «Втулка» показана на рисунке 7. Перечень элементов, размеров и их характеристик представлен в таблице 4.

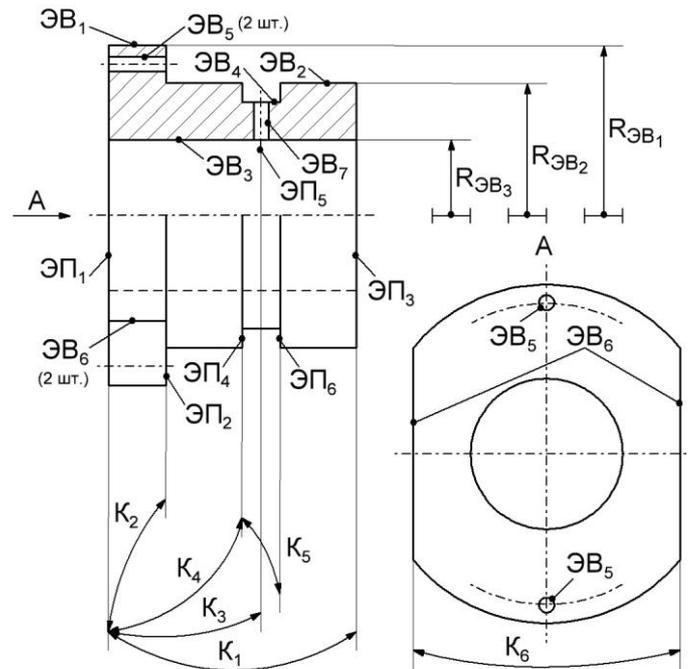


Рисунок 7 – Структура детали «Втулка»

Таблица 4 – Элементы и размеры детали «Втулка» и их характеристики

Элемент	Шероховатость Ra, мкм	Диаметральный или линейный размер	Номер качества
ЭВ <sub>1</sub>	10	D <sub>1</sub>	12
ЭВ <sub>2</sub>	1,25	D <sub>2</sub>	7
ЭВ <sub>3</sub>	1,25	D <sub>3</sub>	6
ЭВ <sub>4</sub>	10	D <sub>4</sub>	13
ЭВ <sub>5</sub> (2 шт.)	1,25	D <sub>5</sub>	8
ЭВ <sub>6</sub> (2 шт.)	10	D <sub>6</sub>	12
ЭВ <sub>7</sub>	10	D <sub>7</sub>	12
ЭП <sub>1</sub>	10	K <sub>1</sub>	13
ЭП <sub>2</sub>	5	K <sub>2</sub>	11
ЭП <sub>3</sub>	10	K <sub>3</sub>	14
ЭП <sub>4</sub>	10	K <sub>4</sub>	13
ЭП <sub>5</sub> (мним.)	–	K <sub>5</sub>	14
ЭП <sub>6</sub>	10	K <sub>6</sub>	12

Проведем анализ конструкции детали на технологичность. Деталь «Втулка» проста по конструкции и полностью состоит из типовых конструктивных элементов, которые можно изготовить на серийно выпускаемом оборудовании, стандартным инструментом, с использованием на большинстве операций универсальной технологической оснастки.

Определим средний квалитет, используя данные таблицы 4 и следующее выражение:

$$K_{cp} = \frac{\sum K_i \cdot n_i}{\sum n_i} \geq 11,$$

где  $K_i$  – квалитет  $i$ -го номера;

$n_i$  – количество поверхностей (размеров) с квалитетом  $i$ -го номера;

$\sum n_i$  – общее количество поверхностей (размеров).

$$K_{cp} = \frac{\sum K_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{6 \cdot 1 + 7 \cdot 1 + 8 \cdot 2 + 11 \cdot 1 + 12 \cdot 5 + 13 \cdot 3 + 14 \cdot 2}{15} = 11,13 \geq 11.$$

Так как средний квалитет больше 11, то по параметру точности конструкция детали является технологичной.

Определим среднюю шероховатость, используя данные таблицы 4 и следующее выражение:

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{\sum n_i} \geq Ra = 2,5 \text{ мкм},$$

где  $Ш_i$  –  $i$ -я шероховатость;

$n_i$  – количество поверхностей с  $i$ -й шероховатостью;

$\sum n_i$  – общее количество поверхностей.

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{1,25 \cdot 4 + 5 \cdot 1 + 10 \cdot 9}{14} = 7,14 \geq Ra = 2,5 \text{ мкм}.$$

Так как средняя шероховатость больше  $Ra = 2,5$  мкм, то по параметру шероховатости конструкция детали является технологичной.

Рассчитаем коэффициент использования материала по следующей формуле:

$$K_{и.м.} = \frac{M}{M_M}$$

где  $M$  – масса готовой детали, кг;

$M_M$  – масса материала, израсходованного на изготовление детали, кг.

$$K_{и.м.} = \frac{M}{M_M} = \frac{1,7}{2,7} = 0,63.$$

## 2.1.2 Тип производства и анализ производственной обстановки

Согласно заданию деталь «Втулка» изготавливается в условиях среднесерийного производства. Тип производства по ГОСТ 14.004-83

характеризуется коэффициентом закрепления операций ( $K_{з.о.}$ ). Для среднесерийного производства он составляет  $10 < K_{з.о.} \leq 20$ .

Изделие при среднесерийном производстве изготавливают партиями или сериями, которые состоят из одноименных, однотипных по конструкции и одинаковых по размерам изделий, запускаемых в производство одновременно. Главным принципом этого вида производства применительно к механообработке является изготовление всей партии деталей целиком. Технологический процесс в среднесерийном производстве обычно дифференцирован, то есть расчленен на отдельные операции, которые закреплены за определенными станками. За каждым рабочим местом закреплено несколько операций. Применяются универсальные станки и станки с ЧПУ. Оборудование расставляется в соответствии с технологическим процессом изготовления деталей. Широко используются специальные приспособления. Используется стандартный и специальный инструмент. Соблюдается принцип полной или неполной взаимозаменяемости. Работу выполняют в основном рабочие средней квалификации.

Определим величину производственной партии по следующей формуле:

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi},$$

где  $N$  – годовая программа выпуска с учетом запасных деталей для настройки станков (5...10% от объема выпуска), шт;

$a$  – число дней хранения запаса деталей для обеспечения ритмичности сборки (5...20 дней);

$\Phi$  – число рабочих дней в году (253 дня).

Минимальное количество деталей в партии при  $a = 5$  дней составит:

$$n_{min} = \frac{N \cdot a_{min}}{\Phi} = \frac{1800 \cdot 5}{253} \approx 35 \text{ шт.},$$

Максимальное количество деталей в партии при  $a = 20$  дней составит:

$$n_{max} = \frac{N \cdot a_{max}}{\Phi} = \frac{1800 \cdot 20}{253} \approx 142 \text{ шт.},$$

Примем количество деталей в партии  $n$  равное 100 шт., что обеспечивает 18 запусков в год (3 запуска в 2 месяца).

Для изготовления детали «Втулка» предполагается использовать следующее оборудование:

- горизонтально-ковочную машину (ГКМ);
- токарный станок с ЧПУ модели 16К20Ф3;
- универсальный вертикально-сверлильный станок модели 2Н135;
- вертикально-фрезерный станок с ЧПУ модели 6Р13РФ3;
- электрическую печь СНЗ 2,5.5.1,7;
- круглошлифовальный станок модели 3Т160;

- внутришлифовальный станок модели 3К227В.

Технические характеристики станков представлены в [6]. (Указание: здесь необходимо представить соответствующие таблицы с техническими характеристиками станков.)

## **2.2 Проектирование ТП изготовления детали**

### **2.2.1 Способ производства исходной заготовки**

Назначим способ производства исходной заготовки и определим ее конфигурацию. Исходя из конфигурации детали, марки материала и типа производства в качестве исходной заготовки назначим штамповку, выполненную на горизонтально-ковочной машине. В исходной заготовке выполняются две наружные ступени и центральное отверстие.

### **2.2.2 Определение планов обработки поверхностей и проектирование принципиальной схемы ТП**

Назначим планы обработки поверхностей, на основе которых спроектируем принципиальную схему ТП. Для этого воспользуемся чертежом детали, информацией о полученной ранее ее структуре (см. рисунок 7), и рассмотрим каждую поверхность отдельно. Планы обработки поверхностей детали представим в табличной форме (см. таблицу 5), которая приведена в [8, 9, 10]. Из нее видно, что для изготовления детали «Втулка» необходимо реализовать следующие этапы ТП:

- заготовительный (штамповочный);
- токарный черновой;
- токарный получистовой;
- токарный чистовой;
- сверлильный;
- фрезерный;
- шлифовальный.

Учитывая технологические возможности современных станков с ЧПУ, позволяющие совмещать токарную черновую, получистовую и чистовую обработку заготовки, а также её фрезерную и сверлильную обработку, окончательно примем следующую принципиальную схему ТП изготовления детали «Втулка», которая будет включать пять этапов:

- заготовительный (штамповочный);
- токарный;
- сверлильный;
- фрезерно-сверлильный;
- шлифовальный.

Таблица 5 – Принципиальная схема технологического процесса изготовления детали «Втулка»

Характеристики этапа обработки элемента	Элементы детали												
	ЭВ <sub>1</sub>	ЭВ <sub>2</sub>	ЭВ <sub>3</sub>	ЭВ <sub>4</sub>	ЭВ <sub>5</sub>	ЭВ <sub>6</sub>	ЭВ <sub>7</sub>	ЭП <sub>1</sub>	ЭП <sub>2</sub>	ЭП <sub>3</sub>	ЭП <sub>4</sub>	ЭП <sub>5</sub>	ЭП <sub>6</sub>
Метод окончательной обработки элемента с указанием до или после ТО	Точен. полу-чист. до ТО	Шлифование после ТО	Шлифование после ТО	Точение черн. до ТО	Развертывание. до ТО	Фрезерование до ТО	Сверление до ТО	Подрезка окон. до ТО	Подшлифов. после ТО	Подрезка окон. до ТО	Подрезка окон. до ТО	Сверление до ТО	Подрезка окон. до ТО
Точность	h12	h7	H6	h13	H8	h12	H12	–	–	–	–	–	–
Шероховатость R <sub>a</sub>	10	1,25	1,2	10	1,25	10	10	10	5	10	10	–	10
Метод предварительной обработки элемента	Точение черновое	Точение чистовое	Растачив. чистовое	–	Сверление	–	–	Подрезка предвар.	Подрезка предвар.	Подрезка предвар.	–	–	–
Точность	h14	h10	H9	–	H12	–	–	–	–	–	–	–	–
Шероховатость R <sub>a</sub>	20	5	5	–	5	–	–	20	10	20	–	–	–
Метод предварительной обработки элемента	Точение черновое	Точение полу-чист.	Растачив. полу-чист.	–	–	–	–	–	Подрезка предвар.	–	–	–	–
Точность	h14	h11	H11	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Шероховатость R <sub>a</sub>	20	10	10	–	–	–	–	–	20	–	–	–	–
Метод предварительной обработки элемента	–	Точение черновое	Растачив. черновое	–	–	–	–	–	Подрезка предвар.	–	–	–	–
Точность	–	h13	H14	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Шероховатость R <sub>a</sub>	–	20	20	–	–	–	–	–	20	–	–	–	–
Метод получения элемента в заготовке	Штамповка ГКМ	Штамповка ГКМ	Штамповка ГКМ	–	–	–	–	Штамповка ГКМ	Штамповка ГКМ	Штамповка ГКМ	–	–	–
Отклонения	+1,0 –0,4	+1,0 –0,4	+0,4 –0,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Шероховатость R <sub>Z</sub>	400	400	400	–	–	–	–	400	400	400	–	–	–

### 2.2.3 Разработка маршрутного ТП изготовления детали

На основе спроектированной принципиальной схемы ТП и данных об оборудовании разработаем следующий маршрутный технологический процесс изготовления втулки.

Операция 005 штамповочная выполняется на горизонтально-ковочной машине. На этой операции предварительно с шероховатостью Rz 400 выполняются два торца, две наружные цилиндрические поверхности (чертежный размер  $\varnothing 110h12$  и  $\varnothing 80h7$ ) с отклонениями мм, EI=-0,4мм, буртик и центральное отверстие (чертежный размер  $\varnothing 50H6$ ) с отклонениями ES=+0,4мм, EI=-0,9мм.

Операция 010 токарная выполняется на токарном станке с ЧПУ модели 16K20Ф3. На этой операции окончательно подрезается правый торец с шероховатостью Ra=10мкм, предварительно обтачивается наружная цилиндрическая поверхность (чертежный размер  $\varnothing 80h7$ ) по 10-му качеству с шероховатостью Ra=5мкм с предварительной подрезкой прилегающего буртика с шероховатостью Ra=5мкм, окончательно обтачивается наружная канавка  $\varnothing 72h13_{(-0.46)}$ мм, шириной 10 мм, с шероховатостью Ra=10мкм, предварительно растачивается сквозное отверстие (чертежный размер  $\varnothing 50H6$ ) по 9-му качеству с шероховатостью Ra=5мкм. Заготовка базируется по наружной цилиндрической поверхности максимального диаметра с упором в левый торец.

Операция 015 токарная выполняется на токарном станке с ЧПУ модели 16K20Ф3. На этой операции окончательно подрезается левый торец с шероховатостью Ra=10мкм, окончательно обтачивается наружная цилиндрическая поверхность  $\varnothing 110h12$  с шероховатостью Ra=10мкм. Заготовка базируется по предварительно обработанной наружной цилиндрической поверхности с упором в прилегающий буртик.

Операция 020 сверлильная выполняется на вертикально-сверлильном станке с ручным управлением модели 2Н135. На этой операции окончательно сверлится отверстие  $\varnothing 5H12$  с шероховатостью Ra=10мкм. Заготовка базируется по предварительно расточенному сквозному отверстию с упором в правый торец.

Операция 025 фрезерная выполняется на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ модели 6Р13РФ3. На этой операции окончательно сверлятся 2 отверстия  $\varnothing 4H8$  с шероховатостью Ra=10мкм и фрезеруются две лыски с шероховатостью Ra=10мкм. Заготовка базируется по предварительно обработанной наружной цилиндрической поверхности с упором в прилегающий буртик.

Операция 030 термическая. На этой операции производится закалка заготовки до HRC48...52.

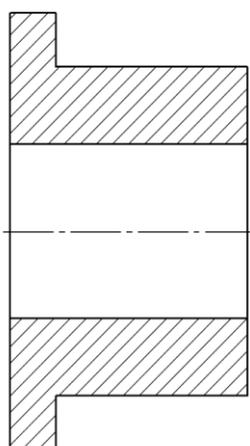
Операция 035 шлифовальная выполняется на круглошлифовальном станке модели 3Т160. На этой операции окончательно шлифуется наружная

цилиндрическая поверхность  $\text{Ø}80\text{h}7$  с шероховатостью  $Ra=1,25\text{мкм}$  с подшлифовкой буртика с шероховатостью  $Ra=5\text{мкм}$ . Заготовка базируется по предварительно расточенному сквозному отверстию с упором в левый торец.

Операция 040 шлифовальная выполняется на внутришлифовальном станке модели 3К227В. На этой операции окончательно шлифуется сквозное отверстие  $\text{Ø}50\text{H}6$  с шероховатостью  $Ra=1,25\text{мкм}$ . Заготовка базируется по шлифованной наружной цилиндрической поверхности с упором в прилегающий буртик.

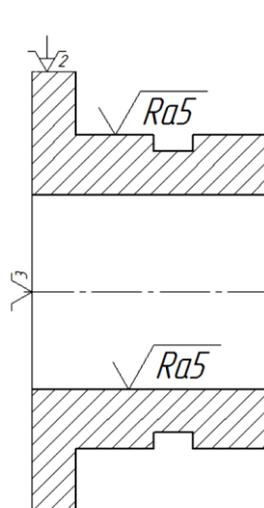
На рисунке 8 представлены операционные эскизы (без размеров), на которых можем видеть номера и наименования операций, модели используемых станков, схемы базирования, перечень поверхностей, обрабатываемых на каждой операции ТП, и их шероховатость, а также обеспечиваемые технические требования.

005 Штамповка ГKM



$\sqrt{Rz400}$

010 Токарная с ЧПУ  
Станок 16К20Ф3

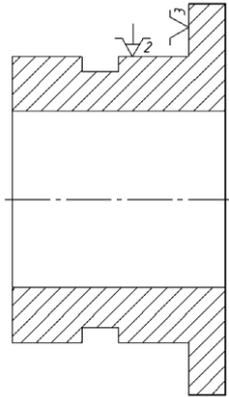


$\sqrt{Ra10 (\checkmark)}$

Рисунок 8 – Оборудование, схемы базирования и перечень элементов, обрабатываемых на операциях ТП изготовления втулки

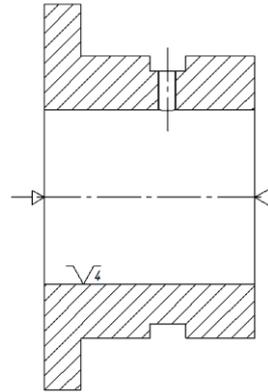
015 Токарная с ЧПУ  
Станок 16K20Ф3

$\sqrt{Ra10}$



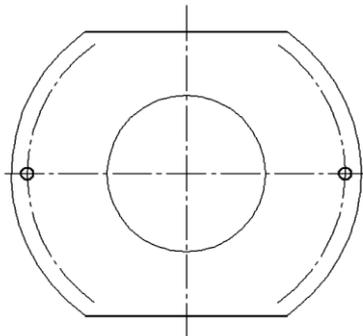
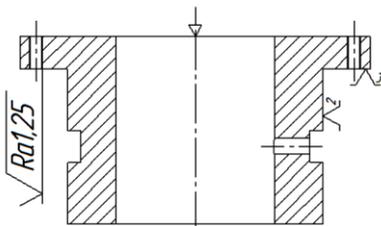
020 Сверлильная  
Станок 2Н135

$\sqrt{Ra10}$

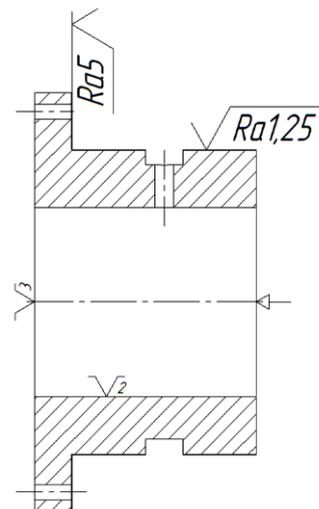


025 Фрезерная с ЧПУ  
Станок 6P13PФ3

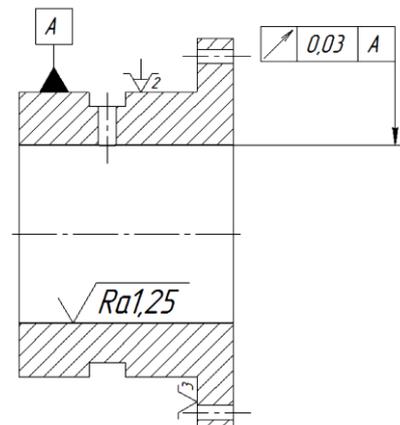
$\sqrt{Ra10 (\checkmark)}$



035 Шлифовальная  
Станок 3Т160



040 Шлифовальная  
Станок 3К227В



030 Термическая (без эскиза)  
Калить HRC 48...52

Рисунок 8 – Окончание

## 2.2.4 Размерно-точностной анализ ТП

Используя методику, представленную в [8, 9, 10], проведем размерно-точностной анализ ТП изготовления втулки. В первую очередь проведем назначение технологических размеров. Для этого вычертим операционные эскизы и на каждой операции проставим технологические размеры, руководствуясь правилами, упомянутой методики.

Согласно этой методике, на операции 005 все линейные размеры должны быть заданы от установочной базы первой операции механической обработки, так как все плоскости, формируемые в исходной заготовке, имеют предварительное состояние и в дальнейшем обрабатываются.

На операции 010 торец получает окончательное состояние, а конструкторская база имеет предварительное состояние. Поэтому координировать этот торец следует от буртика, так как он служит технологической базой при переводе конструкторской базы в окончательное состояние. Аналогично следует координировать канавку.

При назначении размеров на остальных операциях стремимся обеспечить отсутствие погрешности базирования.

Проведем размерно-точностной анализ предлагаемого ТП. Для этого построим размерные схемы линейных размеров и биений, которые представлены на рисунке 9.

