

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения  
(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»  
(наименование)

15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных  
производств»

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Технология машиностроения  
(направленность (профиль) / специализация)

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технологический процесс изготовления конического вала кранового редуктора

Обучающийся	<u>Г.А. Ашугян</u> (Инициалы Фамилия)	_____	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>канд. техн. наук, доцент А.А. Козлов</u> (ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)			
Консультанты	<u>канд. экон. наук, доцент Е.Г. Смышляева</u> (ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)			
	<u>канд. физ.-мат. наук, доцент Д.А. Романов</u> (ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)			
	<u>О.А. Головач</u> (ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)			

Тольятти 2024

## Аннотация

В выпускной квалификационной работе разрабатывается технологический процесс изготовления конического вала кранового редуктора.

Цель работы заключается в проектировании технологии изготовления конического вала на основе типовой технологии изготовления деталей данного класса и ее совершенствовании для максимального снижения затрат на изготовление в заданных производственных условиях.

Работа состоит из пяти разделов, выполненных на 53 страницах пояснительной записки и графической части, выполненной на 7 листах формата А1.

В первом разделе приведены исходные данные для проектирования и проведен их анализ для определения задач работы, которые необходимо выполнить для достижения ее цели. Во втором разделе решены стандартные технологические задачи, такие как проектирование заготовки, разработка плана изготовления, определение средств оснащения технологического процесса, определение режимов резания и нормирование технологических операций. В третьем разделе разработаны специальные технические средства оснащения, что позволило снизить время проведения фрезерно-центровальной и сверлильной операций за счет механизации процесса закрепления заготовки и внесения изменений в конструкцию режущего инструмента. В четвертом разделе спроектированная технология изготовления конического вала оценена на безопасность и экологичность ее выполнения с учетом применения предлагаемых специальных технических средств. В пятом разделе произведена экономическая оценка предлагаемой технологии изготовления и изменений, внесенных в нее. Установлено, что экономический эффект имеет положительное значение. Все предлагаемые решения признаны эффективными.

## **Abstract**

In the final qualification work, the technological process of manufacturing the crane gearbox conical shaft is being developed.

The work purpose is to design the conical shaft manufacturing technology a based on a typical manufacturing technology for class parts and improve it to minimize manufacturing costs under specified production conditions.

The work consists of five sections made on explanatory note 53 pages and a graphic part made on 7 A1 format sheets.

The first section provides the initial data for the design and analyzes them to determine the work tasks that must be performed to achieve its purpose. The first section provides the initial data for the design and analyzes them to determine the work tasks that must be performed to achieve its purpose. In the second section, standard technological tasks are solved, such as designing a workpiece, developing a manufacturing plan, determining the means of equipping the technological process, determining cutting modes and rationing technological operations. In the third section, special technical equipment has been developed, which made it possible to reduce the milling time, centering and drilling operations by mechanizing the workpiece fixing process and making changes to the cutting tool design. In the fourth section, the designed technology for manufacturing a conical shaft is evaluated for the safety and environmental friendliness of its implementation, taking into account the proposed special technical means use. The fifth section provides an economic assessment of the proposed manufacturing technology and the changes made to it. It has been established that the economic effect has a positive value. All the proposed solutions are recognized as effective.

## Содержание

Введение.....	5
1 Исходные данные и их анализ .....	6
1.1 Назначение и условия работы детали .....	6
1.2 Оценка технологичности детали .....	7
1.3 Анализ параметров типа производства.....	9
1.4 Постановка задач работы .....	11
2 Технологическая часть .....	12
2.1 Проектирование заготовки.....	12
2.2 Разработка плана изготовления .....	20
2.3 Технические средства оснащения .....	22
2.4 Определение режимов резания и нормирование .....	25
3 Разработка специальных технических средств оснащения .....	28
3.1 Разработка самоцентрирующих тисков .....	28
3.2 Разработка ступенчатого сверла.....	36
4 Безопасность и экологичность технического объекта .....	38
4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта.....	38
4.2 Идентификация профессиональных рисков.....	39
4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	40
4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта .....	42
4.5 Обеспечение экологической безопасности объекта .....	43
5 Экономическая эффективность работы .....	45
Заключение .....	49
Список используемых источников.....	50
Приложение А Технологическая документация.....	54
Приложение Б Спецификации к сборочным чертежам .....	63

## **Введение**

Выполнение строительных работ подразумевает перемещение большого количества разнообразных грузов. С целью механизации данных процессов используются краны разнообразных конструкций. Это позволяет существенно увеличить производительность процесса перемещения грузов без привлечения дополнительного персонала.

Одним из самых распространенных видов кранового оборудования на строительных площадках являются дизель-электрические краны. В состав данной машины входит механизм подъема стрелы. Данный механизм приводится в движение редуктором, конический вал которого рассматривается в данной работе. Отсюда можно сделать вывод о важности данной детали для работоспособности всего подъемного механизма. Следовательно, данная деталь должна отвечать всем техническим требованиям, заложенным конструктором.

Выполнение технических требований обеспечивается на стадии разработки технологии изготовления детали, путем применения соответствующих методов обработки и разработки оптимальных маршрутов. Другим немаловажным фактором, отражающим эффективность спроектированной технологии изготовления детали, являются ее экономические показатели. Наилучшие экономические показатели обеспечиваются путем правильной организации производственного процесса, правильным подбором и эффективным использованием технологических средств оснащения с учетом особенностей предприятия, на котором технологический процесс будет реализован.