Используя размерную схему линейных размеров, представленную на рисунке 9, *а*, составим уравнения технологических размерных цепей. В качестве замыкающих звеньев этих цепей примем конструкторские размеры и припуски:

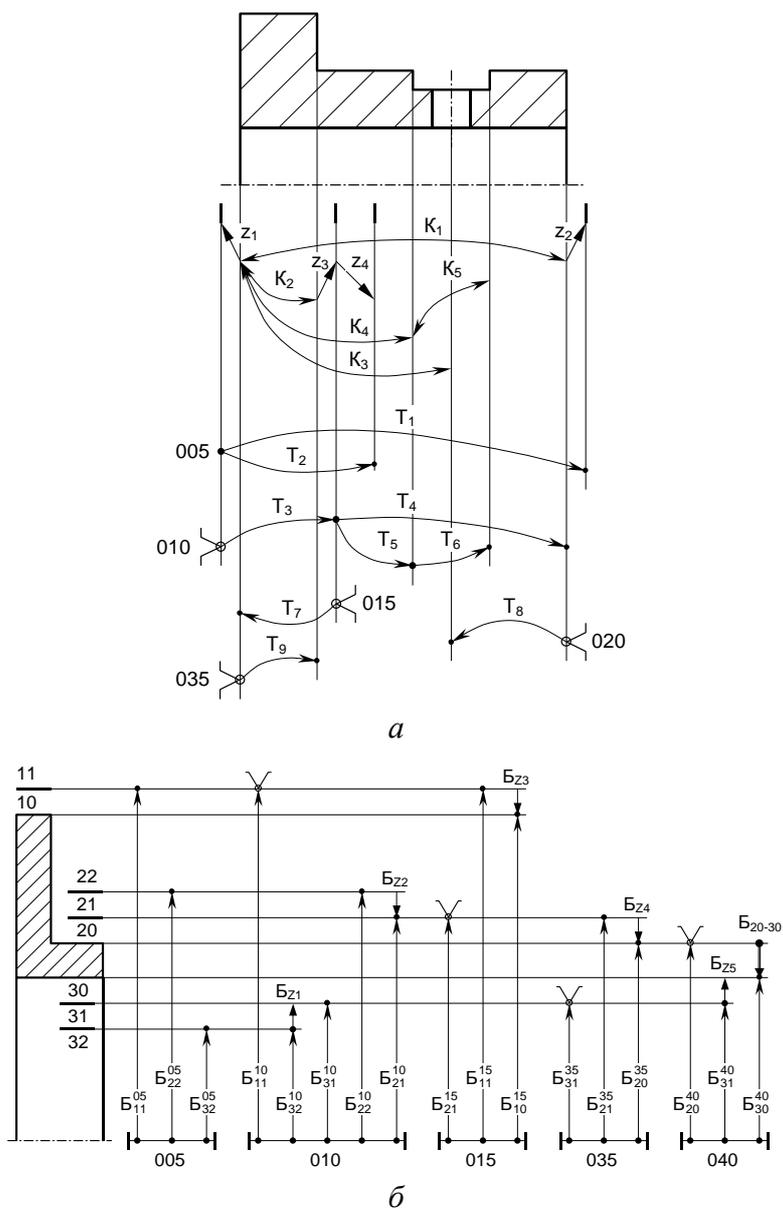
$$\begin{aligned} K_1 &= T_7 + T_4; & K_2 &= T_9; & K_3 &= T_7 + T_4 - T_8; \\ K_4 &= T_7 + T_5; & K_5 &= T_6; & Z_1 &= T_3 - T_7; \\ Z_2 &= T_1 - T_3 - T_4; & Z_3 &= T_7 - T_9; & Z_4 &= T_2 - T_3. \end{aligned}$$

Прежде всего, для двухзвенных цепей назначим допуски технологических размеров в соответствии с методом обработки. При этом будем использовать положение о том, что, мы экономически ничего не выигрываем, принимая для операционного размера допуск более широкий, чем допуск, соответствующий экономической точности метода обработки, так как стоимость обработки при этом не уменьшается [3].

Так как размер  $T_9$  получаем методом шлифования, то назначим для него допуск по 10-му качеству, что на один качество грубее точности метода. Тогда  $T_9 = 10_{-0,058}$  мм.

Размер  $T_6$  выполняется методом точения и, следовательно, его допуск можно принять равным допуску конструкторского размера, т.е.  $T_6 = 10^{+0,36}$  мм.

Решение уравнений технологических размерных цепей проводим методом полной взаимозаменяемости [8, 9, 10].



*a* – размерная схема линейных размеров; *б* – размерная схема биений  
Рисунок 9 – Размерные схемы технологического процесса

$$Z_3 = T_7 - T_9;$$

$Z_{3\min}^{\text{расч}} = (R_Z+h)_{i-1}+e_\phi$  и после чистового точения и термообработки получим, согласно [3,6]

$$Z_{3\min}^{\text{расч}} = 0,025 + 0 + 0,145 = 0,17 \text{ мм};$$

$$T_9 = 10_{-0,058} \text{ мм};$$

Из уравнения для  $Z_3$  имеем:

$$Z_{3\min} = T_{7\min} - T_{9\max};$$

$$T_{7\min} = T_{9\max} + Z_{3\min} = 10 + 0,17 = 10,17 \text{ мм}.$$

Примем допуск на размер  $T_7$  по 11-му качеству, что соответствует методу обработки – чистовое точение ( $IT_{T7} = 0,11$  мм)

$$T_7 = T_{7\min} + IT_{T7} = 10,17 + 0,11 = 10,28 \text{ мм.}$$

Округляем и получим окончательно

$$T_7 = 10,3_{-0,11} \text{ мм.}$$

$$Z_{3\min}^{\phi} = T_{7\min} - T_{9\max} = 10,19 - 10 = 0,19 \text{ мм;}$$

$$Z_{3\max}^{\phi} = T_{7\min} - T_{9\min} = 10,3 - 9,942 = 0,358 \text{ мм.}$$

$$K_1 = T_7 + T_4;$$

Известно:  $K_1 = 60_{-0,46} = 59,77 \pm 0,23$  мм;  $T_7 = 10,3_{-0,11} = 10,245 \pm 0,055$  мм;

Определим:  $T_4^{cp} = K_1^{cp} - T_7^{cp} = 59,77 - 10,245 = 49,525$  мм;

$IT_{K1} = IT_{T7} + IT_{T4} \Rightarrow IT_{T4} = IT_{K1} - IT_{T7} = 0,46 - 0,11 = 0,35$  мм, что может быть достигнуто на выбранном оборудовании.

$$T_4 = 49,525 \pm 0,175 = 49,35^{+0,35} \text{ мм.}$$

Проведем округление и приведем допуск к 12-му качеству:

$$T_4 = 49,4^{+0,25} \text{ мм.}$$

Проверка:

$$K_{1\min}^{\phi} = T_{7\min} + T_{4\min} = 10,19 + 49,4 = 59,59 > 59,54 \text{ мм;}$$

$$K_{1\max}^{\phi} = T_{7\max} + T_{4\max} = 10,3 + 49,65 = 59,95 < 60 \text{ мм.}$$

$$K_3 = T_7 + T_4 - T_8;$$

Известно:  $K_3 = 35 \pm 0,31$  мм;  $T_7 = 10,3_{-0,11} = 10,245 \pm 0,055$  мм;

$T_4 = 49,4^{+0,25} = 49,525 \pm 0,125$  мм.

Определим:  $T_8^{cp} = T_7^{cp} + T_4^{cp} - K_3^{cp} = 10,245 + 49,525 - 35 = 24,77$  мм;

$IT_{K3} = IT_{T7} + IT_{T4} + IT_{T8} \Rightarrow IT_{T8} = IT_{K3} - IT_{T7} - IT_{T4} = 0,62 - 0,11 - 0,25 = 0,26$  мм, что может быть достигнуто на выбранном оборудовании.

$$T_8 = 24,77 \pm 0,13 \text{ мм.}$$

Проведем округление и приведем допуск к 12-му качеству:

$$T_8 = 24,75 \pm 0,105 \text{ мм.}$$

Проверка:

$$K_{3\min}^{\phi} = T_{7\min} + T_{4\min} - T_{8\max} = 10,19 + 49,4 - 24,855 = 34,735 > 34,69 \text{ мм;}$$

$$K_{3\max}^{\phi} = T_{7\max} + T_{4\max} - T_{8\min} = 10,3 + 49,65 - 24,645 = 35,305 < 35,31 \text{ мм.}$$

$$K_4 = T_7 + T_5$$

Известно:  $K_4 = 30_{-0,33} = 29,835 \pm 0,165$  мм;  $T_7 = 10,3_{-0,11} = 10,245 \pm 0,055$  мм.

Определим:  $T_5^{cp} = K_4^{cp} - T_7^{cp} = 29,835 - 10,245 = 19,59$  мм;

$IT_{K4} = IT_{T7} + IT_{T5} \Rightarrow IT_{T5} = IT_{K4} - IT_{T7} = 0,33 - 0,11 = 0,22$  мм, что может быть достигнуто на выбранном оборудовании.

$$T_5 = 19,59 \pm 0,11 = 19,7_{-0,22} \text{ мм.}$$

Приведем допуск к квалитетному (12-й квалитет) и получим

$$T_5 = 19,7_{-0,21} \text{ мм.}$$

Проверку в данном случае проводить нет надобности, т.к. допуск ужесточился, а размер не менялся.

$$Z_1 = T_3 - T_7;$$

После штамповки, согласно [3, 6];

$$Z_{1\min}^{\text{расч}} = (R_Z + h)_{i-1} + e_\Phi = 0,16 + 0,2 + 0,3 = 0,66 \text{ мм}$$

$$T_7 = 10,3_{-0,11} \text{ мм};$$

$$Z_{1\min} = T_{3\min} - T_{7\max};$$

$$T_{3\min} = T_{6\max} + Z_{1\min} = 10,3 + 0,66 = 10,96 \text{ мм};$$

Примем допуск на  $T_3$  по 13-му качеству, что соответствует заданию размера от черновой базы [3]. Тогда:

$$T_3 = T_{3\min} + IT_{T_3} = 10,96 + 0,27 = 11,23 \text{ мм.}$$

Округляем и получим окончательно

$$T_3 = 11,3_{-0,27} \text{ мм.}$$

$$Z_{1\min}^\Phi = T_{3\min} - T_{7\max} = 11,03 - 10,3 = 0,73 \text{ мм};$$

$$Z_{1\max}^\Phi = T_{3\min} - T_{7\min} = 11,3 - 10,19 = 1,11 \text{ мм.}$$

$$Z_2 = T_1 - T_3 - T_4;$$

После штамповки, согласно [3, 6]:

$$Z_{2\min}^{\text{расч}} = (R_Z + h)_{i-1} + e_\Phi = 0,16 + 0,2 + 0,3 = 0,66 \text{ мм}$$

$$T_3 = 11,3_{-0,27} \text{ мм}; \quad T_4 = 49,4^{+0,25} \text{ мм}$$

$$Z_{2\min} = T_{1\min} - T_{3\max} - T_{4\max};$$

$$T_{1\min} = T_{3\max} + T_{4\min} + Z_{1\min} = 11,3 + 49,65 + 0,66 = 61,61 \text{ мм};$$

Размер  $T_1$  выполняется в штамповке с отклонениями  $e_s = 1,0 \text{ мм}$  и  $e_i = -0,4 \text{ мм}$ ;

$$T_1 = T_{1\min} + |e_i|_{T_1} = 61,61 + 0,4 = 62,01 \text{ мм.}$$

Округляем и получим окончательно

$$T_1 = 62,5_{-0,4}^{+0,1} \text{ мм.}$$

$$Z_{2\min}^\Phi = T_{1\min} - T_{3\max} - T_{4\max} = 62,1 - 11,3 - 49,65 = 1,15 \text{ мм};$$

$$Z_{2\max}^\Phi = T_{1\max} - T_{3\min} - T_{4\min} = 63,5 - 11,19 - 49,4 = 2,91 \text{ мм.}$$

$$Z_4 = T_2 - T_3;$$

После штамповки, согласно [3, 6],

$$Z_{4\min}^{\text{расч}} = (R_Z + h)_{i-1} + e_\Phi = 0,16 + 0,2 + 0,3 = 0,66 \text{ мм}$$

$$T_3 = 11,3_{-0,27} \text{ мм};$$

$$Z_{4\min} = T_{2\min} - T_{3\max};$$

$$T_{2\min} = T_{3\max} + Z_{4\min} = 11,3 + 0,66 = 11,96 \text{ мм};$$

Размер  $T_2$  выполняется в штамповке с отклонениями  $e_s = 0,9 \text{ мм}$  и  $e_i = -0,4 \text{ мм}$ ;

$$T_2 = T_{2\min} + |e_i|_{T_2} = 11,96 + 0,4 = 12,36 \text{ мм.}$$

Округляем и получим окончательно

$$T_2 = 12,5_{-0,4}^{+0,9} \text{ мм.}$$

$$Z_{4\min}^{\phi} = T_{2\min} - T_{3\max} = 12,10 - 11,3 = 0,80 \text{ мм;}$$

$$Z_{4\max}^{\phi} = T_{2\max} - T_{3\min} = 13,4 - 11,03 = 2,37 \text{ мм.}$$

Результаты расчётов технологических размеров заносим в операционные эскизы.

Используя размерную схему биений, в соответствии с методикой, описанной в [8, 9, 10], проведём расчёты биений базовых, обрабатываемых, обработанных поверхностей относительно баз системы «Обработка» и между собой, а также определим неравномерность припуска поверхностей вращения.

Биение элементов 11 и 22 (см. рисунок 9, б) относительно идеальной оси исходной заготовки определим по формуле:

$$B_{11}^{05} = B_{22}^{05} = 2 \cdot \sqrt{(\Delta_{CM})^2 + (\Delta_{КОР})^2},$$

где  $\Delta_{CM} = 0,4$  мм;  $\Delta_{КОР} = 0,5$  мм [6].

Тогда

$$B_{11}^{05} = B_{22}^{05} = 2 \cdot \sqrt{0,4^2 + 0,5^2} = 1,28 \text{ мм.}$$

Аналогично, используя данные [6], получим:

$$B_{32}^{05} = 2 \cdot \sqrt{(\Delta_{CM})^2 + (\Delta_{КОР})^2} = 2 \cdot \sqrt{0,63^2 + 0,5^2} = 1,61 \text{ мм.}$$

Рассчитаем биение базового элемента 11 относительно базы обработки операции с учётом установки в трёхкулачковый патрон нормальной точности

$$B_{11}^{10} = 2 \cdot 0,17 \cdot \sqrt{1,4 \cdot (1 + 0,02 \cdot 2)} = 0,418 \text{ мм.}$$

Биение обрабатываемой поверхности 32 на операции 10 (рисунок 9, б) определим, составляя уравнение размерной цепи биений,

$$B_{32}^{10} = \sqrt{(B_{11}^{10})^2 + (B_{11}^{05})^2 + (B_{32}^{05})^2} = \sqrt{0,418^2 + 1,28^2 + 1,61^2} = 2,099 \text{ мм.}$$

Биение обработанной поверхности 31 на операции 10 (рисунок 9, б) определим, учитывая, что коэффициент уточнения после чистового точения равен 0,04 [6]

$$B_{31}^{10} = K_V \cdot B_{32}^{10} = 0,04 \cdot 2,099 = 0,084 \text{ мм.}$$

Определим неравномерность припуска  $Z_1$

$$B_{Z_1} = B_{32}^{10} - B_{31}^{10} = 2,099 - 0,084 = 2,015 \text{ мм;}$$

$$e_{Z_1} = B_{Z_1} / 2 = 2,015 / 2 = 1,008 \text{ мм.}$$

Аналогично

$$B_{22}^{10} = \sqrt{(B_{11}^{10})^2 + (B_{11}^{05})^2 + (B_{22}^{05})^2} = \sqrt{0,418^2 + 1,28^2 + 1,28^2} = 1,858 \text{ мм;}$$

$$B_{21}^{10} = K_V \cdot B_{22}^{10} = 0,04 \cdot 1,858 = 0,074 \text{ мм;}$$

$$B_{Z_2} = B_{22}^{10} - B_{21}^{10} = 1,858 - 0,074 = 1,784 \text{ мм;}$$

$$e_{Z_2} = B_{Z_2} / 2 = 1,784 / 2 = 0,892 \text{ мм.}$$

Биение базового элемента 21 относительно базы обработки операции 020

определим с учётом установки в трёхкулачковый патрон повышенной точности

$$B_{21}^{20} = 2 \cdot 0,11 \cdot \sqrt{0,14} \cdot (1 + 0,02 \cdot 0) = 0,082 \text{ мм.}$$

Биение обрабатываемой поверхности 11 на операции 20 (рисунок 9, б) определим, составляя уравнение размерной цепи биений,

$$B_{22}^{20} = \sqrt{(B_{21}^{20})^2 + (B_{21}^{10})^2 + (B_{11}^{10})^2} = \sqrt{0,082^2 + 0,074^2 + 0,418^2} = 0,432 \text{ мм.}$$

Биение обработанной поверхности 10 на операции 20 (рисунок 9, б) определим, учитывая, что коэффициент уточнения после получистового точения равен 0,05 [6]

$$B_{10}^{20} = K_v \cdot B_{11}^{20} = 0,05 \cdot 0,432 = 0,022 \text{ мм.}$$

Определим неравномерность припуска  $Z_3$

$$B_{Z3} = B_{11}^{20} - B_{10}^{20} = 0,432 - 0,022 = 0,41 \text{ мм;}$$

$$e_{Z3} = B_{Z3} / 2 = 0,41 / 2 = 0,205 \text{ мм.}$$

На операции 035, согласно представленному эскизу, заготовка устанавливается отверстием 9 качества точности ( $ES = 0,062$  мм;  $EI = 0$  мм) на оправку с зазором. Примем для оправки посадку f6 ( $ES = -0,025$  мм;  $EI = -0,041$  мм). Биение, вызванное погрешностью установки равно максимальному зазору, т.е.

$$B_{31}^{35} = 0,062 + 0,041 = 0,103 \text{ мм.}$$

Биение обрабатываемой поверхности 21 на операции 35 (рисунок 9, б) определим, составляя уравнение размерной цепи биений,

$$B_{21}^{35} = \sqrt{(B_{31}^{35})^2 + (B_{31}^{10})^2 + (B_{21}^{10})^2} = \sqrt{0,103^2 + 0,084^2 + 0,074^2} = 0,152 \text{ мм.}$$

Биение обработанной поверхности 20 на операции 35 (рисунок 9, б) определим, учитывая, что коэффициент уточнения после чистового шлифования равен 0,02 [6]

$$B_{20}^{35} = K_v \cdot B_{21}^{35} = 0,02 \cdot 0,152 \approx 0,003 \text{ мм.}$$

Определим неравномерность припуска  $Z_4$

$$B_{Z4} = B_{21}^{35} - B_{20}^{35} = 0,152 - 0,003 = 0,149 \text{ мм.}$$

$$e_{Z4} = B_{Z4} / 2 = 0,149 / 2 \approx 0,075 \text{ мм.}$$

На операции 040 заготовку устанавливают в цанговый патрон класса В. Тогда

$$B_{20}^{40} = 2 \cdot 0,06 \cdot \sqrt{0,03} \cdot (1 + 0,01 \cdot 0) = 0,021 \text{ мм;}$$

$$B_{31}^{40} = \sqrt{(B_{20}^{40})^2 + (B_{20}^{35})^2 + (B_{31}^{35})^2} = \sqrt{0,021^2 + 0,003^2 + 0,103^2} = 0,105 \text{ мм;}$$

$$B_{30}^{40} = K_v \cdot B_{31}^{40} = 0,02 \cdot 0,105 = 0,002 \text{ мм;}$$

$$B_{Z5} = B_{31}^{40} - B_{30}^{40} = 0,105 - 0,002 = 0,103 \text{ мм;}$$

$$e_{Z5} = B_{Z5} / 2 = 0,103 / 2 \approx 0,052 \text{ мм.}$$

Проверим технические требования, заданные конструктором:

$$\overline{B}_{20-30} = \overline{B}_{20}^{40} - \overline{B}_{30}^{40}.$$

При наихудшем варианте, когда векторы направлены в разные стороны:

$$B_{20-30} = B_{20}^{40} + B_{30}^{40} = 0,021 + 0,002 = 0,023 \text{ мм} < 0,03 \text{ мм},$$

т.е. требования конструктора выполнены.