Таким образом, цель работы заключается в проектировании технологии изготовления конического вала кранового редуктора на основе типовой технологии изготовления деталей данного класса и ее совершенствовании для максимального снижения затрат на изготовление в заданных производственных условиях.

## **1 Исходные данные и их анализ**

### **1.1 Назначение и условия работы детали**

«Вал предназначен для установки на нем шестерни, а также передачи и изменения направления на 90 градусов крутящего момента от электродвигателя на шестерню привода посредством боковых поверхностей» [11] эвольвенты конической шестерни, выполненной на одном конце вала и боковых поверхностей шлиц, выполненного на шейке под посадку зубчатого колеса. В корпусе редуктора конический вал базируется по шейкам под подшипники и торец. Конический вал находится в закрытом корпусе редуктора, что обеспечивает его поверхностям хорошие эксплуатационные условия со смазкой масляным туманом и полной изоляцией от воздействия внешних атмосферных факторов. В тоже время на исполнительные поверхности вала воздействуют значительные нагрузки от передаваемого крутящего момента. Также возможно воздействие вибраций от других машин и механизмов, работающих в непосредственной близости от крана. Это может привести к возникновению очагов повышенного износа и повреждению поверхностей конического вала. Дизель-электрический кран работает вне производственных помещений, поэтому следует учесть влияние температурного фактора на рассматриваемую деталь. В условиях пониженных или повышенных температур может возникнуть масляное голодание на подшипниковых шейках, а также ухудшение смазывающей способности масла, вызванное увеличением вязкости или излишним разжижением масла. Это может привести к появлению очагов преждевременного износа на подшипниковых шейках и исполнительных поверхностях вала.

В целом следует отметить, что «функциональное назначение конического вала является типовым для деталей данного класса, а условия его эксплуатации можно охарактеризовать как приемлемые» [11].

## 1.2 Оценка технологичности детали

Технологичность один из важнейших показателей детали, который характеризует эффективность ее производства в конкретных производственных условиях. Оценка технологичности производится исходя из характеристик материала детали, особенностей ее конструкции, формы и характеристик заготовки, особенностей технологии обработки [11].

Рассмотрим основные характеристики используемого для изготовления детали материала. В данном случае используется сталь 20ХГНР ГОСТ 4543-71. «Химический состав стали: углерод от 0,16% до 0,23%, хром от 0,7% до 1,1%, никель от 0,8% до 1,1%, марганец от 0,7% до 1,0%, кремний от 0,17% до 0,37%, медь 0,3%, сера 0,035%, фосфор 0,035%, бор 0,001-0,005%, титан 0,06%, остальное железо» [21]. «Физико-механические свойства: предел текучести 1080 МПа, предел прочности 1270 МПа, относительное удлинение 10%, относительное сужение 50%, твердость по шкале Бринелля от 146 до 174 единиц» [21]. Данные характеристики стали позволяют получить удовлетворительные показатели резания на операциях механической обработки. Исходя из химического состава стали, наиболее рационально для получения ее заготовки применять методы обработки давлением.

К конструктивным особенностям детали можно отнести большую разницу шеек в диаметрах и наличие внутреннего ступенчатого сквозного отверстия, выполненного для облегчения конструкции. Это потребует внесения изменений в типовой технологический процесс обработки, но при этом применения специальных методов обработки не потребуется. Немаловажным при оценке конструкции детали является определение служебного назначения ее поверхностей. Для этого приведем эскиз детали (рисунок 1) и классифицируем поверхности (таблица 1).

Количество ответственных поверхностей достаточно значительное, что приведет к необходимости применения точной обработки.

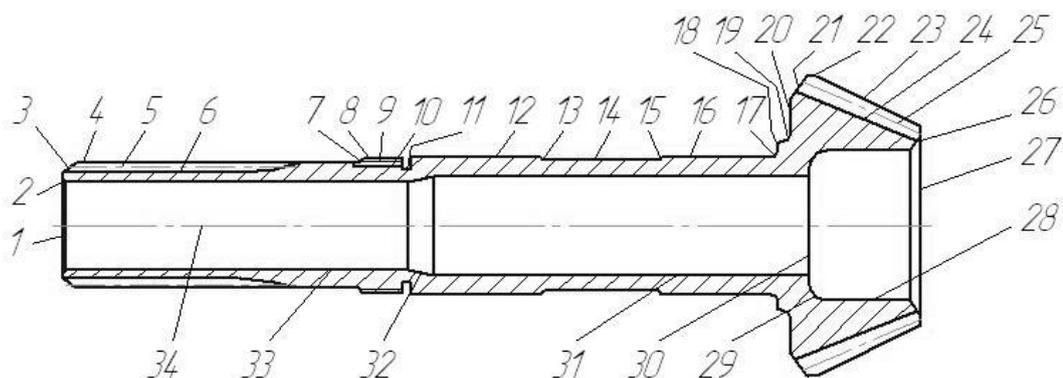


Рисунок 1 – Эскиз детали

Таблица 1 – Классификация поверхностей

Вид поверхности	Номер поверхности
Основные конструкторские базы	12, 16, 17
Вспомогательные конструкторские базы	4, 10, 11
Исполнительные поверхности	5, 9, 25
Свободные поверхности	все оставшиеся

Форма заготовки обусловлена особенностями конструкции детали, которые делают заведомо нерентабельным применение для получения заготовки проката. В данном случае возможно исключительно применение методов обработки давлением. Исходя из анализа всего приведенного комплекса ограничений и данных источника [22], «приходим к выводу, что для получения заготовки рассматриваемой детали наиболее рационально применение методов штамповки на горизонтально-ковочной машине и на кривошипном горячештамповочном прессе» [5].