Проведём расчёт межоперационных диаметральных размеров, сведя данные в таблицу и используя представленные ниже формулы.

Определим наружный диаметр, поступающий на шлифование (операция 040) после операции 010:

$$D_{i-1} = D_i + 2Z_{\min} + |ei|_{i-1},$$

где  $D_i$  – диаметр, получаемый на операции 040 и равный  $80_{-0,03}$  мм, т.е. его номинал  $D_i = 80$  мм;

$Z_{\min} = (R_Z + h)_{i-1} + e_{\max}$  – величина минимального припуска;

$R_{Zi-1} = 0,025$  мм после чистового точения [6];

$h_{i-1} = 0$  мм после термообработки [6].

В данном случае

$$e_{\max} = \sqrt{(e_{Z4})^2 + (\Delta_K \cdot l)^2},$$

где  $\Delta_K$  – удельное коробление после термообработки, равно  $0,15$  мкм/мм [3].

Учитывая, что  $l = 60$  мм (см. рисунок 6), получим  $\Delta_K \cdot l = 0,15 \cdot 60 = 9$  мкм =  $0,009$  мм.

Тогда

$$e_{\max} = \sqrt{0,075^2 + 0,009^2} = 0,076 \text{ мм}.$$

$|ei|_{i-1} = 0,14$  мм, 10 квалитет после чистового точения.

$$D_{i-1} = 80 + 2 \cdot (0,025 + 0 + 0,076) + 0,14 = 80,342 \text{ мм}.$$

Округляя, получим окончательно  $D_{i-1} = 80,4_{-0,14}$  мм.

Аналогично рассчитываем все остальные размеры. Данные расчета представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчёта межоперационных размеров элементов вращения

Технологический маршрут обработки элемента	№ операции	Размер, мм		Отклонения, мм	Элементы припуска, мм			Расчетный припуск $Z_{i \min}^P$ , мм	Фактический припуск	
		Расчётный	Округленный		$R_{Zi-1}$	$h_{i-1}$	$e_{i \max}$		$Z_{i \min}^\phi$	$Z_{i \max}^\phi$
$\varnothing 110_{-0,35}$										
Получистовое точение	015	110	110	-0,35	0,1	0,1	$0,028^{*2}$	0,228	0,265	0,875
Черновое точение	015	111,326	111,4	-0,87	0,16	0,2	$0,22^{*1}$	0,58	0,6	1,735
Штамповка	005	112,96	113	$\begin{matrix} +1,0 \\ -0,4 \end{matrix}$	–	–	–	–	–	–
$\varnothing 80_{-0,03}$										
Чистовое шлифование	035	80	80	-0,03	0,025	-	$0,076^{*6}$	0,101	0,13	0,215
Чистовое точение	010	80,342	80,4	-0,14	0,05	0,05	$0,019^{*5}$	0,119	0,14	0,32
Получистовое точение	010	80,858	80,9	-0,22	0,1	0,1	$0,07^{*4}$	0,27	0,28	0,66
Черновое точение	010	81,98	82	-0,54	0,16	0,2	$0,907^{*3}$	1,267	1,3	2,27
Штамповка	005	84,934	85	$\begin{matrix} +1,0 \\ -0,4 \end{matrix}$	–	–	–	–	–	–

Технологический маршрут обработки элемента	№ операции	Размер, мм		Отклонения, мм	Элементы припуска, мм			Расчетный припуск $Z_{i \min}^P$ , мм	Фактический припуск	
		Расчётный	Округленный		$R_{Z_{i-1}}$	$h_{i-1}$	$e_{i \max}$		$Z_{i \min}^\phi$	$Z_{i \max}^\phi$
$\varnothing 50^{+0,016}$										
Чистовое шлифование	040	50	50	+0,016	0,02	-	0,053 <sup>*10</sup>	0,073	0,119	0,158
Чистовое растачивание	010	49,792	49,7	+0,062	0,04	0,05	0,02 <sup>*9</sup>	0,11	0,12	0,231
Получист. растачивание	010	49,32	49,3	+0,16	0,05	0,05	0,076 <sup>*8</sup>	0,176	0,19	0,58
Чистовое растачивание	010	48,328	48,3	+0,62	0,16	0,20	1,023 <sup>*7</sup>	1,383	1,4	2,36
Штамповка	005	45,134	45,1	+0,4 -0,9	-	-	-	-	-	-

Примечания к таблице 6.

$$^{*1} e_{\max} = e_{Z3} + e_{\text{инд}},$$

где  $e_{\text{инд}}$  – погрешность индексации при смене инструмента, равная для станка 16К20Ф3 – 0,015 мм.

$$\text{Тогда } ^{*1} e_{\max} = 0,205 + 0,015 = 0,22 \text{ мм.}$$

$$^{*2} e_{\max} = K_y \cdot e_{\max}^{*1} + e_{\text{инд}} = 0,06 \cdot 0,22 + 0,015 = 0,028 \text{ мм.}$$

$$^{*3} e_{\max} = e_{Z2} + e_{\text{инд}} = 0,892 + 0,015 = 0,907 \text{ мм.}$$

$$^{*4} e_{\max} = K_y \cdot e_{\max}^{*3} + e_{\text{инд}} = 0,06 \cdot 0,907 + 0,015 = 0,07 \text{ мм.}$$

$$^{*5} e_{\max} = K_y \cdot e_{\max}^{*4} + e_{\text{инд}} = 0,05 \cdot 0,07 + 0,015 = 0,019 \text{ мм.}$$

<sup>\*6</sup> в данном случае  $e_{\max} = \sqrt{(e_{Z4})^2 + (\Delta_k \cdot l)^2}$ , где  $\Delta_k$  – удельное коробление после термообработки, равное 0,15 мкм/мм [6].

$$\text{Учитывая, что } l = 60 \text{ мм (см. рисунок 6), получим } \Delta_k \cdot l = 0,15 \cdot 60 = 9 \text{ мкм} = 0,009 \text{ мм.}$$

$$\text{Тогда } e_{\max} = \sqrt{0,075^2 + 0,009^2} = 0,076 \text{ мм.}$$

$$^{*7} e_{\max} = e_{Z1} + e_{\text{инд}} = 1,008 + 0,015 = 1,023 \text{ мм.}$$

$$^{*8} e_{\max} = K_y \cdot e_{\max}^{*7} + e_{\text{инд}} = 0,06 \cdot 1,023 + 0,015 = 0,076 \text{ мм.}$$

$$^{*9} e_{\max} = K_y \cdot e_{\max}^{*8} + e_{\text{инд}} = 0,06 \cdot 0,076 + 0,015 \approx 0,02 \text{ мм.}$$

<sup>\*10</sup> В данном случае  $e_{\max} = \sqrt{(e_{Z5})^2 + (\Delta_k \cdot l)^2}$ , где  $\Delta_k$  – удельное коробление после термообработки, равное 0,15 мкм/мм [6]. Учитывая, что  $l = 60$  мм (см. рисунок 6), получим  $\Delta_k \cdot l = 0,15 \cdot 60 = 9 \text{ мкм} = 0,009 \text{ мм.}$

$$\text{Тогда } e_{\max} = \sqrt{0,052^2 + 0,009^2} = 0,053 \text{ мм.}$$

Итак, проведены все необходимые технологические размерные расчёты, определены все технологические размеры и припуски на обработку. Теперь можно заполнить технологическую документацию (маршрутную карту см. на рисунке 31 и операционные эскизы – на рисунке 32).

Для тех операций, которые не проектировались, графу трудозатраты в маршрутной карте не заполнять.

## 2.3 Проектирование операций ТП

### 2.3.1 Проектирование токарной операции с ЧПУ

1. На проектируемой операции 015 необходимо:

- окончательно подрезать левый торец с шероховатостью  $Ra=10\text{мкм}$ ;
- окончательно обточить наружную цилиндрическую поверхность  $\varnothing 110h12$  с шероховатостью  $Ra=10\text{мкм}$ .

2. Определим количество и перечень инструментов наладки.

Для этого воспользуемся данными, полученными при расчете припусков на обработку плоскостных элементов (см. п. 2.2.4) и определении промежуточных диаметральных размеров (см. таблицу 6).

а) Для обеспечения шероховатости торца  $Ra=10\text{мкм}$  при его однократной обработке глубина резания не должна превышать 2 мм. Максимальный припуск на подрезку торца ( $Z_{1\text{max}}$ ) составляет 1,11 мм, что меньше 2 мм. Следовательно, для обработки торца понадобится один инструмент, то есть будем использовать копировальный резец по ГОСТ 20872-80, оснащенный твердосплавной пластиной Т15К6;

б) При обработке наружной цилиндрической поверхности  $\varnothing 110h12$  с шероховатостью  $Ra=10\text{мкм}$ , согласно данным таблицы 6, выделяется чистовая зона, максимальный припуск которой, равный 0,875 мм, также не превышает 2 мм, что может быть обеспечено однократной обработкой. Аналогичная ситуация для черновой зоны. Учитывая наличие двух зон обработки цилиндрической поверхности, для каждой из них будем использовать свой инструмент. Следовательно, понадобится два копировальных резца по ГОСТ 20872-80, каждый из которых оснащен твердосплавной пластиной Т15К6.

Таким образом, для обработки заготовки на проектируемой операции будем использовать два копировальных резца по ГОСТ 20872-80, оснащенных твердосплавными пластинами Т15К6.

3. Разработаем следующую структуру операции.

Переход №1. Установить заготовку и снять ее после обработки.

Переход №2. Подрезать торец в размер  $10,3_{-0,11}$  мм с шероховатостью  $Ra=10\text{мкм}$  за один проход, точить предварительно наружную цилиндрическую поверхность  $\varnothing 111,4_{-0,87}$  мм за один проход; для этого будем использовать копировальный резец по ГОСТ 20872-80, оснащенный твердосплавной пластиной Т15К6;

Переход №3. Точить окончательно наружную цилиндрическую поверхность  $\varnothing 110h12_{(-0,35)}$  мм с шероховатостью  $Ra=10\text{мкм}$  за один проход; для этого будем использовать копировальный резец по ГОСТ 20872-80, оснащенный твердосплавной пластиной Т15К6.

#### 4. Проведем расчет режимов резания.

Расчет режимов резания проведем по наиболее нагруженному переходу №2, в котором проводится предварительная обработка наружной цилиндрической поверхности Ø111,4 мм за один проход от заготовки.

Глубина резания  $t$  в этом случае составит 0,8 мм.

Диаметр обработки  $D = 111,48$  мм.

Согласно [7, с. 364, табл. 11], осевая подача  $S$  составит 0,8...1,3 мм/об.

Примем  $S = 0,8$  мм/об.

Стойкость режущей части резца  $T$ , согласно [7, с. 363], составит 30...60 мин. Примем  $T = 45$  мин.

Скорость резания, согласно [7], определяется по формуле:

$$V = \frac{C_V}{T^m t^x S^y} K_V, \text{ м/мин},$$

где  $C_V$  – коэффициент,  $C_V = 280$  [7, с. 367, табл. 17];

$m, x, y$  – показатели степени, согласно [7, с. 367, табл. 17],  $m = 0,2$ ,  $x = 0,15$ ,  $y = 0,45$ ;

$K_V$  – поправочный коэффициент,  $K_V = K_{ПВ} K_{МВ} K_{ИВ}$ ;

$K_{ПВ}$  – коэффициент, учитывающий состояние поверхности,  $K_{ПВ} = 0,8$  [7, с. 361, табл. 5];

$K_{МВ}$  – коэффициент на обрабатываемый материал, согласно [7, с. 358, табл. 1],  $K_{МВ} = K_{Г}(750/\sigma_B)^{n_V}$ ;

$K_{ИВ}$  – коэффициент на инструментальный материал,  $K_{ИВ} = 1,0$  [7, с. 361, табл. 6];

$K_{Г}$  – коэффициент, характеризующий группу стали по обрабатываемости,  $K_{Г} = 1,0$  [7, с. 359, табл. 2];

$\sigma_B$  – предел прочности, МПа, для стали 40Х  $\sigma_B = 570$  МПа;

$n_V$  – показатель степени,  $n_V = 1,0$  [7, с. 359, табл. 2].

$$K_{МВ} = K_{Г}(750/\sigma_B)^{n_V} = 1,0 (750/570)^{1,0} = 1,316.$$

$$K_V = K_{МВ} K_{ИВ} K_{ПВ} = 1,316 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 1,053.$$

$$V = \frac{C_V}{T^m t^x S^y} K_V = \frac{280}{45^{0,2} \cdot 0,8^{0,15} \cdot 0,8^{0,45}} 1,053 \approx 158 \text{ м/мин}.$$

Расчетная частота вращения шпинделя составит:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 158}{\pi \cdot 111,4} \approx 451,5 \text{ об/мин}.$$

В соответствии с данными паспорта станка 16К20Ф3 примем фактическую частоту вращения шпинделя  $n_{\phi} = 500$  об/мин.

Тогда фактическая скорость резания составит:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{\pi \cdot 111,4 \cdot 500}{1000} \approx 175 \text{ м/мин}.$$

Минутная подача сверла составит

$$S_{\text{мин}} = S \cdot n_{\phi} = 0,8 \cdot 500 = 400 \text{ мм/мин.}$$

Составляющая силы резания  $P_z$  при точении, согласно [7], определяется по формуле:

$$P_z = 10C_P t^x S^y V^n K_P = \text{Н},$$

где  $C_P$  – коэффициент,  $C_P = 300$  [7, с. 372, табл. 22];

$x, y, n$  – показатели степени, согласно [7, с. 372, табл. 22],  $x = 1,0$ ,  $y = 0,75$ ,  $n = -0,15$ ;

$K_P$  – коэффициент, учитывающий фактические условия обработки,

$$K_P = K_{MP} K_{\phi P} K_{\gamma P} K_{\lambda P} K_{rP};$$

$K_{MP}$  – поправочный коэффициент для стали, согласно [7, с. 362, табл. 9],

$$K_{MP} = (\sigma_b/750)^n;$$

$n$  – показатель степени,  $n = 0,75$  [7, с. 362, табл. 9];

$$K_{MP} = (\sigma_b/750)^n = (570/750)^{0,75} = 0,814;$$

$K_{\phi P}$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние главного угла в плане  $\phi$ , согласно [7, с. 374, табл. 23],  $K_{\phi P} = 0,89$ ;

$K_{\gamma P}$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние переднего угла  $\gamma$ , согласно [7, с. 374, табл. 23],  $K_{\gamma P} = 1,0$ ;

$K_{\lambda P}$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние угла наклона главного лезвия  $\lambda$ , согласно [7, с. 374, табл. 23],  $K_{\lambda P} = 1,0$ ;

$K_{rP}$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние радиуса при вершине  $r$ , согласно [7, с. 374, табл. 23],  $K_{rP} = 1,0$ ;

$$K_P = 0,814 \cdot 0,89 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \approx 0,725$$

$$P_z = 10C_P t^x S^y V^n K_P = 10 \cdot 300 \cdot 0,8^{1,0} \cdot 0,8^{0,75} \cdot 175^{-0,15} \cdot 0,725 = 678,3 \text{ Н},$$

Эффективная мощность резания при точении, согласно [7], составит:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{678,3 \cdot 175}{1020 \cdot 60} \approx 1,94 \text{ кВт} < 10 \text{ кВт}.$$

Эффективная мощность резания при точении наружной цилиндрической поверхности  $\varnothing 111,4$  мм за один проход меньше мощности привода главного движения, следовательно, данный переход может быть выполнен при рассчитанных режимах резания.

По аналогии с переходом №2 рассчитаем режимы резания для перехода №3. Результаты расчета режимов резания для переходов №2 и №3 сведем в таблицу 7.

Таблица 7 – Режимы обработки по переходам операции

№ перехода	$t$ , мм	$S$ , мм/об	$V$ , м/мин	$n$ , об/мин	$S_{\text{мин}}$ , мм/мин	$N_e$ , кВт
2	0,8	0,8	175	500	400	1,94
3	0,875	0,35	276,5	800	280	1,68

5. Разработаем схему наладки, схемы движения инструментов и расчетно-технологические карты для каждого механического перехода.

Схема наладки операции представлена на рисунке 10. Схемы движения инструментов представлены на рисунках 11 и 12. На их основе для каждого механического перехода разработаны расчетно-технологические карты, которые представлены в таблицах 8 и 9.

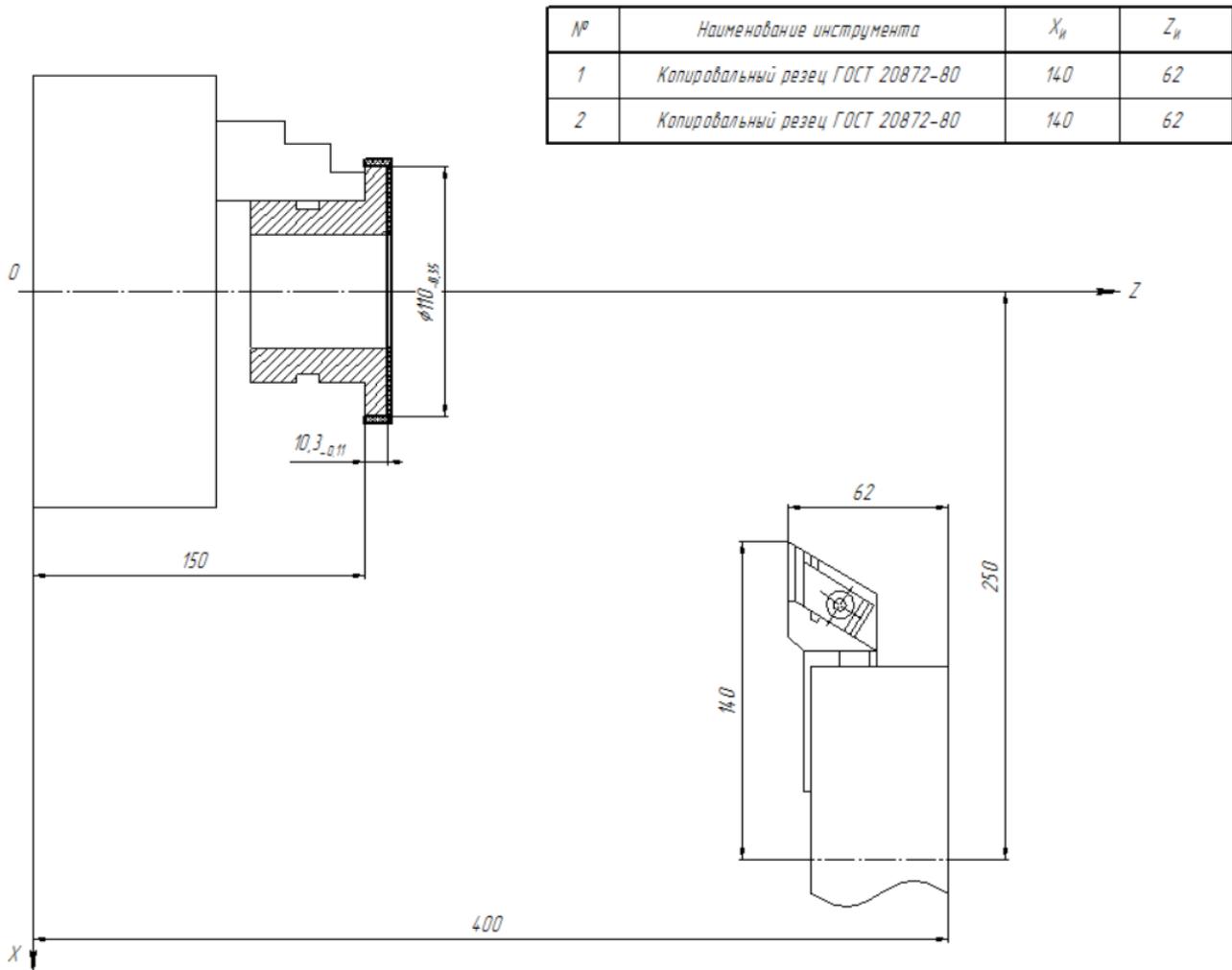


Рисунок 10 – Схема наладки операции 015

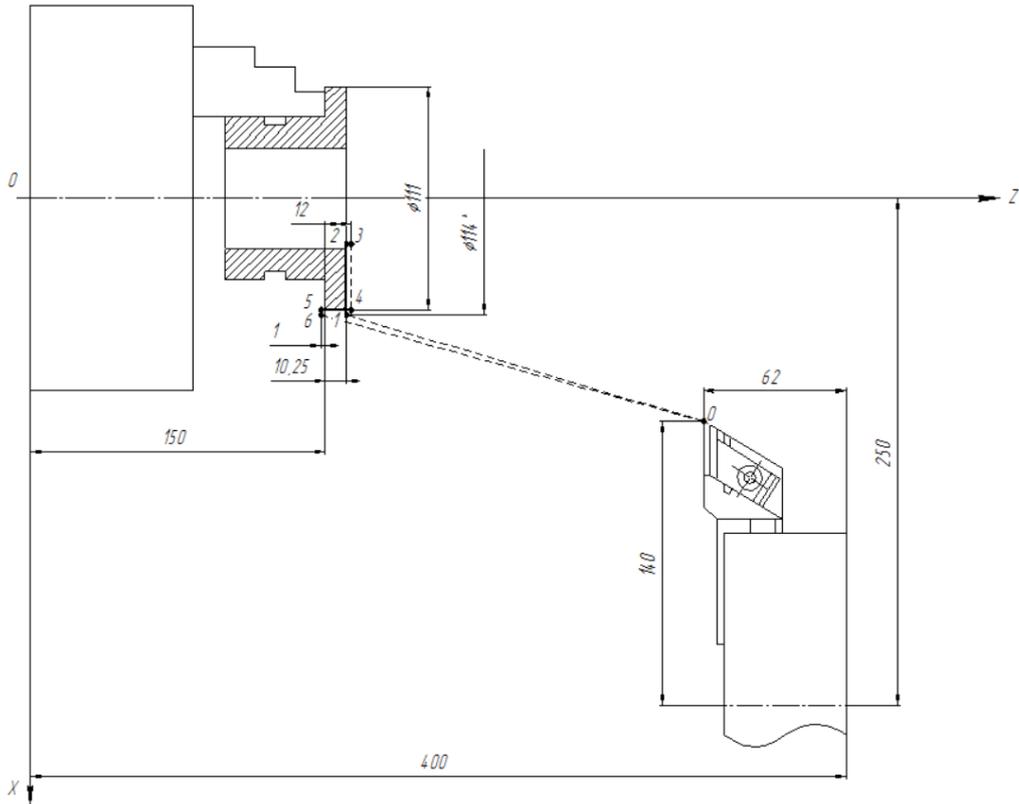


Рисунок 11 – Схема движения инструмента №1 на операции 015

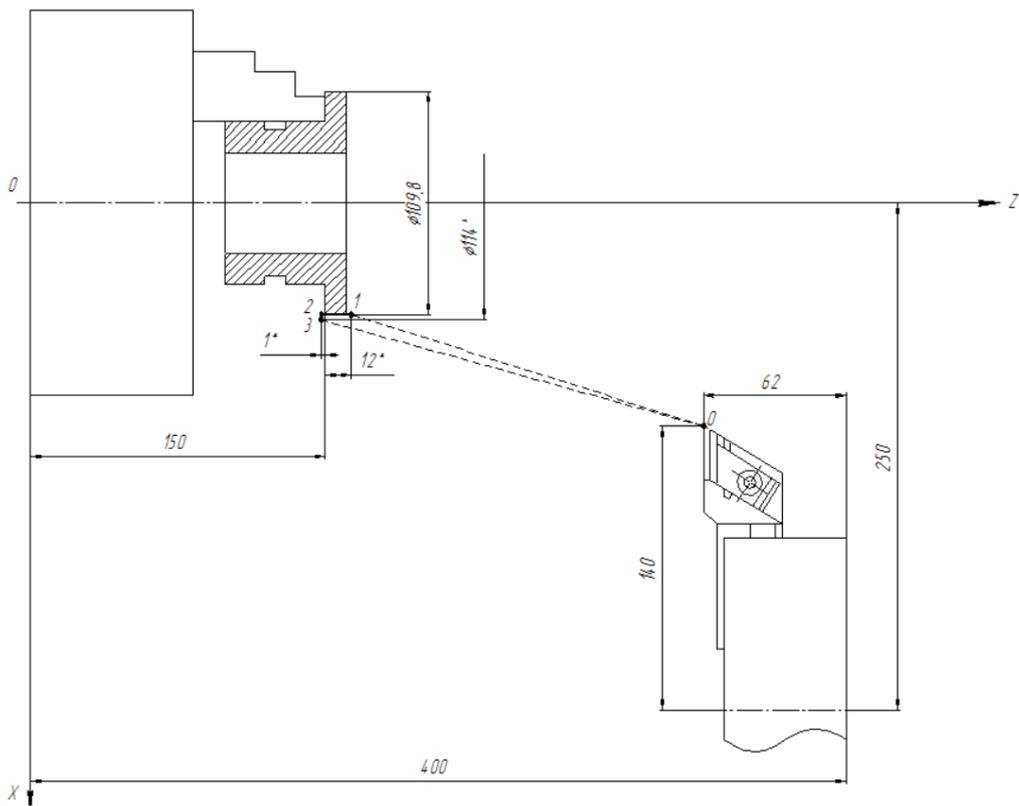


Рисунок 12 – Схема движения инструмента №2 на операции 015  
Таблица 8 – РТК перехода №2 (копировальный резец по ГОСТ 20872-80)

№ точки	X, мм	Δ X, мм	Z, мм	Δ Z, мм	Примечание
0	110	–	338	–	Корректор №1
1	57	-53	160,25	-177,75	XX, вед. коорд. Z, S=2400 мм/мин
2	24	-33	160,25	0	PX, S=400 мм/мин
3	24	0	162	1,75	PX, S=400 мм/мин
4	55,5	31,5	162	0	XX, S=2400 мм/мин
5	55,5	0	149	-13	PX, S=400 мм/мин
6	57	1,5	149	0	PX, S=400 мм/мин
0	110	53	338	189	XX, вед. коорд. Z, S=2400 мм/мин

$$t_{xxi} = \frac{\sum L_{xx}}{s_{xx}} = \frac{398,25}{2400} \approx 0,17 \text{ мин.}$$

$$t_{oi} = \frac{\sum L_{px}}{s_{px}} = \frac{49,25}{400} \approx 0,13 \text{ мин.}$$

$$t_{cni} = 0,1 \text{ мин.}$$

Таблица 9 – РТК перехода №2 (копировальный резец по ГОСТ 20872-80)

№ точки	X, мм	Δ X, мм	Z, мм	Δ Z, мм	Примечание
0	110	–	338	–	Корректор №2
1	54,9	-55,1	162	-176	XX, вед. коорд. Z, S=2400 мм/мин
2	54,9	0	149	-13	PX, S=280 мм/мин
3	57	2,1	149	0	PX, S=280 мм/мин
0	110	53	338	189	XX, вед. коорд. Z, S=2400 мм/мин

$$t_{xxi} = \frac{\sum L_{xx}}{s_{xx}} = \frac{365}{2400} \approx 0,15 \text{ мин.}$$

$$t_{oi} = \frac{\sum L_{px}}{s_{px}} = \frac{15,1}{280} \approx 0,05 \text{ мин.}$$

$$t_{cni} = 0,1 \text{ мин.}$$

Расчет штучного времени  $T_{шт}$  проводим по формуле:

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{обс} + T_{отд}, \text{ мин.}$$

где  $T_o$  – основное время операции,  $T_o = \Sigma t_{oi} = 0,18$  мин;  
 $T_b$  – вспомогательное время операции,  $T_b = t_y + \Sigma t_{xxi} + \Sigma t_{cni} = 0,82$  мин;  
 $t_y$  – время на установку и снятие заготовки,  $t_y = 0,3$  мин;  
 $\Sigma t_{xxi}$  – суммарное время холостых ходов на операции,  $\Sigma t_{xxi} = 0,32$  мин;  
 $\Sigma t_{cni}$  – суммарное время смены инструмента,  $\Sigma t_{cni} = 0,2$  мин;  
 $T_{обс}$  – время на обслуживание рабочего места и оборудования, 12% от  $(T_o + T_b)$ ,  $T_{обс} = 0,12 \cdot (0,18 + 0,82) \approx 0,12$  мин;  
 $T_{отд}$  – время на физические надобности и отдых, 10% от  $(T_o + T_b)$ ,  
 $T_{отд} = 0,1 \cdot (0,18 + 0,82) = 0,1$  мин.

$$T_{шт} = T_o + T_b + T_{обс} + T_{отд} = 0,18 + 0,82 + 0,12 + 0,1 = 1,22 \text{ мин,}$$

Определим штучно-калькуляционное время  $T_{ш-к}$  по формуле:

$$T_{ш-к} = T_{шт} + T_{п-з}/n, \text{ мин,}$$

где  $T_{п-з}$  – подготовительно-заключительное время на партию обрабатываемых заготовок,  $T_{п-з} = T_{п-з1} + T_{п-з2} + T_{п-з3}$  мин;

$T_{п-з1}$  – затраты времени на организационную подготовку,  $T_{п-з1} = 12$  мин;

$T_{п-з2}$  – затраты времени, учитывающие дополнительные работы,

$T_{п-з2} = 6$  мин (расточивание кулачков 5 мин; установка 2-х инструментов в револьверной головке станка  $0,5 \cdot 2 = 1$  мин);

$T_{п-з3}$  – затраты времени на наладку инструмента,  $T_{п-з3} = 2$  мин (привязка 2-х инструментов –  $2 \cdot 1,0$  мин);

$n$  – количество заготовок в обрабатываемой партии, шт.

$$T_{п-з} = T_{п-з1} + T_{п-з2} + T_{п-з3} = 12 + 6 + 2 = 20 \text{ мин.}$$

$$T_{ш-к} = 1,22 + 20/100 = 1,42 \text{ мин.}$$

Таким образом, полностью спроектирована механообрабатывающая операция, выполняемая на станке с ЧПУ модели 16К20Ф3. По результатам проектирования окончательно оформляем операционную карту, которая представлена на рисунке 33.

### 2.3.2 Проектирование фрезерно-сверлильной операции с ЧПУ

1. На проектируемой операции 025 необходимо обработать:

– два сквозных отверстия  $\text{Ø}4\text{H}8$  мм, центры которых расположены на окружности  $\text{Ø}100 \pm 0,175$  мм, обеспечивая параметр шероховатости  $Ra=1,25$  мкм;

– две лыски, выдерживая размер  $90_{-0,35}$  мм и обеспечивая параметр шероховатости  $Ra=10$  мкм.

2. Определим количество и перечень инструментов наладки:

а) Так как сквозные отверстия  $\text{Ø}4\text{H}8$  мм обрабатываются на станке с ЧПУ без использования кондукторных втулок, то необходимо провести их предварительную зацентровку.

Для этого будем использовать центровочное сверло Ø2 мм из быстрорежущей стали P5M5, ОСТ 2420-5-80;

б) Для обработки отверстий Ø4Н8 мм с целью обеспечения их точности и малой шероховатости будем использовать спиральное сверло Ø3,8 мм из быстрорежущей стали P6M5, ГОСТ 22736-77, а также развертку Ø4Н8 мм из быстрорежущей стали P6M5, ГОСТ 1672-80;

с) Для обработки лысок будем использовать концевую фрезу Ø32 с коническим хвостовиком, оснащенную прямыми пластинами из твердого сплава T15K6, ТУ 2-035-591-77.

*3. Разработаем следующую структуру операции.*

Переход №1. Установить заготовку и снять ее после обработки.

Переход №2. Зацентровать 2 отверстия, расположенных на Ø100±0,175 мм, на глубину 1,5 мм; для этого будем использовать центровочное сверло Ø2 мм из быстрорежущей стали P5M5, ОСТ 2420-5-80;

Переход №3. Сверлить два сквозных отверстия Ø3,8 мм, расположенных на Ø100±0,175 мм. Для выполнения перехода используем спиральное сверло Ø3,8 мм из быстрорежущей стали P6M5, ГОСТ 22736-77;

Переход №4. Развернуть два сквозных отверстия Ø4Н8 мм, расположенных Ø100±0,175 мм, обеспечивая параметр шероховатости Ra=1,25 мкм. Для выполнения перехода используем развертку Ø4Н8 мм из быстрорежущей стали P6M5, ГОСТ 1672-80;

Переход №5. Фрезеровать две лыски, выдерживая размер 90<sub>-0,35</sub> мм и обеспечивая параметр шероховатости Ra=10 мкм. Для выполнения перехода используем концевую фрезу Ø32 с коническим хвостовиком, оснащенную прямыми пластинами из твердого сплава T15K6, ТУ 2-035-591-77.

*4. Проведем расчет режимов резания.*

Расчет режимов резания проведем по наиболее нагруженному фрезерному переходу №5, а также по сверлильному переходу №3, для которого методика расчета режимов резания отличается от соответствующей методики для фрезерного перехода.

Переход №3. На этом переходе выполняется сверление двух отверстий Ø3,8 мм, расположенных на Ø100±0,175 мм, на глубину 10,3 мм.

Глубина резания  $t$  в этом случае составит 1,9 мм.

Согласно [7, с. 381, табл. 35], для сверла диаметром  $D = 3,8$  мм осевая подача  $S$  составит 0,08...0,1 мм/об. Примем  $S = 0,08$  мм/об.

Стойкость сверла  $T$ , согласно [7, с. 384, табл. 40], составит 15 мин.

Скорость резания, согласно [7], определяется по формуле:

$$V = \frac{C_V D^q}{T^m S^y} K_V, \text{ м/мин},$$

где  $C_V$  – коэффициент,  $C_V = 7,0$  [7, с. 383, табл. 38];

$q, m, y$  – показатели степени, согласно [7, с. 383, табл. 38],  $q = 0,4$ ,  $m = 0,2$ ,  $y = 0,7$ ;

$K_V$  – поправочный коэффициент,  $K_V = K_{MV} K_{IV} K_{IV}$ ;

$K_{MV}$  – коэффициент на обрабатываемый материал, согласно [7, с. 358, табл. 1],  $K_{MV} = K_{\Gamma}(750/\sigma_B)^{nv}$ ;

$K_{IV}$  – коэффициент на инструментальный материал,  $K_{IV} = 1,0$  [7, с. 361, табл. 6];

$K_{IV}$  – коэффициент, учитывающий глубину сверления,  $K_{IV} = 1,0$  [7, с. 385, табл. 41];

$K_{\Gamma}$  – коэффициент, характеризующий группу стали по обрабатываемости,  $K_{\Gamma} = 1,0$  [7, с. 359, табл. 2];

$\sigma_B$  – предел прочности, МПа, для стали 40Х  $\sigma_B = 570$  МПа;

$n_v$  – показатель степени,  $n_v = 0,9$  [7, с. 359, табл. 2].

$$K_{MV} = K_{\Gamma}(750/\sigma_B)^{nv} = 1,0 (750/570)^{0,9} = 1,28.$$

$$K_V = K_{MV} K_{IV} K_{IV} = 1,28 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,28.$$

$$V = \frac{C_V D^q}{T^m S^y} K_V = \frac{7,0 \cdot 3,8^{0,4}}{15^{0,2} \cdot 0,08^{0,7}} 1,28 \approx 52 \text{ м/мин.}$$

Расчетная частота вращения сверла составит:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 52}{\pi \cdot 3,8} \approx 4356 \text{ об/мин.}$$

В соответствии с данными паспорта станка 6Р13РФ3 примем фактическую частоту вращения сверла  $n_{\phi} = 2000 \text{ об/мин.}$

Тогда фактическая скорость резания составит:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{\pi \cdot 3,8 \cdot 2000}{1000} \approx 24 \text{ м/мин.}$$

Минутная подача сверла составит

$$S_{\text{мин}} = S \cdot n_{\phi} = 0,08 \cdot 2000 = 160 \text{ мм/мин.}$$

Крутящий момент при сверлении, согласно [7], определяется по формуле:

$$M_{\text{кр}} = 10 C_M D^q S^y K_P = \text{Н}\cdot\text{м},$$

где  $C_M$  – коэффициент,  $C_M = 0,0345$  [7, с. 385, табл. 42];

$q, y$  – показатели степени, согласно [7, с. 385, табл. 42],  $q = 2,0$ ,  $y = 0,8$ ;

$K_P$  – коэффициент, учитывающий фактические условия обработки,

$K_P = K_{MP}$ ;

$K_{MP}$  – поправочный коэффициент для стали, согласно [7, с. 362, табл. 9],

$K_{MP} = (\sigma_B/750)^n$ ;

$n$  – показатель степени,  $n = 0,75$  [7, с. 362, табл. 9].

$$K_P = K_{MP} = (\sigma_B/750)^n = (570/750)^{0,75} = 0,814.$$

$$M_{\text{кр}} = 10 C_M D^q S^y K_P = 10 \cdot 0,0345 \cdot 3,8^2 \cdot 0,08^{0,8} \cdot 0,814 = 0,54 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

Эффективная мощность резания при сверлении, согласно [7], составит:

$$N_e = \frac{M_{кр} n}{9750} = \frac{0,54 \cdot 2000}{9750} \approx 0,11 \text{ кВт} < 7,5 \text{ кВт.}$$

Эффективная мощность резания при сверлении двух отверстий  $\varnothing 3,8$  мм меньше мощности привода главного движения, следовательно, данный переход может быть выполнен при рассчитанных режимах резания.

Переход №5. На этом переходе выполняется фрезерование двух лысок, выдерживая размер  $90_{-0,35}$  мм и обеспечивая параметр шероховатости  $Ra=10$  мкм. Фрезерование каждой лыски проводится за три рабочих хода с удалением припуска 5 мм, 4 мм и 1 мм на первом, втором и третьем рабочем ходе соответственно.

Расчет режимов резания будем проводить на основе максимальной глубины резания  $t$ , которая составляет 5 мм на первом рабочем ходе.

Согласно [7, с. 404, табл. 77], для фрезы диаметром  $D = 32$  мм при глубине резания  $t = 5$  мм подача на зуб  $S_z$  составит  $0,07 \dots 0,12$  мм/об. Примем  $S_z = 0,08$  мм/об. Число зубьев фрезы  $z = 5$ .

Стойкость фрезы  $T$ , согласно [7, с. 411, табл. 82], составит 105 мин. Ширина фрезерования  $B$  составляет 10,3 мм.

Скорость резания, согласно [7], определяется по формуле:

$$V = \frac{C_V D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_V, \text{ м/мин},$$

где  $C_V$  – коэффициент,  $C_V = 234$  [7, с. 407, табл. 81];  
 $q, x, y, u, p, m$  – показатели степени, согласно [7, с. 407, табл. 81],  $q = 0,44$ ,  
 $x = 0,24$ ,  $y = 0,26$ ,  $u = 0,1$ ,  $p = 0,13$ ,  $m = 0,37$ ;  
 $K_V$  – поправочный коэффициент,  $K_V = K_{MV} K_{ПВ} K_{ИВ}$ ;  
 $K_{MV}$  – коэффициент на обрабатываемый материал, согласно [7, с. 358, табл. 1],  $K_{MV} = K_{Г}(750/\sigma_B)^{n_V}$ ;  
 $K_{ПВ}$  – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки,  $K_{ПВ} = 1,0$  [7, с. 361, табл. 5];  
 $K_{ИВ}$  – коэффициент на инструментальный материал,  $K_{ИВ} = 0,65$  [7, с. 361, табл. 6];  
 $K_{Г}$  – коэффициент, характеризующий группу стали по обрабатываемости,  $K_{Г} = 1,0$  [7, с. 359, табл. 2];  
 $\sigma_B$  – предел прочности, МПа, для стали 40Х  $\sigma_B = 570$  МПа;  
 $n_V$  – показатель степени,  $n_V = 1,0$  [7, с. 359, табл. 2].

$$K_{MV} = K_{Г}(750/\sigma_B)^{n_V} = 1,0 (750/570)^{1,0} = 1,316.$$

$$K_V = K_{MV} K_{ИВ} K_{ПВ} = 1,316 \cdot 1,0 \cdot 0,65 = 0,855.$$

$$V = \frac{C_V D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_V = \frac{234 \cdot 34^{0,44}}{105^{0,37} \cdot 5^{0,24} \cdot 0,08^{0,26} \cdot 10,3^{0,1} \cdot 5^{0,13}} 0,855 \approx 138,4 \text{ м/мин}.$$

Расчетная частота вращения фрезы составит:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 138,4}{\pi \cdot 32} \approx 1377 \text{ об/мин.}$$

В соответствии с данными паспорта станка 6Р13РФ3 примем фактическую частоту вращения фрезы  $n_{\phi} = 1250 \text{ об/мин.}$

Тогда фактическая скорость резания составит:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{\pi \cdot 32 \cdot 1250}{1000} \approx 125,7 \text{ м/мин.}$$

Минутная подача фрезы составит

$$S_{\text{мин}} = S_z \cdot z \cdot n_{\phi} = 0,08 \cdot 5 \cdot 1250 = 500 \text{ мм/мин.}$$

Сила резания  $P_z$  при фрезеровании, согласно [7], определяется по формуле:

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} K_{MP}, \text{ Н,}$$

где  $C_p$  – коэффициент,  $C_p = 12,5$  [7, с. 412, табл. 83];

$q, x, y, u, w$  – показатели степени, согласно [7, с. 412, табл. 83],  $x = 0,85$ ,  $y = 0,75$ ,  $u = 1$ ,  $q = 0,73$ ,  $w = -0,13$ ;

$K_{MP}$  – поправочный коэффициент для стали, согласно [7, с. 362, табл. 9],  $K_{MP} = (\sigma_b/750)^n$ ;

$n$  – показатель степени,  $n = 0,3$  [7, с. 362, табл. 9].

$$K_{MP} = (\sigma_b/750)^n = (570/750)^{0,3} = 0,921.$$

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} K_{MP} = \frac{10 \cdot 12,5 \cdot 5^{0,85} \cdot 0,08^{0,75} \cdot 10,3^1 \cdot 5}{32^{0,73} \cdot 1250^{-0,13}} \cdot 0,921 \approx 705 \text{ Н,}$$

Эффективная мощность резания при фрезеровании, согласно [7], составит:

$$N_e = \frac{P_z V}{1020 \cdot 60} = \frac{705 \cdot 1250}{1020 \cdot 60} \approx 1,45 \text{ кВт} < 7,5 \text{ кВт.}$$

Эффективная мощность резания при фрезеровании двух лысок меньше мощности привода главного движения, следовательно, данный переход может быть выполнен при рассчитанных режимах резания.