Технологичность механической обработки оценивается возможностью достижения требуемых характеристик детали. Достижение требуемых характеристик поверхностей детали в данном случае возможно путем применения стандартных методов обработки. Заметим, что имеется большое количество точных поверхностей, что потребует применения дорогостоящих финишных методов обработки. Базирование заготовок, исходя из формы

детали, можно производить по различным поверхностям, с применением искусственных технологических баз в виде центровых отверстий.

Проведенный анализ детали позволяет сделать вывод о высокой степени ее технологичности. К недостаткам можно отнести большое количество точных поверхностей и большой перепад диаметров шеек, что вызовет ряд трудностей при проектировании технологии изготовления. В частности это потребует применения дорогостоящих методов обработки и разработки схем базирования, а также средств технологического оснащения реализующих их, с учетом особенностей конструкции детали.

### **1.3 Анализ параметров типа производства**

Параметры типа производства определяют не только его организационные особенности, но и стратегию проектирования технологии изготовления детали.

«На первом этапе проводимого анализа необходимо определить тип производства с применением упрощенной методики» [24]. «В соответствии с ней годовая программа выпуска деталей 7000 штук при массе 2,86 кг соответствует среднесерийному типу производства» [2].

«Основные организационные параметры данного типа производства» [11]:

- передача заготовок от одной операции к другой партиями с различной продолжительностью пролеживания между ними,
- формирование участков по технологическому признаку оборудования,
- использование универсального и специализированного оборудования,
- использование стандартизированной технологической оснастки,
- использование стандартного и широкоуниверсального режущего инструмента,

- высокая квалификация персонала.

«Основные особенности проектирования технологии изготовления в условиях среднесерийного типа производства» [11]:

- использование типовых технологических процессов в качестве аналогов,
- применение последовательной стратегии проектирования,
- соблюдение принципа концентрации переходов при проектировании технологических операций,
- применение аналитического и опытно-статистического методов определения припусков на обработку,
- применение заготовок максимально приближенных по форме к готовой детали,
- «определение режимов резания и нормирование расчетно-аналитическим или статистическим методами в зависимости от требуемой точности» [11],
- достижение точности обработки путем предварительной настройки на размер,
- соблюдение основных положений теории базирования при проектировании технологических операций,

При проектировании технологического процесса будем придерживаться данных рекомендаций. Заметим, что в ряде случаев допускается отклонение от них. Например, допускается применение специальных средств технологического оснащения, в случае если стандартные средства технологического оснащения отсутствуют или применение специальных средств технологического оснащения позволяет сократить производственные затраты.

Следует учесть, что в соответствии с современными тенденциями развития в условиях среднесерийного типа производства широко применяются станки с числовым программным управлением. Их применение приводит к необходимости более тщательной проработки технологической

документации, повышению уровня автоматизации всех производственных процессов, использованию современных средств диагностики оборудования и процесса обработки, например, адаптивных систем. Также повышаются требования к средствам технологического оснащения.

#### **1.4 Постановка задач работы**

Сформулируем задачи работы.

«На первом этапе необходимо выполнить проектирование заготовки. Решение этой задачи потребует выбрать метод получения заготовки, определить маршруты обработки поверхностей, припуски на обработку и технологические напуски» [11]. «На втором этапе необходимо спроектировать технологию изготовления. Для этого нужно определить маршрут изготовления, разработать схемы базирования, выбрать средства технологического оснащения, определить режимы резания» [11]. «Далее необходимо разработать специальные технические средства оснащения, которые позволят сократить время выполнения ряда операций» [11]. «Затем спроектированную технологию необходимо оценить на безопасность и экологичность ее выполнения с учетом применения предлагаемых специальных технических средств» [11]. «На заключительном этапе необходимо произвести экономическую оценку предлагаемой технологии изготовления и изменений, внесенных в нее» [11].

В данном разделе рассмотрены имеющиеся исходные данные и проведен их анализ. Были оценены условия работы, «служебное назначение, технологичность детали, определен тип производства и его основные характеристики. На основе полученных результатов определены основные задачи работы, выполнение которых позволит достичь сформулированной во введении цели» [11].

## 2 Технологическая часть

### 2.1 Проектирование заготовки

Проектирование заготовки начинается с этапа выбора метода ее получения. Вопрос выбора метода получения заготовки подразумевает наличие вариантов. В ходе проведения анализа технологичности часть методов получения была отброшена как заведомо невыгодные или технически не реализуемые. В результате для выбора остались «метод штамповки на горизонтально-ковочной машине и метод штамповки на кривошипном горячештамповочном прессе» [5]. Выбор из этих двух методов можно сделать путем сравнения себестоимости получения заготовок. Однако, дешевая заготовка может привести к удорожанию готовой детали, так как увеличиваются напуски на обработку и, как следствие этого, стоимость механической обработки. В идеальном случае необходимо оценивать не стоимость заготовки, а стоимость изготовления детали из данной заготовки. В этом случае требуется полная разработка всех технологических процессов для сравниваемых вариантов. В условиях среднесерийного типа производства проектирование таким методом нецелесообразно, поэтому применяется упрощенная методика [5].

«Сравнение выполним по суммарным затратам на изготовление детали:

$$C_i = C_{zi} + C_{обри}, \quad (1)$$

где  $C_{zi}$  – стоимость получения заготовки, руб.;

$C_{обри}$  – стоимость механической обработки, руб.;

$i$  – индекс варианта получения заготовки» [5].

«Стоимость получения заготовки рассчитывается по формуле:

$$C_{zi} = \frac{C_{mi} \cdot M_{zi}}{1000} \cdot K_{сп} \cdot K_T \cdot K_{сл}, \quad (2)$$

где  $C_{mi}$  – цена материала за тонну, руб.;

$M_{zi}$  – масса заготовки, кг;

$K_{сп}$  – коэффициент, определяемый способом получения заготовки;

$K_T$  – коэффициент, определяемый необходимой точностью заготовки;

$K_{сл}$  – коэффициент, определяемый сложностью получения заготовки» [5].

«Расчет массы заготовки выполняется по формуле:

$$M_{zi} = M_d \cdot K_p, \quad (3)$$

где  $M_d$  – масса детали, кг;

$K_p$  – коэффициент формы заготовки и способа ее получения» [5].

«Индекс метода получения заготовки принимаем 1 для заготовки, полученной на горизонтально-ковочной машине, 2 для заготовки, полученной на кривошипном горячештамповочном прессе» [5].

$$M_{z1} = 2,86 \cdot 1,8 = 5,15 \text{ кг.}$$

$$M_{z2} = 2,86 \cdot 1,9 = 5,43 \text{ кг.}$$

«Стоимость получения заготовки по формуле (2) равна.

$$C_{z1} = \frac{32000 \cdot 5,15}{1000} \cdot 0,56 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 92,29 \text{ р.}$$

$$C_{z2} = \frac{32000 \cdot 5,43}{1000} \cdot 0,53 \cdot 1,0 \cdot 1,2 = 110,51 \text{ р.} \text{» [5]}$$

«Стоимость механической обработки рассчитывается по формуле:

$$C_{обри} = \frac{C_{уд} \cdot \left(\frac{1}{K_{имi}} - 1\right) \cdot M_d}{K_o}, \quad (4)$$

где  $C_{уд}$  – удельная стоимость обработки, руб./кг;

$K_{имi}$  – коэффициент использования материала;

$K_0$  – коэффициент обрабатываемости материала» [5].

«Коэффициент использования материала рассчитывается по формуле:

$$K_{имi} = \frac{M_d}{M_3}. \quad (5)» [5]$$

«Выполняем расчеты.

$$K_{им1} = \frac{2,86}{5,15} = 0,56.$$

$$K_{им2} = \frac{2,86}{5,43} = 0,53» [5].$$

«Стоимость механической обработки по формуле (4) равна.

$$C_{обр1} = \frac{42 \cdot \left(\frac{1}{0,56} - 1\right) \cdot 2,86}{0,8} = 117,98 \text{ р.}$$

$$C_{обр2} = \frac{42 \cdot \left(\frac{1}{0,53} - 1\right) \cdot 2,86}{0,8} = 133,15 \text{ р.}» [5]$$

«Общие затраты по формуле (1) составят.

$$C_1 = 92,29 + 117,98 = 210,27 \text{ р.}$$

$$C_2 = 110,51 + 133,15 = 243,66 \text{ р.}» [5]$$

Метод получения заготовки на горизонтально-ковочной машине, в соответствии с принятой методикой, имеет лучшие показатели. Дальнейшее проектирование заготовки будем производить для данного метода по методике [4].

«Следующим этапом проектирования заготовки является определение припусков на обработку поверхностей» [11]. Для этого сначала необходимо решить задачу выбора маршрутов обработки поверхностей.

Достижение одних и тех же параметров обработанной поверхности возможно путем применения различных маршрутов обработки. Отличие в применении того или иного маршрута заключается в его стоимости. На практике применяется методика определения маршрутов обработки поверхностей по суммарному коэффициенту относительных затрат [15], [23].

«Результаты проектирования маршрутов обработки приведены в таблице 2» [11].