По аналогии с переходом №3 рассчитаем режимы резания для переходов №2 и №4. Результаты расчета режимов резания для переходов №2...5 сведем в таблицу 10.

Таблица 10 – Режимы обработки по переходам операции

№ перехода	$t$ , мм	$S$ , мм/об	$V$ , м/мин	$n$ , об/мин	$S_{\text{мин}}$ , мм/мин	$N_e$ , кВт
2	1,0	0,08	12,6	2000	160	0,031
3	1,9	0,08	24	2000	160	0,11
4	0,1	0,8	12,6	1000	800	0,05
5	5	0,4	125,7	1250	500	1,45

5. Разрабатываем схему наладки, схемы движения инструментов и расчетно-технологические карты для каждого механического перехода.

Схема наладки операции представлена на рисунке 13. Схемы движения инструментов представлены на рисунках 14...17. На их основе для каждого механического перехода разработаны расчетно-технологические карты, которые представлены в таблицах 11...14.

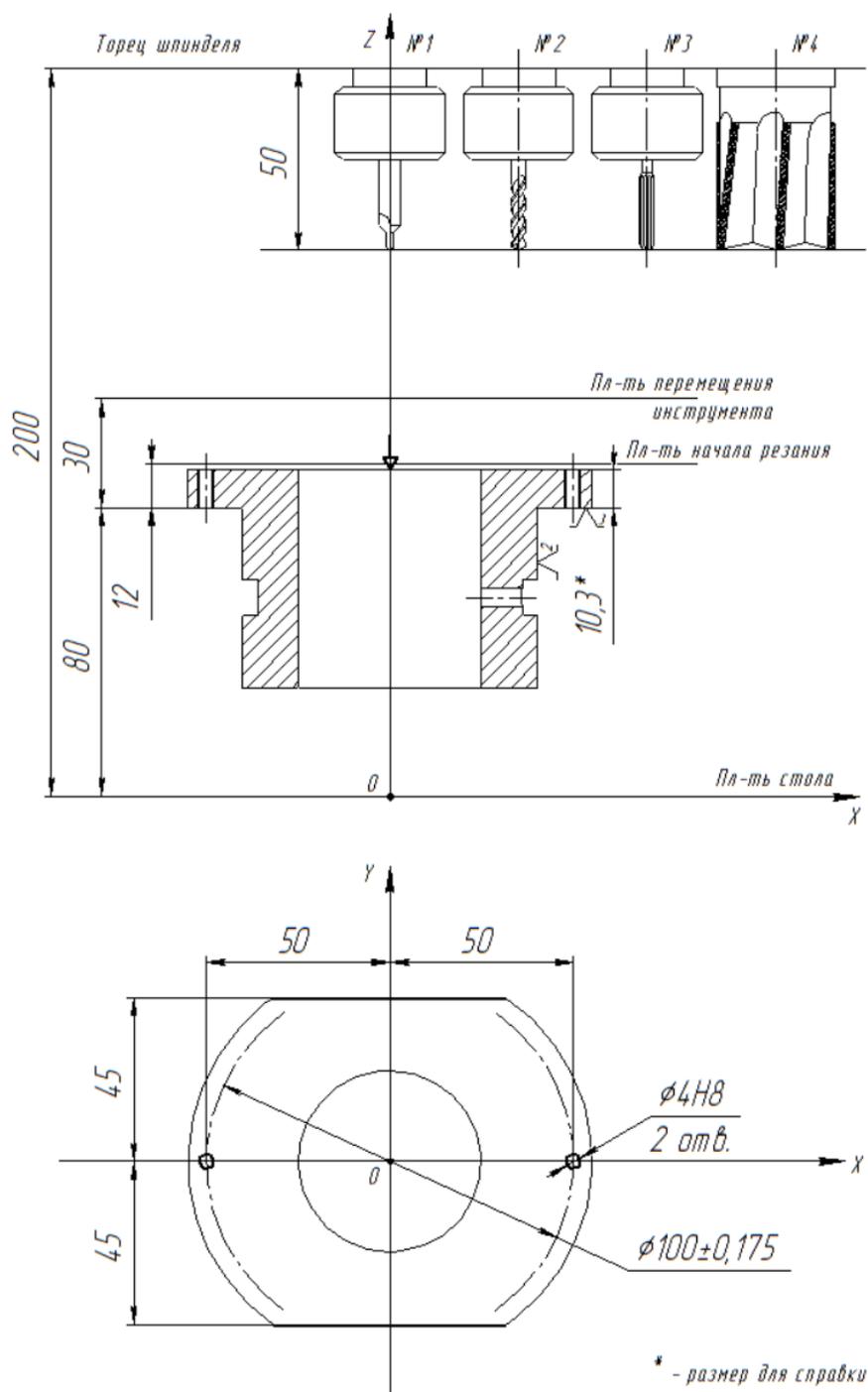


Рисунок 13 – Схема наладки операции 025

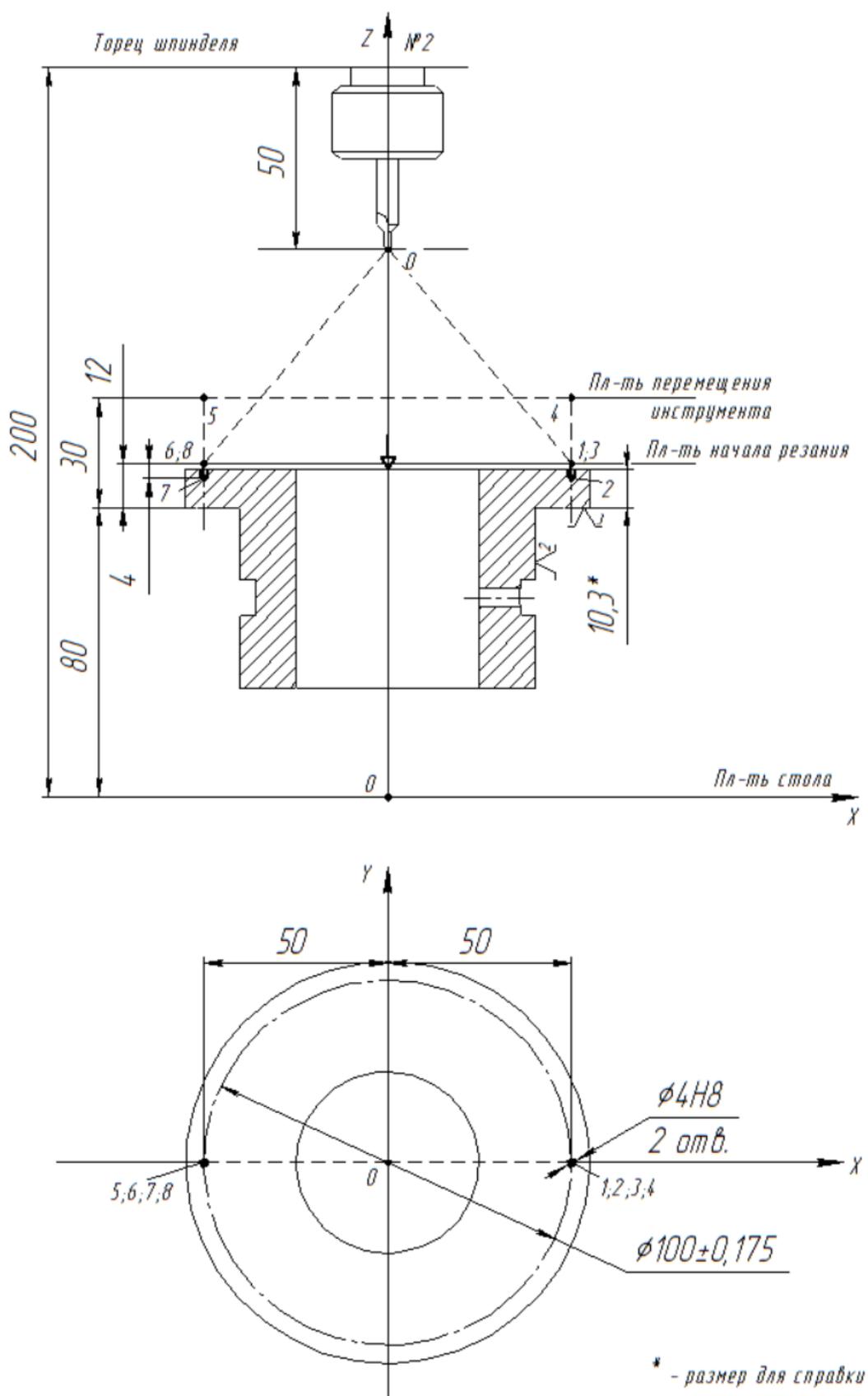


Рисунок 14 – Схема движения инструмента №1 на операции 025

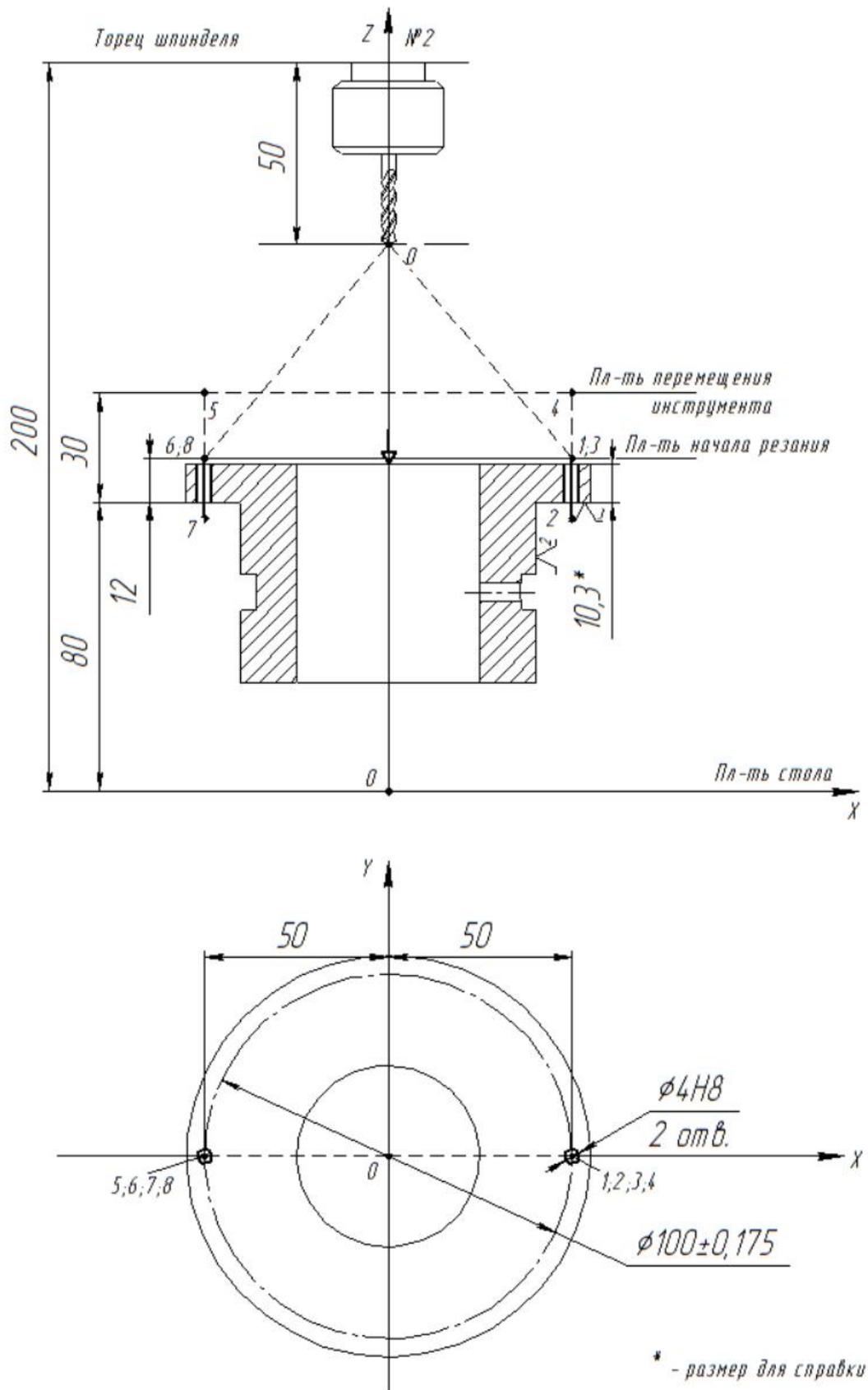


Рисунок 15 – Схема движения инструмента №2 на операции 025

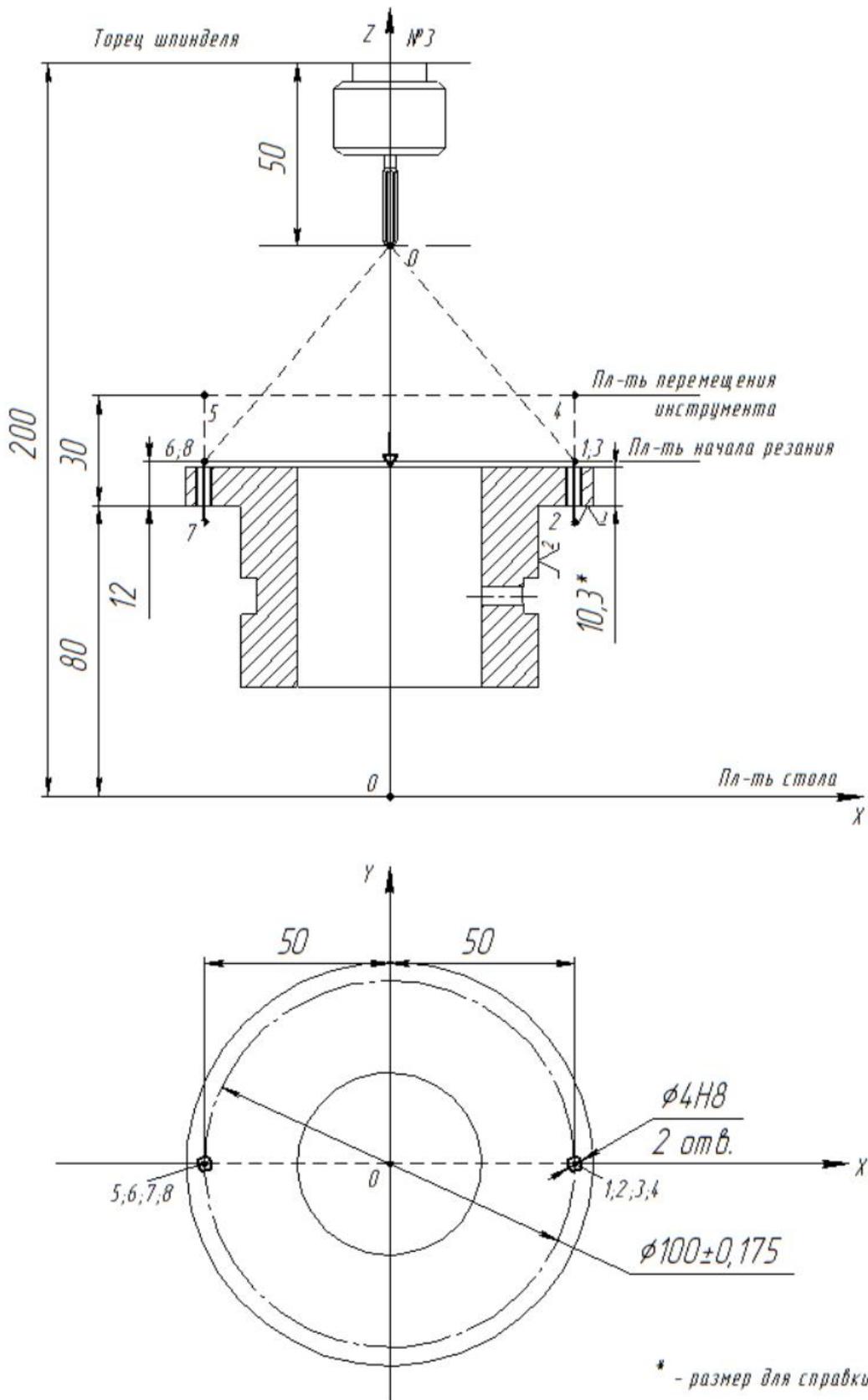


Рисунок 16 – Схема движения инструмента №3 на операции 025

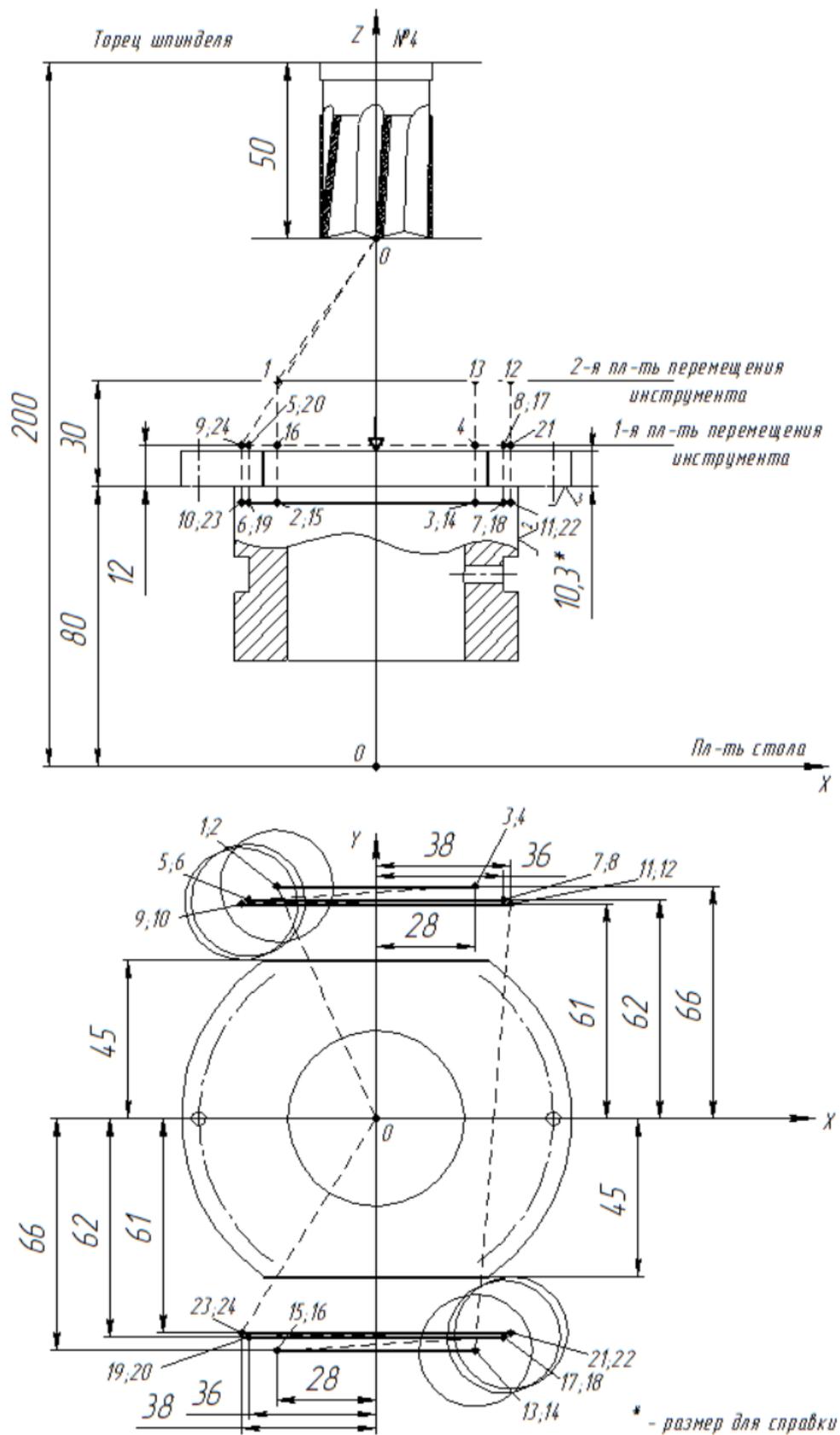


Рисунок 17 – Схема движения инструмента №4 на операции 025

Таблица 11 – РТК перехода №2 (центровочное сверло Ø2 мм)