Таблица 2 – Маршруты обработки поверхностей

Поверхности	Квалитет	Шероховатость, мкм	Маршрут обработки
1, 27	12	12,5	«фрезерование однократное, термическая обработка» [15]
2, 26	9	3,2	«сверление однократное, термическая обработка, шлифование однократное» [15]
3, 7	12	12,5	«точение однократное, термическая обработка» [15]
4	7	2,5	«двукратное точение, термическая обработка, двукратное шлифование» [15]
5	9	6,3	«фрезерование однократное, термическая обработка» [15]
6	12	12,5	«фрезерование однократное, термическая обработка» [15]
8	10	12,5	«двукратное точение, термическая обработка» [15]
9	9	6,3	«нарезание резьбы, термическая обработка» [15]
10	12	12,5	«фрезерование однократное, термическая обработка» [15]
11	12	12,5	«точение однократное на чистовом переходе, термическая обработка» [15]
12, 16	6	0,63	«двукратное точение, термическая обработка, двукратное шлифование» [15]
13, 15	12	12,5	«точение однократное, термическая обработка» [15]
14	12	12,5	«точение однократное, термическая обработка» [15]
17, 19	12	12,5	«точение однократное, термическая обработка» [15]
18	10	1,25	«двукратное точение, термическая обработка, двукратное шлифование» [15]
20	12	12,5	«точение однократное, термическая обработка» [15]
21	12	12,5	«точение однократное, термическая обработка» [15]
22	12	12,5	«точение однократное, термическая обработка» [15]
23	10	6,3	«двукратное точение, термическая обработка» [15]
24	12	12,5	«зубонарезание, термическая обработка» [15]
25	8	2,5	«двукратное зубонарезание, термическая обработка» [15]

Продолжение таблицы 2

Поверхности	Квалитет	Шероховатость, мкм	Маршрут обработки
28	12	12,5	«точение однократное, термическая обработка» [15]
29	12	12,5	«точение однократное, термическая обработка» [15]
30	12	12,5	«точение однократное, термическая обработка» [15]
31, 33	12	12,5	«сверление однократное, термическая обработка» [15]
32	12	12,5	«сверление однократное, термическая обработка» [15]

«Припуски на обработку точных поверхностей диаметром  $44k6^{(+0.018/+0.002)}$  определяются расчетно-аналитическим методом» [17].

«Минимальный припуск рассчитывается по формуле:

$$z_{imin} = a_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}, \quad (6)$$

где  $a_{i-1}$  – величина дефектного слоя на предыдущем переходе, мм;

$\Delta_{i-1}$  – величина пространственных отклонений поверхностей на предыдущем переходе, мм;

$\varepsilon_i$  – величина погрешности установки заготовки на текущем переходе, мм» [17].

«Максимальный припуск рассчитывается по формуле:

$$z_{i max} = z_{i min} + 0,5 \cdot (Td_{i-1} + Td_i), \quad (7)$$

где  $Td_i$  – допуск размера на текущем переходе, мм;

$Td_{i-1}$  – допуск размера на предыдущем переходе, мм» [17].

«Средний припуск рассчитывается по формуле:

$$z_{cpi} = 0,5 \cdot (z_{i \max} + z_{i \min}). \quad (8) \gg [17]$$

«Результаты проведения расчетов припусков приведены ниже.

$$z_{1 \min} = a_0 + \sqrt{\Delta_0^2 + \varepsilon_1^2} = 0,400 + \sqrt{0,400^2 + 0,025^2} = 0,801 \text{ мм.}$$

$$z_{2 \min} = a_1 + \sqrt{\Delta_1^2 + \varepsilon_2^2} = 0,200 + \sqrt{0,063^2 + 0,025^2} = 0,268 \text{ мм.}$$

$$z_{3 \min} = a_{T0} + \sqrt{\Delta_{T0}^2 + \varepsilon_3^2} = 0,025 + \sqrt{0,040^2 + 0,012^2} = 0,292 \text{ мм.}$$

$$z_{4 \min} = a_3 + \sqrt{\Delta_3^2 + \varepsilon_4^2} = 0,050 + \sqrt{0,010^2 + 0,012^2} = 0,066 \text{ мм.}$$

$$z_{1 \max} = z_{1 \min} + 0,5 \cdot (Td_0 + Td_1) = 0,801 + 0,5 \cdot (1,6 + 0,25) = 1,714 \text{ мм.}$$

$$z_{2 \max} = z_{2 \min} + 0,5 \cdot (Td_1 + Td_2) = 0,268 + 0,5 \cdot (0,25 + 0,10) = 0,443 \text{ мм.}$$

$$z_{3 \max} = z_{3 \min} + 0,5 \cdot (Td_{T0} + Td_3) = 0,292 + 0,5 \cdot (0,16 + 0,10) = 0,422 \text{ мм.}$$

$$z_{4 \max} = z_{4 \min} + 0,5 \cdot (Td_3 + Td_4) = 0,066 + 0,5 \cdot (0,039 + 0,016) = 0,094 \text{ мм.}$$

$$z_{cp1} = 0,5 \cdot (z_{1 \max} + z_{1 \min}) = 0,5 \cdot (1,714 + 0,801) = 1,258 \text{ мм.}$$

$$z_{cp2} = 0,5 \cdot (z_{2 \max} + z_{2 \min}) = 0,5 \cdot (0,443 + 0,268) = 0,356 \text{ мм.}$$

$$z_{cp3} = 0,5 \cdot (z_{3 \max} + z_{3 \min}) = 0,5 \cdot (0,422 + 0,292) = 0,357 \text{ мм.}$$

$$z_{cp4} = 0,5 \cdot (z_{4 \max} + z_{4 \min}) = 0,5 \cdot (0,094 + 0,066) = 0,080 \text{ мм.} \gg [17]$$