№ точки	X, мм	Δ X, мм	Y, мм	Δ Y, мм	Z, мм	Δ Z, мм	Примечание
0	0	–	0	–	150	–	Корректор №1
1	50	50	0	0	92	-58	XX, вед. коорд. Z, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
2	50	0	0	0	88	-4	PX, S=160 <sup>мм/мин</sup>
3	50	0	0	0	92	4	PX, S=160 <sup>мм/мин</sup>
4	50	0	0	0	110	18	XX, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
5	-50	-100	0	0	110	0	XX, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
6	-50	0	0	0	92	-18	XX, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
7	-50	0	0	0	88	-4	PX, S=160 <sup>мм/мин</sup>
8	-50	0	0	0	92	4	PX, S=160 <sup>мм/мин</sup>
0	0	50	0	0	150	58	XX, вед. коорд. Z, S=2400 <sup>мм/мин</sup>

$$t_{xxi} = \frac{\sum L_{xx}}{s_{xx}} = \frac{252}{2400} \approx 0,11 \text{ мин.}$$

$$t_{oi} = \frac{\sum L_{px}}{s_{px}} = \frac{16}{160} = 0,1 \text{ мин.}$$

$$t_{cni} = 0,1 \text{ мин.}$$

Таблица 12 – РТК перехода №3 (спиральное сверло Ø3,8 мм)

№ точки	X, мм	Δ X, мм	Y, мм	Δ Y, мм	Z, мм	Δ Z, мм	Примечание
0	0	–	0	–	150	–	Корректор №2
1	50	50	0	0	92	-58	XX, вед. коорд. Z, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
2	50	0	0	0	75	-17	PX, S=160 <sup>мм/мин</sup>
3	50	0	0	0	92	17	XX, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
4	50	0	0	0	110	18	XX, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
5	-50	-100	0	0	110	0	XX, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
6	-50	0	0	0	92	-18	XX, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
7	-50	0	0	0	75	-17	PX, S=160 <sup>мм/мин</sup>
8	-50	0	0	0	92	17	XX, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
0	0	50	0	0	150	58	XX, вед. коорд. Z, S=2400 <sup>мм/мин</sup>

$$t_{xxi} = \frac{\sum L_{xx}}{s_{xx}} = \frac{286}{2400} \approx 0,12 \text{ мин.}$$

$$t_{oi} = \frac{\sum L_{px}}{s_{px}} = \frac{34}{160} \approx 0,22 \text{ мин.}$$

$$t_{cni} = 0,1 \text{ мин.}$$

Таблица 13 – РТК перехода №4 (развертка Ø4Н8 мм)

№ точки	X, мм	Δ X, мм	Y, мм	Δ Y, мм	Z, мм	Δ Z, мм	Примечание
0	0	–	0	–	150	–	Корректор №3
1	50	50	0	0	92	-58	XX, вед. коорд. Z, S=2400 мм/мин
2	50	0	0	0	75	-17	PX, S=800 мм/мин
3	50	0	0	0	92	17	PX, S=800 мм/мин
4	50	0	0	0	110	18	XX, S=2400 мм/мин
5	-50	-100	0	0	110	0	XX, S=2400 мм/мин
6	-50	0	0	0	92	-18	XX, S=2400 мм/мин
7	-50	0	0	0	75	-17	PX, S=800 мм/мин
8	-50	0	0	0	92	17	PX, S=800 мм/мин
0	0	50	0	0	150	58	XX, вед. коорд. Z, S=2400 мм/мин

$$t_{xxi} = \frac{\sum L_{xx}}{s_{xx}} = \frac{252}{2400} \approx 0,11 \text{ мин.}$$

$$t_{oi} = \frac{\sum L_{px}}{s_{px}} = \frac{68}{800} \approx 0,09 \text{ мин.}$$

$$t_{cni} = 0,1 \text{ мин.}$$

Таблица 14 – РТК перехода №5 (концевая фреза Ø32 мм)

№ точки	X, мм	Δ X, мм	Y, мм	Δ Y, мм	Z, мм	Δ Z, мм	Примечание
0	0	–	0	–	150	–	Корректор №4
1	-28	-28	66	66	110	-40	XX, вед. коорд. Y, S=2400 мм/мин
2	-28	0	66	0	75	-35	XX, S=2400 мм/мин
3	28	56	66	0	75	0	PX, S=500 мм/мин
4	28	0	66	0	92	17	XX, S=2400 мм/мин

№ точки	X, мм	Δ X, мм	Y, мм	Δ Y, мм	Z, мм	Δ Z, мм	Примечание
5	-36	-64	62	-4	92	0	XX, вед. коорд. X, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
6	-36	0	62	0	75	-17	XX, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
7	36	72	62	0	75	0	PX, S=500 <sup>мм/мин</sup>
8	36	0	62	0	92	17	XX, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
9	-38	-74	61	-1	92	0	XX, вед. коорд. X, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
10	-38	0	61	0	75	-17	XX, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
11	38	76	61	0	75	0	PX, S=500 <sup>мм/мин</sup>
12	38	0	61	0	110	35	XX, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
13	28	-10	-66	-127	110	0	XX, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
14	28	0	-66	0	75	-35	XX, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
15	-28	-56	-66	0	75	0	PX, S=500 <sup>мм/мин</sup>
16	-28	0	-66	0	92	17	XX, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
17	36	64	-62	4	92	0	XX, вед. коорд. X, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
18	36	0	-62	0	75	-17	XX, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
19	-36	-72	-62	0	75	0	PX, S=500 <sup>мм/мин</sup>
20	-36	0	-62	0	92	17	XX, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
21	38	74	-61	1	92	0	XX, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
22	38	0	-61	0	75	-17	XX, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
23	-38	-76	-61	0	75	0	PX, S=500 <sup>мм/мин</sup>
24	-38	0	-61	0	92	17	XX, S=2400 <sup>мм/мин</sup>
0	0	38	0	61	150	58	XX, вед. коорд. Y, S=2400 <sup>мм/мин</sup>

$$t_{xxi} = \frac{\sum L_{xx}}{s_{xx}} = \frac{788}{2400} \approx 0,33 \text{ мин.}$$

$$t_{oi} = \frac{\sum L_{px}}{s_{px}} = \frac{408}{500} \approx 0,82 \text{ мин.}$$

$$t_{cni} = 0,1 \text{ мин.}$$

Расчет штучного времени  $T_{шт}$  проводим по формуле:

$$T_{шт} = T_o + T_B + T_{обс} + T_{отд}, \text{ мин.}$$

где  $T_o$  – основное время операции,  $T_o = \sum t_{oi} = 1,23$  мин;

$T_B$  – вспомогательное время операции,  $T_B = t_y + \sum t_{xxi} + \sum t_{cni} = 1,37$  мин;

$t_y$  – время на установку и снятие заготовки,  $t_y = 0,3$  мин;

$\Sigma t_{\text{xxi}}$  – суммарное время холостых ходов на операции,  $\Sigma t_{\text{xxi}} = 0,67$  мин;

$\Sigma t_{\text{cni}}$  – суммарное время смены инструмента,  $\Sigma t_{\text{cni}} = 0,4$  мин;

$T_{\text{обс}}$  – время на обслуживание рабочего места и оборудования, 12% от  $(T_0 + T_B)$ ,  $T_{\text{обс}} = 0,12 \cdot (1,23 + 1,37) \approx 0,31$  мин;

$T_{\text{отд}}$  – время на физические надобности и отдых, 10% от  $(T_0 + T_B)$ ,

$T_{\text{отд}} = 0,1 \cdot (1,23 + 1,37) = 0,26$  мин.

$T_{\text{шт}} = T_0 + T_B + T_{\text{обс}} + T_{\text{отд}} = 1,23 + 1,37 + 0,31 + 0,26 = 3,17$  мин,

Определим штучно-калькуляционное время  $T_{\text{ш-к}}$  по формуле:

$$T_{\text{ш-к}} = T_{\text{шт}} + T_{\text{п-з}}/n, \text{ мин,}$$

где  $T_{\text{п-з}}$  – подготовительно-заключительное время на партию обрабатываемых заготовок,  $T_{\text{п-з}} = T_{\text{п-з}1} + T_{\text{п-з}2} + T_{\text{п-з}3}$  мин;

$T_{\text{п-з}1}$  – затраты времени на организационную подготовку,  $T_{\text{п-з}1} = 12$  мин;

$T_{\text{п-з}2}$  – затраты времени, учитывающие дополнительные работы,

$T_{\text{п-з}2} = 21$  мин (установка приспособления вручную 17 мин; перемещение стола в вертикальном направлении в процессе наладки 2 мин; установка 4-х инструментов в револьверной головке станка  $0,5 \cdot 4 = 2$  мин);

$T_{\text{п-з}3}$  – затраты времени на наладку инструмента,  $T_{\text{п-з}3} = 4$  мин (установка 4-х инструментов на длину –  $4 \cdot 1,0$  мин);

$n$  – количество заготовок в обрабатываемой партии, шт.

$$T_{\text{п-з}} = T_{\text{п-з}1} + T_{\text{п-з}2} + T_{\text{п-з}3} = 12 + 21 + 4 = 37 \text{ мин.}$$

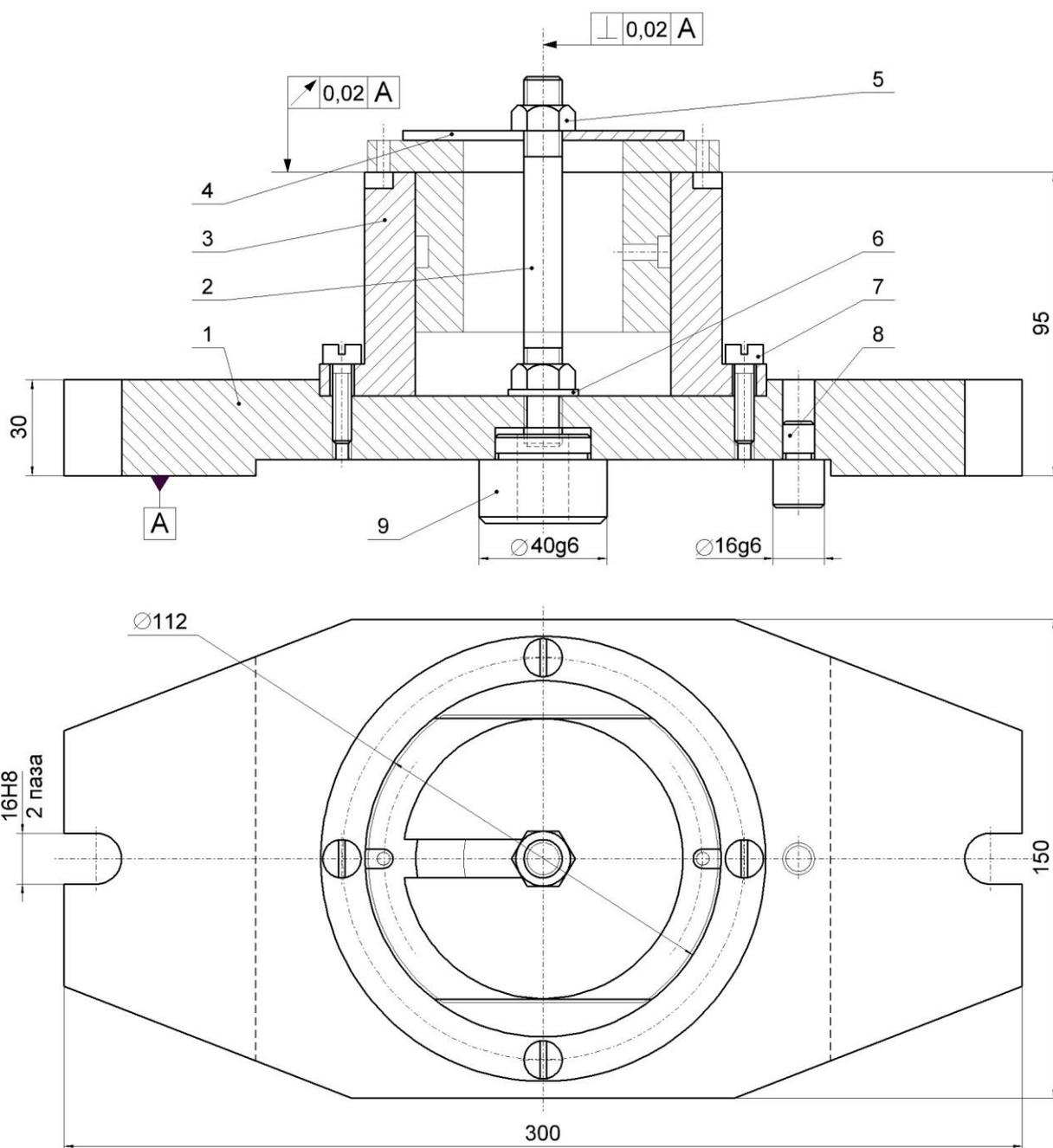
$$T_{\text{ш-к}} = 3,17 + 37/100 = 3,54 \text{ мин.}$$

Таким образом, полностью спроектирована механообрабатывающая операция, выполняемая на станке с ЧПУ модели 6P13PФ3. По результатам проектирования окончательно оформляем операционную карту, которая представлена на рисунке 34.

## 2.4 Конструкция станочного приспособления и описание его работы

Конструкция станочного приспособления представлена на рисунке 18. Приспособление состоит из плиты 1, на которой расположен стакан 3. Плита ориентируется на столе станка с ЧПУ по базовой плоскости основания и пальцам 8, 9 и закрепляется двумя Т-образными болтами М16, входящими в проушины плиты 1 приспособления. Палец 8 предотвращает приспособление от проворота на столе станка. Стакан 3 фиксируется на плите 1 четырьмя винтами 7. Шпилька 2 вворачивается в центральный палец 9 и фиксируется гайкой 5 через шайбу 6.

Заготовка устанавливается на стакан 3. Под гайку 5, на шпильку 2, устанавливается быстросъемная шайба 4. Гайка 5 доворачивается до закрепления заготовки в приспособлении. Снятие заготовки с приспособления осуществляется в обратном порядке.



- 1 – плита; 2 – шпилька М12; 3 – стакан; 4 – быстросъемная шайба;  
 5 – гайка М12 (2 шт.); 6 – шайба; 7 – винт М6 (4 шт.); 8 – палец;  
 9 – палец центральный

Рисунок 18 – Станочное приспособление для выполнения операции 025

Ручной зажим заготовки в приспособлении принят потому, что усилие на конце гаечного ключа не будет превышать 147 Н.

### 3 ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В САПР ТП «ВЕРТИКАЛЬ»

ВЕРТИКАЛЬ – система автоматизированного проектирования (САПР) технологических процессов (ТП), решающая задачи автоматизации процессов технологической подготовки производства.

САПР ВЕРТИКАЛЬ – это программа, работающая под управлением операционной системы Windows. По этой причине ее окно имеет те же элементы управления (см. рисунок 19), что и другие приложения для Windows.

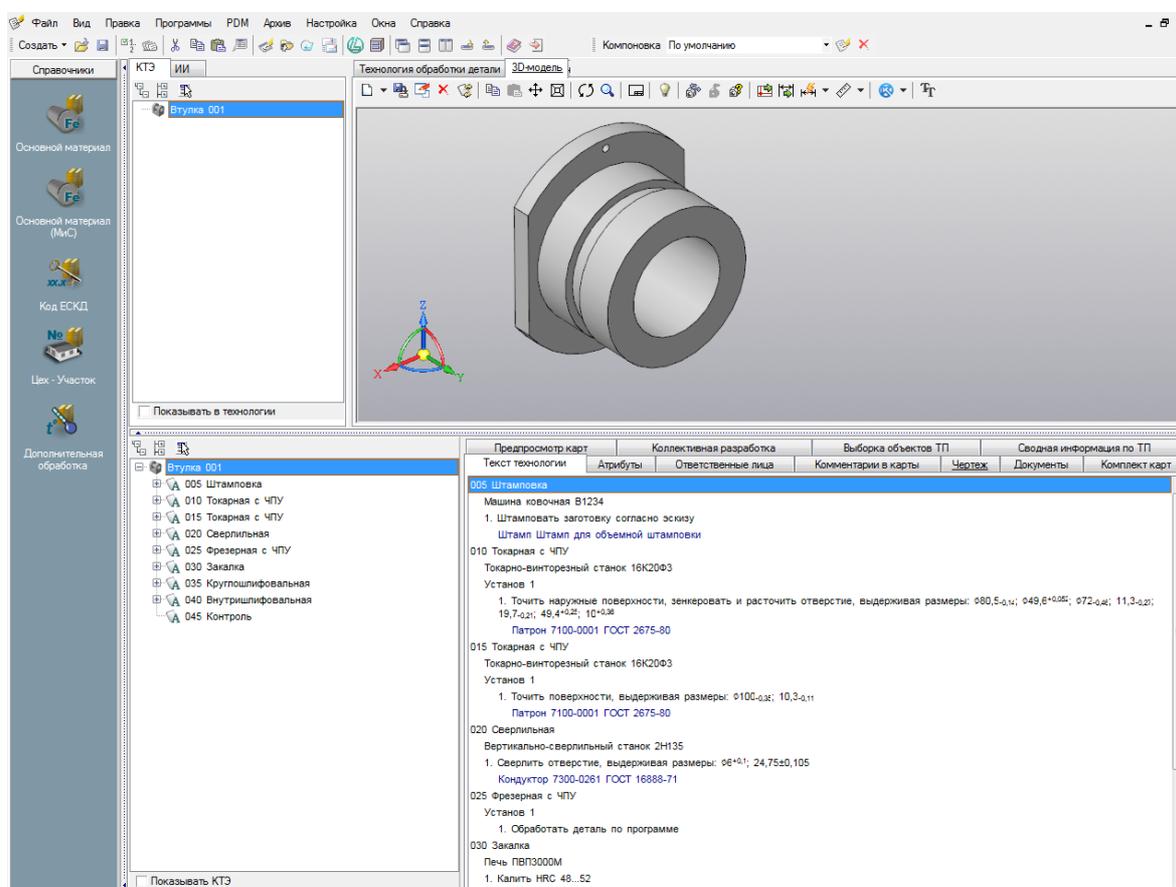


Рисунок 19 – Интерфейс рабочего окна системы «Вертикаль»

Каждая кнопка инструментальной панели имеет текстовую подсказку (hint), которая появляется при наведении на кнопку указателя мыши. В состав компонентов дерева конструктивно-технологических элементов (КТЭ) входит само дерево КТЭ и вкладки дерева КТЭ. В состав компонентов дерева ТП входит само дерево ТП и вкладки дерева ТП.

Количество и вид вкладок, относящихся к тому или иному дереву (КТЭ, ТП и др.) меняется в зависимости от элемента, выбранного пользователем в дереве. Все окна имеют подвижные рамки (так называемые «сплиттеры»). Это позволяет настроить размер окна любого из компонентов.

На панели вызова справочников и программ размещены кнопки вызова различных справочников (Универсальный технологический справочник, справочник «Материалы и сортаменты» и др.) и кнопки запуска программ (приложений).

Умение пользоваться справочниками является неотъемлемой частью работы технолога. Навыки взаимодействия технолога с электронными справочными базами данных во многом определяют скорость и эффективность проектирования технологических процессов в среде САПР.

Для пользователей ВЕРТИКАЛЬ актуальна работа с двумя основными «поставщиками» справочной информации:

- Универсальный технологический справочник (УТС).
- Корпоративный справочник «Материалы и Сортаменты» (МиС).

Универсальный технологический справочник (см. рисунок 20) автоматически открывается и загружает соответствующую базу данных при создании или редактировании любого объекта дерева ТП. Данные, выбранные технологом из базы данных справочника, копируются в технологический процесс ВЕРТИКАЛЬ. УТС позволяет сократить рутинную работу по написанию текстов технологий, обеспечивает стилистическое и смысловое единство технологической документации, создает возможность автоматизированного поиска необходимой информации в ТП.

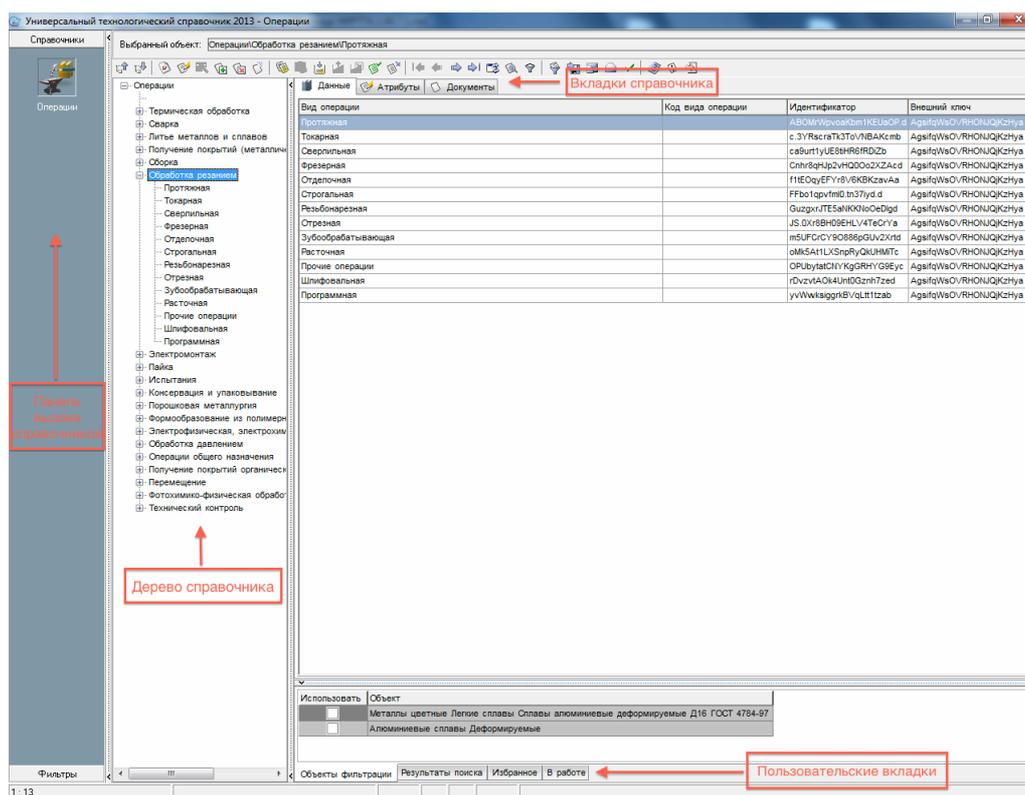


Рисунок 20 – Универсальный технологический справочник

Из справочников выбираются все необходимые данные по операциям, переходам, оборудованию и оснастке. Наполнением справочников занимается оператор баз данных.

Корпоративный справочник «Материалы и Сортаменты» содержит сведения обо всех применяемых в промышленности материалах. Для каждой марки материала в справочнике указаны химический состав, физико-механические свойства, сортамент и существующие типоразмеры сортамента, области применения данного материала, виды обработки и основные предприятия-поставщики. Использование «МиС» при проектировании изделия и технологического процесса на него позволяет обеспечить единство применяемых материалов и стандартов.

В САПР ТП Вертикаль пользователь может создавать техпроцессы трех видов (см. рисунок 21):

- Технологический процесс изготовления детали.
- Технологический процесс изготовления сборочной единицы.
- Типовой/групповой технологический процесс.

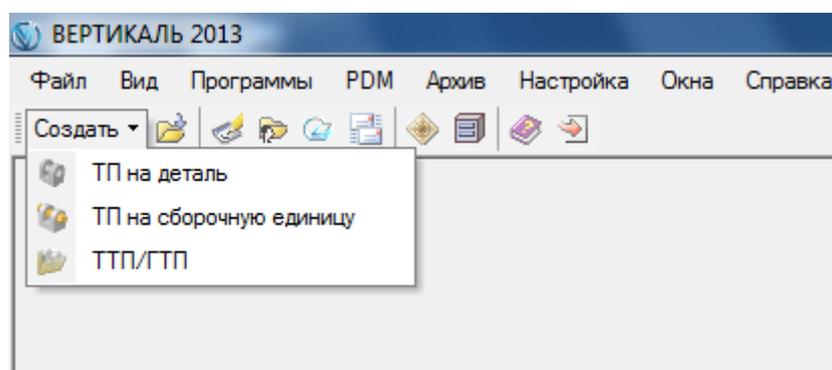


Рисунок 21 – Создание ТП

Создание техпроцесса возможно тремя методами:

- Наполнением дерева ТП операциями и переходами.
- Наполнением дерева КТЭ с получением планов обработки.
- Редактированием существующего процесса-аналога либо типового (группового) техпроцесса.

Отображение информации о ТП в виде дерева операций соответствует порядку изменения состояний заготовки во времени. Такой вид близок к стандартной бумажной форме записи технологического процесса. Основным недостатком такого ТП является отсутствие механизмов, которые бы позволили корректировать операции и переходы по обработке отдельных поверхностей (конструкторских элементов) детали без внесения изменений в ТП в целом.

Для решения этого вопроса САПР ВЕРТИКАЛЬ содержит компонент «Дерево КТЭ», позволяющий собирать переходы обработки отдельной поверхности (конструкторско-технологического элемента) вместе и работать с

ними как с самостоятельным фрагментом технологического процесса. Элементам дерева КТЭ можно сопоставить определенные планы обработки, зависящие от требуемой точности и качества поверхности детали. Получаемые в автоматическом режиме подобные планы позволяют существенно ускорить процесс проектирования ТП. Настройка связей между деревом КТЭ, деревом ТП и 3D-моделью (чертежом) позволяет ориентироваться в сложных техпроцессах, оперативно редактировать их содержание и выявлять допущенные ошибки, а также значительно повысить скорость проектирования техпроцессов. На практике проектирование ТП обычно ведется смешанным методом. Часть операций и переходов создается наполнением дерева ТП с использованием справочников, типовых ТП и библиотеки пользователя, а для формирования переходов обработки отдельных конструкторско-технологических элементов (отверстий, шпоночных пазов, лысок и т.д.) используют дерево КТЭ.

Формирование новой технологии изготовления детали начинается с создания нового документа и его сохранения. После этого необходимо нажать на вкладку «Атрибуты» в группе вкладок, находящихся правее дерева технологии, и внести туда соответствующие данные: фамилию разработчика, фамилию проверяющего, название детали, контрольные даты, указать материал детали. Следует отметить, что система Вертикаль имеет связь с САД системой Компас-3D, что позволяет загрузить трехмерную модель изделия (рисунок 22) и в автоматическом режиме получить основные данные с модели (материал, название детали, фамилия разработчика, основные размеры и т.д.)

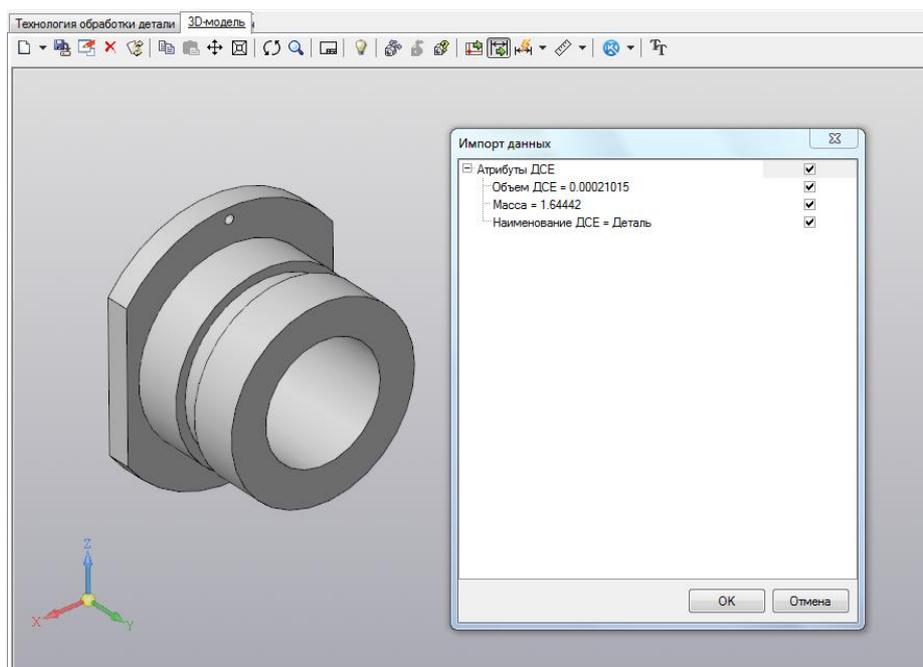


Рисунок 22 – Импорт 3D-модели из Компас-3D

Аналогичная операция доступна для чертежа изделия и операционных эскизов технологического процесса, схем наладок и схем движения инструментов проектируемых операций (рисунки 23 и 24). Использование в тесной связи Компас-3D и САПР ТП Вертикаль позволяет сохранить единство используемых стандартов ЕСКД и ЕСТД принятых в Российской Федерации.

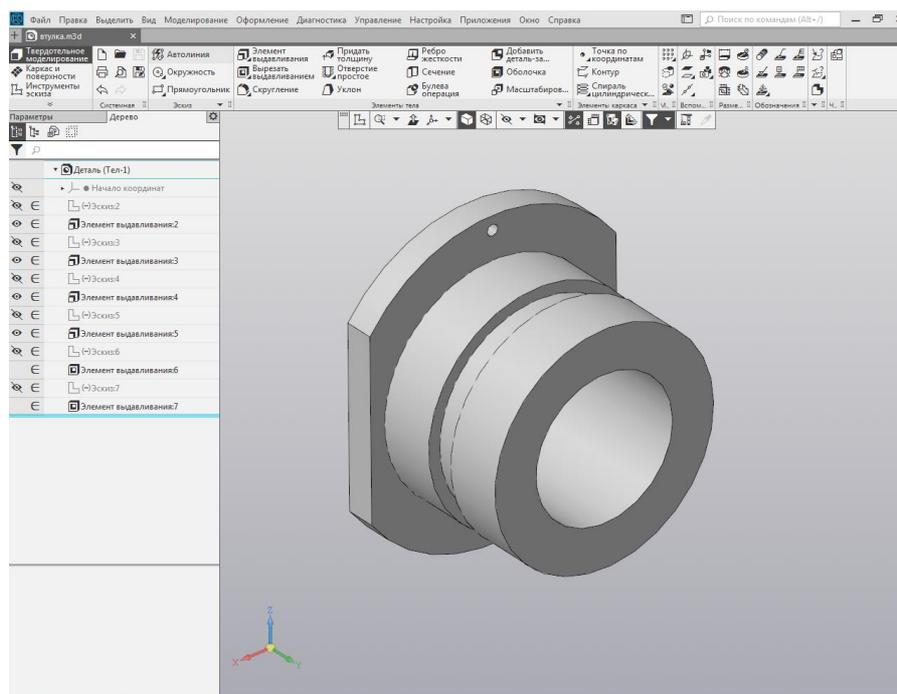


Рисунок 23 – Построение трехмерной модели детали «Втулка» в Компас-3D

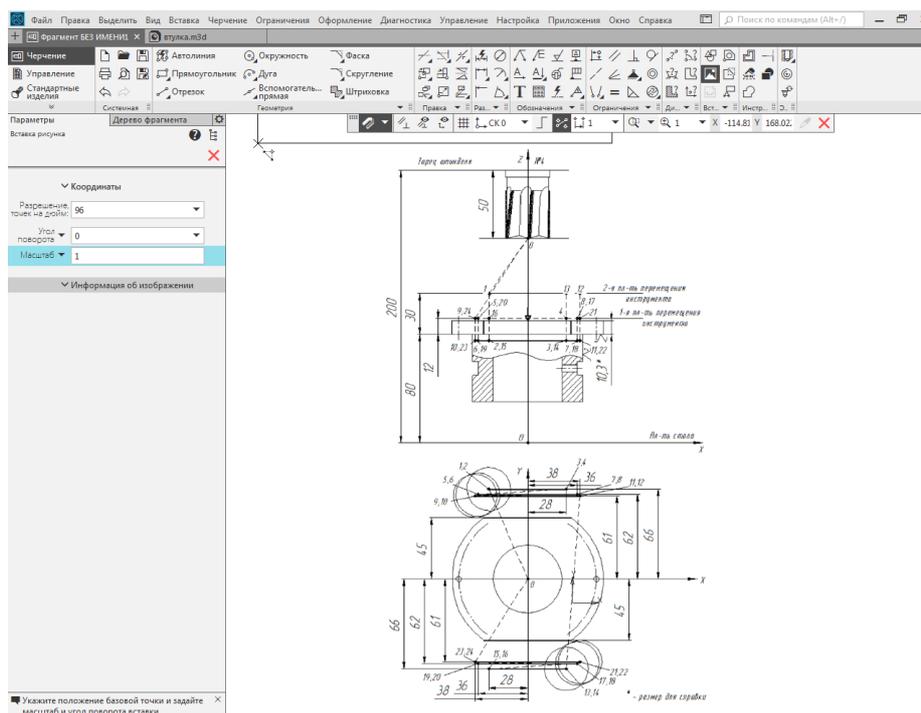


Рисунок 24 – Построение схемы движения фрезы в Компас-3D

Для наполнения элементами дерева ТП необходимо правым нажатием мыши активизировать меню и последовательно добавить: операции, технологическое оборудование, режущий и вспомогательный инструмент, оснастку, измерительный инструмент и т.д. (рисунок 25).

Встроенные базы данных имеют большое количество наименований современного оборудования и технологического оснащения (рисунки 26 и 27) в которые можно добавлять новые элементы, используемые на предприятии.

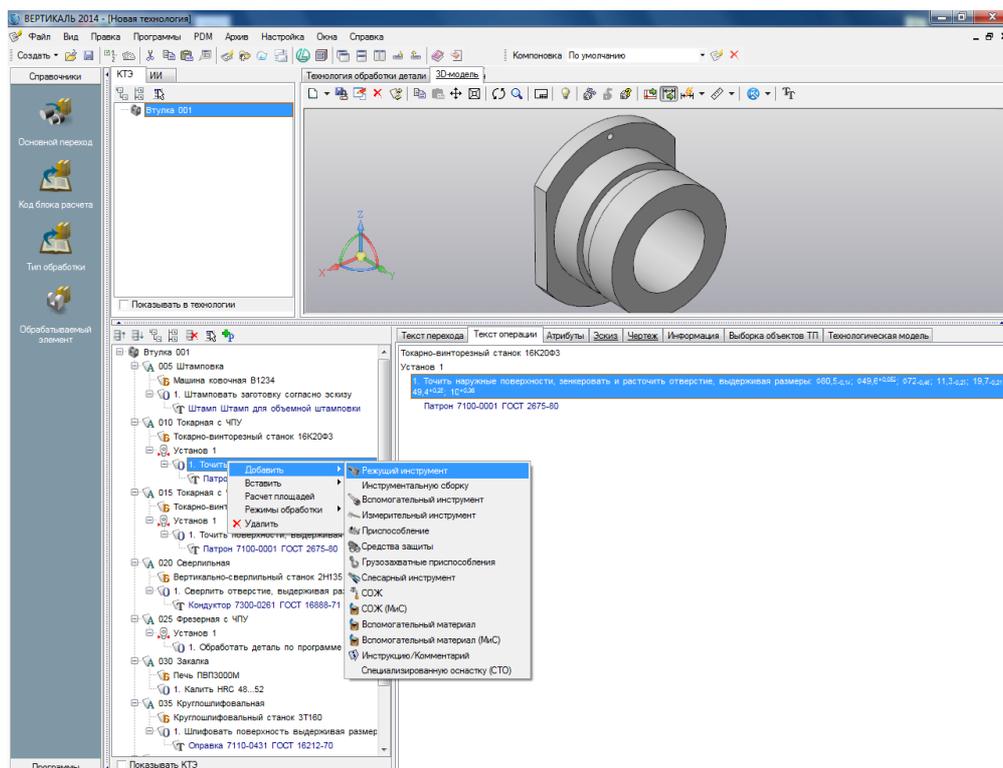


Рисунок 25 – Добавление элементов в дерево ТП

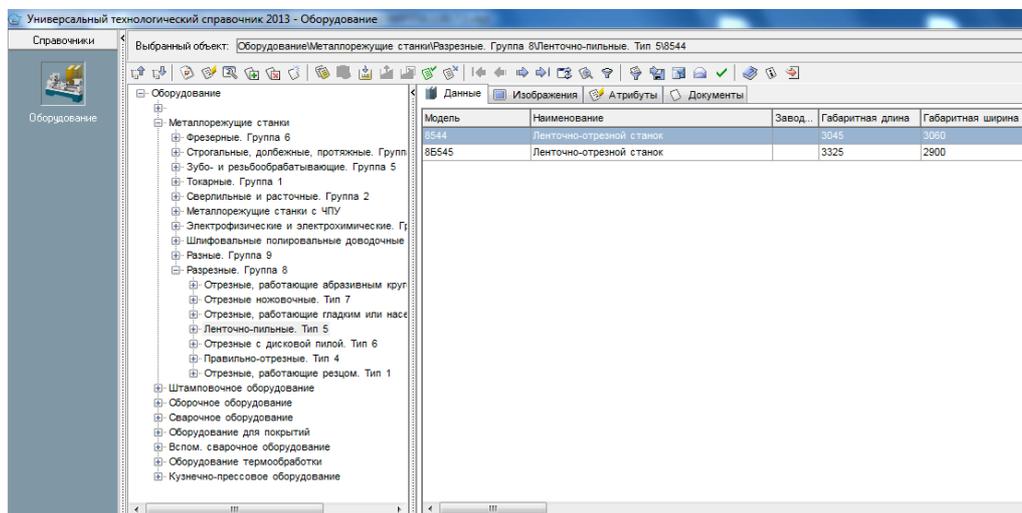


Рисунок 26 – Выбор оборудования из справочника

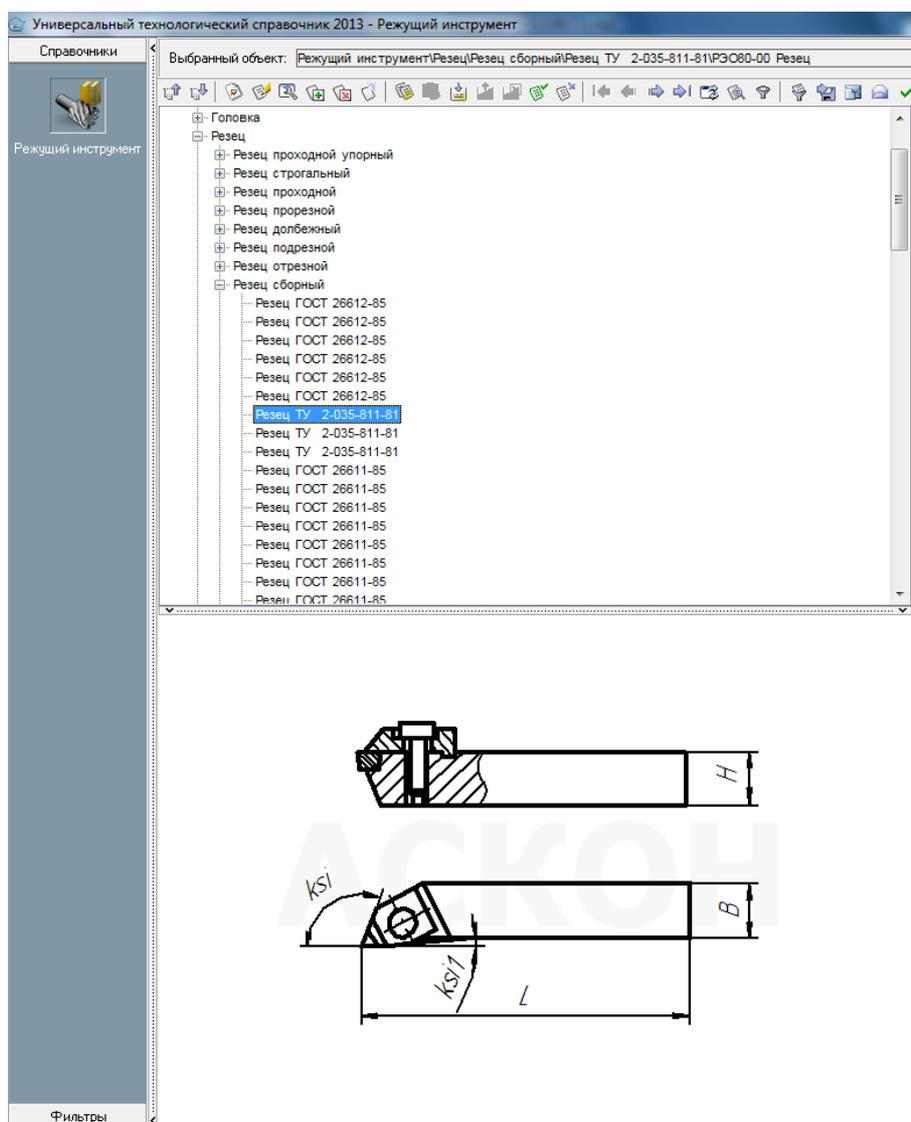


Рисунок 27 – Выбор режущего инструмента из справочника

Встроенный модуль расчетов режимов резания позволяет сократить время разработки ТД и позволяет в автоматическом режиме посчитанные значения внести в нужные графы операционных карт ТП (рисунок 28).