«Минимальный диаметр рассчитывается по формуле:

$$d_{(i-1) \min} = d_{i \min} + 2 \cdot z_{i \min}. \quad (9) \gg [17]$$

«Минимальный диаметр на переходе, предшествующем термическому рассчитывается по формуле:

$$d_{(T0-1) \min} = d_{(i-1) \min} \cdot 0,999. \quad (10) \gg [17]$$

«Максимальный диаметр рассчитывается по формуле:

$$d_{(i-1)max} = d_{(i-1)min} + Td_{i-1}. \quad (11)» [17]$$

«Средний диаметр рассчитывается по формуле:

$$d_{i\text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{i\text{ max}} + d_{i\text{ min}}). \quad (12)» [17]$$

«Результаты проведения расчетов операционных размеров приведены ниже.

$$d_{4min} = 44,002 \text{ мм.}$$

$$d_{4max} = 44,018 \text{ мм.}$$

$$d_{4\text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{4max} + d_{4min}) = 0,5 \cdot (44,018 + 44,002) = 44,100 \text{ мм.}$$

$$d_{3min} = d_{4min} + 2 \cdot z_{4min} = 44,018 + 2 \cdot 0,066 = 44,150 \text{ мм.}$$

$$d_{3max} = d_{3min} + Td_3 = 44,150 + 0,039 = 44,189 \text{ мм.}$$

$$d_{3\text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{3max} + d_{3min}) = 0,5 \cdot (44,189 + 44,150) = 44,170 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{ТО} min} = d_{3min} + 2 \cdot z_{3min} = 44,189 + 2 \cdot 0,292 = 45,229 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{ТО} max} = d_{\text{ТО} min} + Td_{\text{ТО}} = 45,229 + 0,160 = 45,389 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{ТО} ср} = 0,5 \cdot (d_{\text{ТО} max} + d_{\text{ТО} min}) = 0,5(45,389 + 45,229) = 45,309 \text{ мм.}$$

$$d_{2min} = d_{\text{ТО} min} \cdot 0,999 = 45,229 \cdot 0,999 = 45,188 \text{ мм.}$$

$$d_{2max} = d_{2min} + Td_2 = 45,188 + 0,100 = 45,288 \text{ мм.}$$

$$d_{2\text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{2max} + d_{2min}) = 0,5 \cdot (45,288 + 45,188) = 45,238 \text{ мм}$$

$$d_{1min} = d_{2min} + 2 \cdot z_{2min} = 45,288 + 2 \cdot 0,268 = 45,824 \text{ мм.}$$

$$d_{1max} = d_{1min} + Td_1 = 45,824 + 0,250 = 46,074 \text{ мм.}$$

$$d_{1\text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{1max} + d_{1min}) = 0,5 \cdot (46,074 + 45,824) = 45,949 \text{ мм.}$$

$$d_{0min} = d_{1min} + 2 \cdot z_{1min} = 46,074 + 2 \cdot 0,801 = 47,676 \text{ мм.}$$

$$d_{0max} = d_{0min} + Td_0 = 47,676 + 1,600 = 49,276 \text{ мм.}$$

$$d_{0\text{ ср}} = 0,5(d_{0max} + d_{0min}) = 0,5(49,276 + 47,676) = 48,476 \text{ мм.}» [17]$$

«Общий минимальный припуск рассчитывается по формуле:

$$2z_{min} = d_{0\ min} - d_{4\ max}. \quad (13) \gg [17]$$

«Общий максимальный припуск рассчитывается по формуле:

$$2z_{max} = 2z_{min} + Td_0 + Td_4. \quad (14) \gg [17]$$

«Общий средний припуск рассчитывается по формуле:

$$2z_{cp} = 0,5 \cdot (2z_{min} + 2z_{max}). \quad (15) \gg [17]$$

«Выполняем расчеты:

$$2z_{min} = 47,676 - 44,018 = 3,658 \text{ мм.}$$

$$2z_{max} = 3,658 + 1,600 + 0,016 = 5,274 \text{ мм.}$$

$$2z_{cp} = 0,5 \cdot (3,658 + 5,724) = 4,466 \text{ мм} \gg [17].$$

Припуски на оставшиеся поверхности определены по методике [20] и приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Припуски на обработку поверхностей

Поверхности	Номер перехода	Минимальный припуск, мм	Максимальный припуск, мм	Средний припуск, мм
1, 27	1	1,4	3,43	2,42
4	1	1,5	2,88	2,19
	2	0,3	0,475	0,388
	3	0,5	0,57	0,535
	4	0,06	0,124	0,092
8	1	1,5	2,88	2,19
	2	0,3	0,475	0,388
18	1	2,4	3,725	3,063
	2	1,4	1,75	1,575
	3	0,5	0,6	0,55
	4	0,3	0,4	0,35
23	1	1,65	2,775	2,213
	2	0,15	0,395	0,273
25	1	0,6	1,05	0,825
	2	0,18	0,32	0,25

«Далее необходимо определить характеристики заготовки» [7].

«В данном случае заготовка имеет следующие параметры: класс точности Т4, группа стали М2, степень сложности С2, исходный индекс для определения начальных допусков И13, наружные уклоны 5°, радиус закруглений 2,5 мм, допустимые значения остаточного облоя не более 0,9 мм, concentricity 1,5 мм, смещение по поверхности разъема штампа не более 0,7 мм, плоскостность 1,2 мм» [7]. «Чертеж заготовки, содержащий все необходимые данные, приведен в графической части работы» [11].