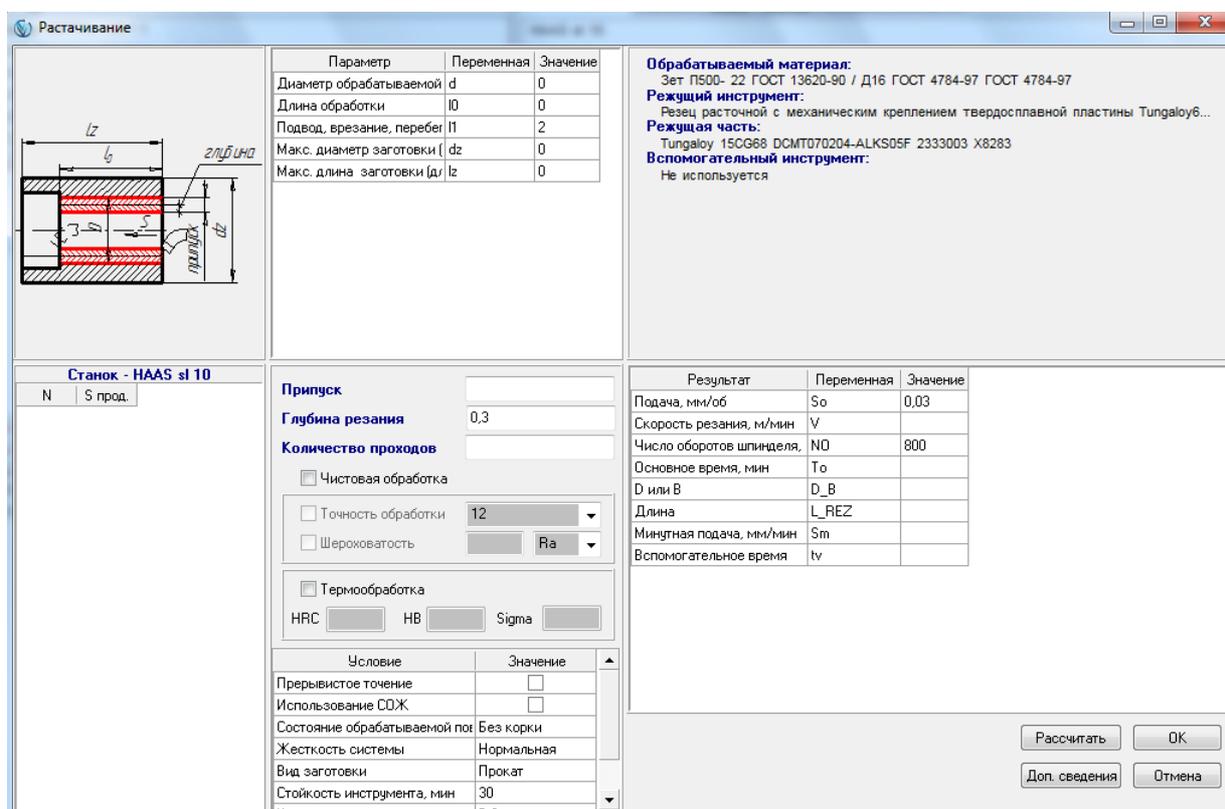


Рисунок 28 – Модуль расчета режимов резания

Следующим шагом при составлении технологии является формирование технологической документации. Для того, чтобы сформировать комплект карт на разработанную технологию, необходимо встать на верхний уровень дерева ТП и выбрать вкладку «Комплект карт» (рисунок 29).

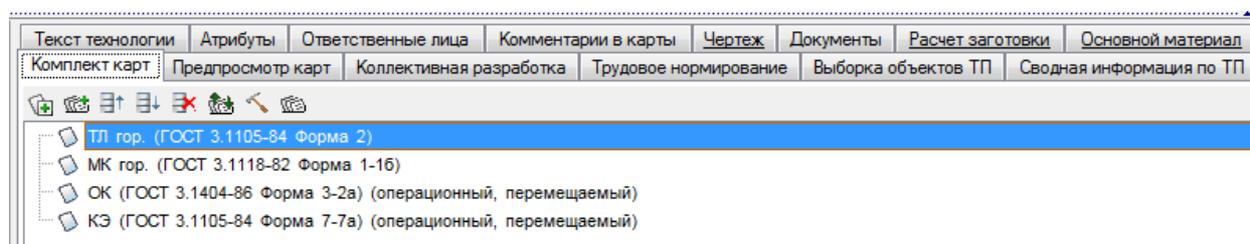


Рисунок 29 – Вкладка «Комплект карт»

Далее полученные карты редактируются и сохраняются аналогично технологическому процессу. Технологический процесс сохраняется в файле с расширением \*.vtp, комплект карт – \*.vgr. Также может быть полезно экспортировать созданный комплект документов, например, в формат \*.pdf для прочтения, распечатки и других операций с технологией на компьютере без установленного ПО «Вертикаль» (рисунок 30).

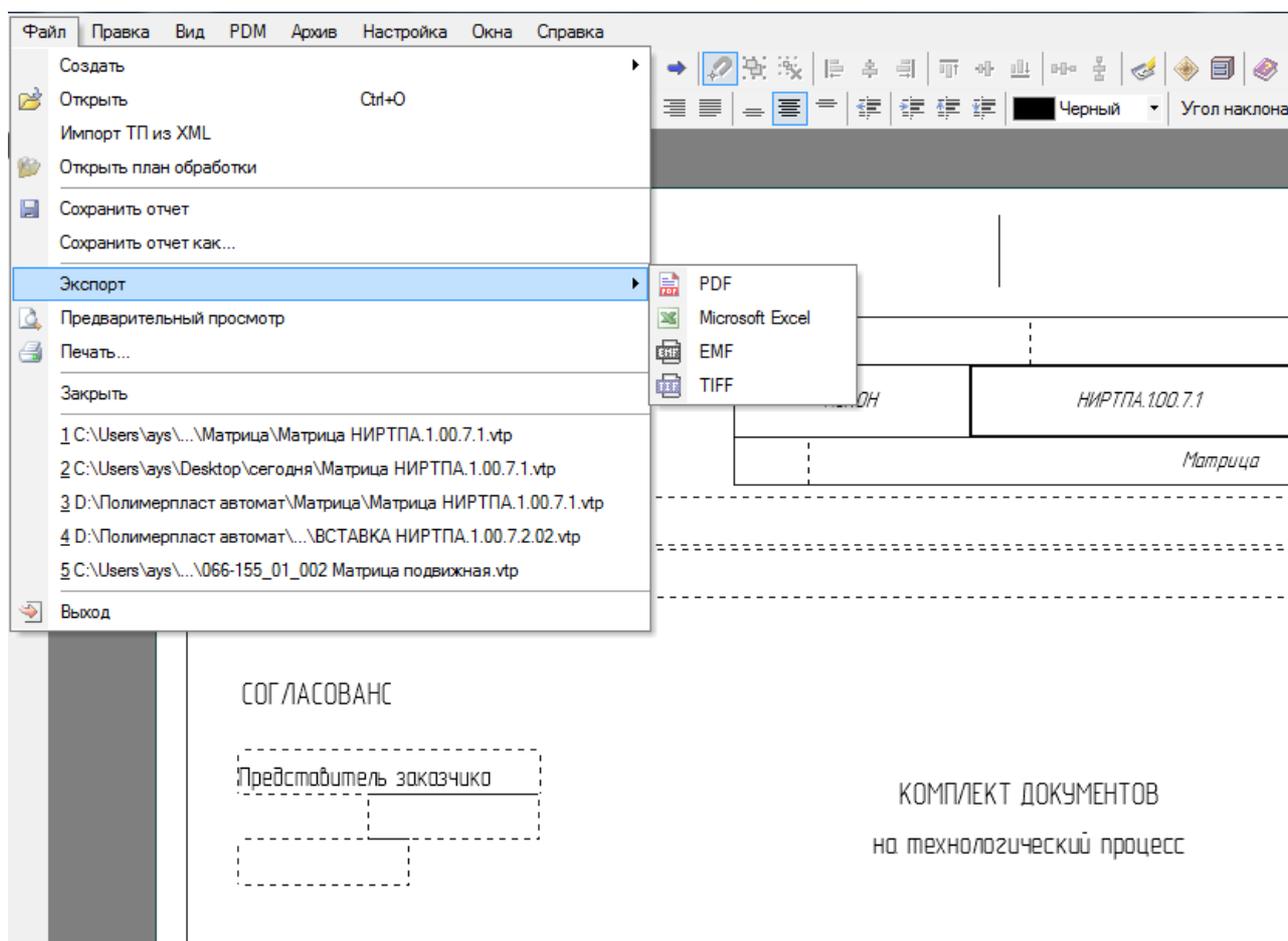


Рисунок 30 – Экспорт ТП в различные форматы данных

На рисунках 31 и 32 представлены оформленные маршрутная карта и карты операционных эскизов спроектированного ТП изготовления детали «Втулка».

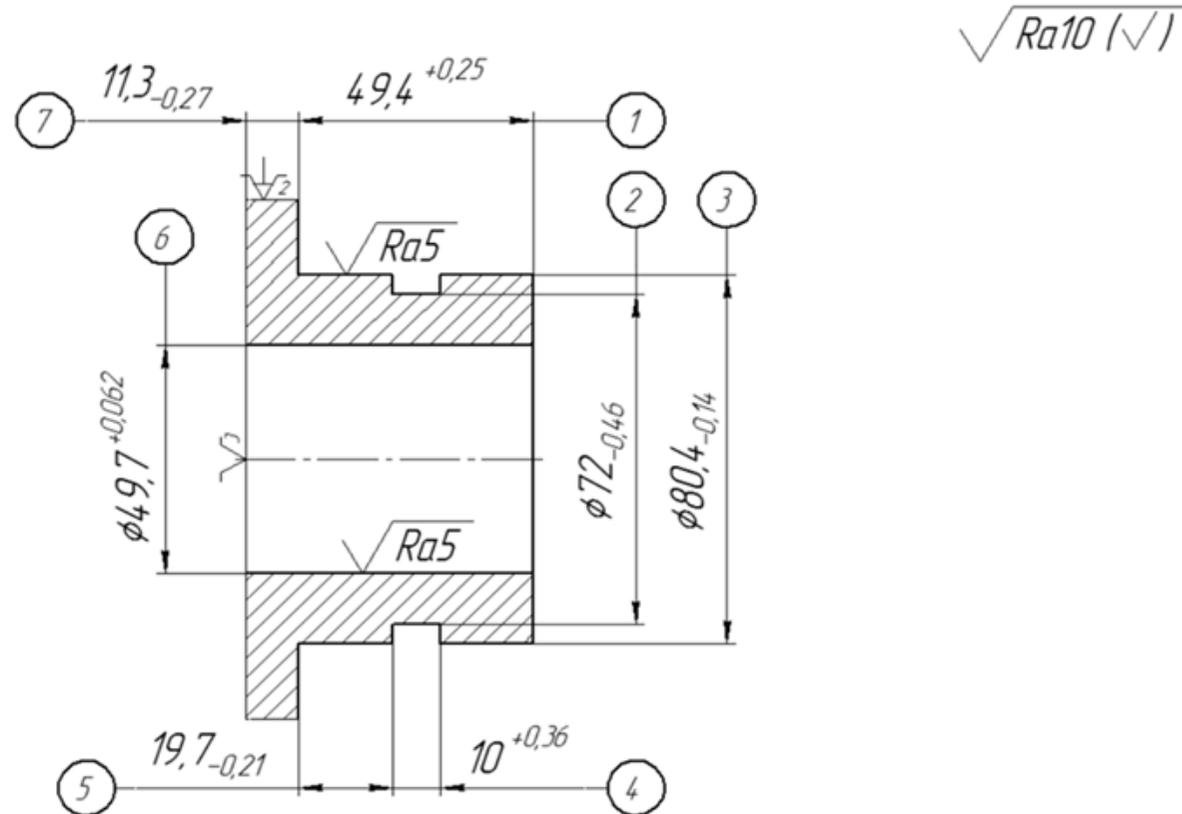
На рисунках 33 и 34 представлены оформленные операционные карты спроектированных операций 015 и 025 ТП изготовления детали «Втулка».







Дубл.										
Взам.										
Подл.										
Разработал										
Проверил										
Нормировал										
Н. контроль										
				<b>НИУ ИТМО</b>	01140.00001	10140.00001	20140.00002			
Втулка (токарная с ЧПУ, станок 16К20Ф3)									010	



КЭ

Карта эскизов

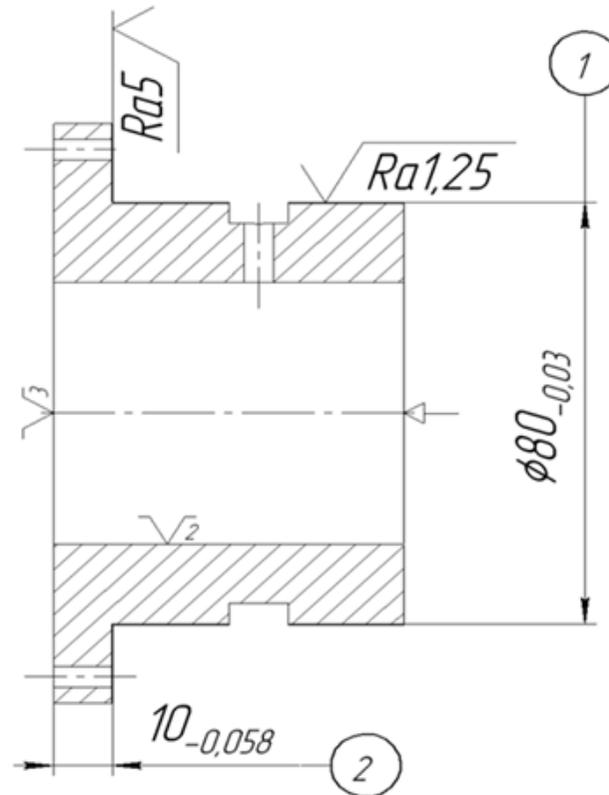
Рисунок 32 – (продолжение)







Дубл.																								
Взам.																								
Подл.																								
Разработал																								
Проверил																								
Нормировал																								
Н. контроль																								
<b>НИУ ИТМО</b>										01140.00001					10140.00001					20140.00006				
Втулка (шлифовальная, станок 3Т160)																				035				



КЭ

Карта эскизов

Рисунок 32 – (продолжение)



Дубл.																			
Взам.																			
Подл.																			
															4	1			
Разраб.																			
Проверил																			
Утвердил																			
Н. контр.																			
															Втулка		015		
Наименование операции			Материал			Твердость		ЕВ	МД	Профиль и размеры				МЗ	КОИД				
Токарная с ЧПУ			40Х					кз							1				
Оборудование, устройство ЧПУ			Обозначение программы			Т <sub>а</sub>	Т <sub>б</sub>	Т <sub>пз</sub>	Т <sub>шт</sub>	СОЖ									
16К20Ф3						0,18	0,82	20	1,22										
Р			PI	Д или В	L	f	i	s	p	v									
001	1. Установить заготовку и снять ее после обработки																		
T02	Патрон 7100-0001 ГОСТ 2675-80																		
003	2. Подрезать окончательно торец и точить предварительно наружную цилиндрическую поверхность, выдерживая размеры: $\phi 10,3_{-0,01}$ ; $\phi 11,4_{-0,01}$ ; Ra10																		
T04	2101-0601 Резец Т15К6 ГОСТ 20872-80																		
								0,8	0,8	500	175								
005	3. Точить окончательно наружную цилиндрическую поверхность, выдерживая размер: $\phi 11,0_{\pm 0,01}$ ; Ra10																		
T06	2101-0601 Резец Т15К6 ГОСТ 20872-80																		
								0,857	0,35	800	280								
07																			
08																			
09																			
10																			
11																			
12																			
13																			
OK	Операционная карта																		6

Рисунок 33 – Операционная карта операции 015 ТП изготовления детали «Втулка»



### Список используемых источников

1. *Маталин, А. А.* Технология машиностроения: учебник для вузов / А. А. Маталин. – 2-е изд. – СПб.: Лань, 2010.
2. *Ковшов, А. Н.* Технология машиностроения: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / А. Н. Ковшов.– СПб.: Лань, 2008.
3. *Иващенко, И. А.* Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации / И. А. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1975.
4. Единая система технологической документации, классификационная группа 1. – М.: Изд-во стандартов, 1974.
5. Методические указания по заполнению технологической документации при выполнении контрольных работ, курсовых и дипломных проектов / Сост. Н.Н. Богородский и др. – Л.: СЗПИ, 1985.
6. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. Т. 1 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Сулова, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 5-е изд., исправл. – М.: Машиностроение-1, 2003.
7. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. Т. 2 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Сулова, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 5-е изд., исправл. – М.: Машиностроение-1, 2003.
8. *Валетов, В. А.* Технология приборостроения. Учеб. пособие / В.А. Валетов, К.П. Помпеев. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 234 с.
9. Основы технологии машиностроения: учеб. пособие / А. Е. Вороненко [и др.]. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2010. – 210 с.
10. Основы технологии машиностроения: УМК / А. Е. Вороненко [и др.]. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2010.
11. *Помпеев, К.П.* Выбор приспособлений при автоматизированном проектировании надежных технологий / К.П. Помпеев, Л.В. Одинцова. // Инструмент и технологии, № 17-18. – СПб.: Изд-во Инструмент и технологии, 2004. – С. 187-192.
12. *Помпеев, К.П.* Управление точностью приспособлений при автоматизированном проектировании технологий механической обработки заготовок деталей типа тел вращения. – Межвуз. сб. «Машиностроение и автоматизация производства». Вып. 16. – СПб.: СЗПИ, 1999. – С. 30-37.
13. *Помпеев, К.П.* Управление точностными параметрами при автоматизированном проектировании ТП изготовления деталей типа тел вращения. – Межвуз. сб. «Машиностроение и автоматизация производства». Вып. 17. – СПб.: СЗПИ, 1999. – С. 26-31.

Андреев Юрий Сергеевич  
Помпеев Кирилл Павлович

**Технологии приборостроения. Методические  
указания к выполнению курсового проекта**

**Учебно-методическое пособие**

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе

**Редакционно-издательский отдел**  
**Университета ИТМО**  
197101, Санкт-Петербург, Кронверский пр., 49