## **2.2 Разработка плана изготовления**

«План изготовления детали отражает последовательность операций технологического процесса» [15], а также его основные параметры.

Задача выбора последовательности операций заключается в формировании оптимального маршрута изготовления детали, основанного на маршрутах обработки отдельных ее поверхностей, выбранных ранее при определении припусков на обработку. Маршрут изготовления формируется путем объединения одинаковых методов обработки в операции. При этом следует учесть особенности среднесерийного типа производства, а также основные принципы формирования маршрута изготовления. Во-первых, это принцип предшествования, то есть состояние заготовки на выходе одной операции должно является входным состоянием для другой операции. Во-вторых, это принцип «наложения, то есть одна поверхность расположена на другой и не может быть обработана раньше» [10]. «Сформированный согласно данным требованиям и рекомендациям [26] маршрут изготовления детали приведен в таблице 4, а также отражен в приложении А «Технологическая документация»» [11].

Таблица 4 – Технологический маршрут изготовления детали

Операция	Метод обработки	Обрабатываемые поверхности
005 Фрезерно-центровальная	фрезерование, сверление	1, 2, 27, 26
010 Токарная	точение	3, 4, 7, 12, 14, 16, 17, 18, 19, 20
015 Токарная	точение	21, 22, 23
020 Токарная	точение	4, 9, 11, 12, 16, 17, 18
025 Токарная	точение	23
030 Фрезерная	фрезерование	10
035 Сверлильная	сверление	31, 32, 33
040 Токарная	точение	28, 29, 30
045 Шлицефрезерная	фрезерование	6, 5
050 Зубофрезерная	фрезерование	24, 25
055 Зубофасочная	фрезерование	25
060 Термическая	закалка, отпуск	все
065Центрошлифовальная	шлифование	2, 26
070 Круглошлифовальная	шлифование	4
075Торцекруглошлифовальная	шлифование	12, 16, 18
080 Торцекруглошлифовальная	шлифование	12, 16, 18
085 Круглошлифовальная	шлифование	4
090 Моечная	мойка	все
095 Контрольная	контроль	все

Следующая задача при проектировании плана изготовления заключается в разработке схем базирования заготовок на операциях технологического процесса. «Разработанные схемы базирования приведены на соответствующем листе графической части работы» [14].

«Также необходимо решить задачу определения технических требований на выполнение операций» [14]. Задача решается на основе рекомендаций и данных [25].

Формирование плана изготовления заключается в графическом отображении структуры операций с детализацией до установа. В обоснованных случаях допускается детализация по переходам. Исходя из особенностей среднесерийного типа производства, при формировании операций технологического процесса предпочтение следует отдавать операциям, реализация которых не требует применения специального оборудования и средств технологического оснащения, а также обеспечивает

максимальную концентрацию переходов с последовательной обработкой поверхностей.

«Рекомендации по выполнению плана изготовления детали приведены в литературе» [11].

### **2.3 Технические средства оснащения**

«Под техническими средствами понимают технологическое оборудование, станочные приспособления, режущие инструменты и контрольные средства» [11]. Принятые на данном этапе влияют абсолютно на все показатели проектируемой технологии и, в конечном счете, определяют ее эффективность.

Технологическое оборудование должно обеспечивать соблюдение принципа концентрации переходов и достижение точности обработки путем предварительной настройки на размер.

Станочные приспособления должны обеспечивать необходимую точность установки, иметь необходимое быстродействие и другие эксплуатационные показатели.

В качестве режущего инструмента необходимо использовать стандартный и широкоуниверсальный режущий инструмент. Режущий инструмент должен обеспечивать необходимую точность обработки, выполнение режимов резания, обладать необходимой стойкостью.

В качестве контрольных средств необходимо «использовать универсальные и стандартизированные средства контроля, обеспечивающие получение информации по результатам контроля в виде качественных характеристик» [11].

«Выбор технических средств оснащения осуществляется с использованием источников [1], [13], [16], [18], [19]. Результаты выбора приведены в таблице 5» [11].

Таблица 5 – Технические средства оснащения технологического процесса

Операция	Оборудование	Станочные приспособления	Режущие инструменты	Контрольные средства
005 Фрезерно-центровальная	«фрезерно-центровальный МР-71М» [1]	«тиски самоцентрирующие специальные» [18]	«фреза торцовая насадная Ø100 ГОСТ 9473-80 Т5К10, сверло центровочное специальное Р6М5, зенковка Р6М5» [16]	«штангенциркуль ШЦ-П ГОСТ160-80, калибр контроля центрового отверстия» [13]
010 Токарная	«токарно-винторезный 16К20Ф3» [1]	«центр ГОСТ 8742-75, патрон трехкулачковый ГОСТ 24351-80» [18]	«резец контурный ГОСТ 18879-73 Т5К10» [16]	«штангенциркуль ШЦ-П ГОСТ 160-80» [13]
015 Токарная	«токарно-винторезный 16К20Ф3» [1]	«центр ГОСТ 8742-75, патрон трехкулачковый ГОСТ 24351-80» [18]	«резец контурный ГОСТ 18879-73 Т5К10» [16]	«штангенциркуль ШЦ-П ГОСТ 160-80, калибр» [13]
020 Токарная	«токарно-винторезный 16К20Ф3» [1]	«центр вращающийся ГОСТ 8742-75, патрон трехкулачковый ГОСТ 24351-80» [18]	«резец контурный ГОСТ 18879-73 Т30К4, резец канавочный ГОСТ 18879-73 Т30К4, резец резьбовой ГОСТ 18879-73 Т5К10» [16]	«микрометр МК-50 ГОСТ 6507-78, резьбовой калибр» [13]
025 Токарная	«токарно-винторезный 16К20Ф3» [1]	«центр ГОСТ 8742-75, патрон трехкулачковый ГОСТ 24351-80» [18]	«резец контурный ГОСТ 18879-73 Т30К4» [16]	«калибр» [13]
030 Фрезерная	«вертикально-фрезерный 6Р10» [1]	«тиски самоцентрирующие» [18]	«фреза шпоночная Ø8 ГОСТ 9308-69 Р6М5» [16]	«штангенциркуль ШЦ-П ГОСТ160-80, калибр» [13]
035 Сверлильная	«вертикально-сверлильный 2Н135» [1]	«тиски самоцентрирующие» [18]	«сверло пушечное специальное Т14К8» [16]	«нутромер НМ ГОСТ 160-80» [13]
040 Токарная	«токарно-винторезный 16К20Ф3» [1]	«центр ГОСТ 8742-75, патрон цанговый ГОСТ 2876-80» [18]	«резец расточной ГОСТ18879-73 Т5К10» [16]	«нутромер НМ ГОСТ 160-80» [13]
045 Шлицефрезерная	«шлицефрезерный 5350» [1]	«центр ГОСТ 2576-79, патрон ГОСТ2571-71» [19]	«фреза червячная Ø90 ГОСТ 9324-80 Р9К10» [16]	«калибр» [13]

Продолжение таблицы 5

Операция	Оборудование	Станочные приспособления	Режущие инструменты	Контрольные средства
050 Зубофрезерная	«зуборезный N16F Glisson» [1]	«оправка специальная» [19]	«резцовая головка Ø190,5 ГОСТ 11902-77 P6M5» [16]	«калибр» [13]
055 Зубофасочная	«зуборезный N16F Glisson» [1]	«оправка специальная» [19]	«резцовая головка Ø190,5 ГОСТ 11902-77 P6M5» [16]	«калибр» [13]
060 Термическая	«печь» [1]	–	–	–
065 Центрошлифовальная	«центрошлифовальный 3922» [1]	«тиски самоцентрирующие» [19]	«головка алмазная АГК ГОСТ 2447-82» [16]	«калибр» [13]
070 Круглошлифовальная	«круглошлифовальный 3М151» [1]	«центр неподвижный ГОСТ 8740-75, патрон поводковый специальный» [19]	«круг шлифовальный 1-300x50x127 24А46М9V ГОСТ Р 52781-2007» [16]	«скоба рычажная» [13]
075 Торце­круглошлифовальная	«торце­круглошлифовальный 3Т160» [1]	«центр неподвижный ГОСТ 8740-75, патрон поводковый специальный» [19]	«круг шлифовальный 1-300x50x127 24А46М9V ГОСТ Р 52781-2007» [16]	«скоба рычажная» [13]
080 Торце­круглошлифовальная	«торце­круглошлифовальный 3Т160» [1]	«центр неподвижный ГОСТ 8740-75, патрон поводковый специальный» [19]	«круг шлифовальный 1-300x50x127 25А60К7V ГОСТ Р 52781-2007» [16]	«скоба рычажная» [13]
085 Круглошлифовальная	«круглошлифовальный 3М151» [1]	«центр неподвижный ГОСТ 8740-75, патрон поводковый специальный» [19]	«круг шлифовальный 1-300x50x127 25А60К7V ГОСТ Р 52781-2007» [16]	«скоба рычажная» [13]
090 Моечная	«моечная машина» [1]	–	–	–
095 Контрольная	–	–	–	«средства контроля по карте контроля» [13]

Выбранные технические средства оснащения технологического процесса отвечают всем требованиям среднесерийного типа производства. Следует отметить широкое применение станков оснащенных числовым программным управлением на токарных операциях, а также стандартных станочных приспособлений и режущего инструмента. Это позволит увеличить гибкость производства и расширить его номенклатуру.

«Данные представленные в таблице 5 заносятся в соответствующую технологическую документацию, представленную в приложении А «Технологическая документация»» [11].

## 2.4 Определение режимов резания и нормирование

«Определение режимов резания и нормирование выполняется расчетно-аналитическим или статистическим методами в зависимости от требуемой точности» [8]. Приведем основные их положения.

«Скорость резания определяется по формуле:

$$V = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y}, \quad (16)$$

где  $C_V$  – постоянная определяемая видом обработки;

$K_V$  – коэффициент, учитывающий фактические условия обработки;

$T$  – период стойкости инструмента, мин;

$t$  – глубина резания, мм;

$S$  – подача, мм/об;

$m, x, y$  – показатели степеней, учитывающие условия резания» [8].

«Частота вращения шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d}, \quad (17)$$

где  $d$  – диаметр обработки, мм» [8].

«Фактическая скорость резания:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}. \quad (18)» [8]$$

«Основное время:

$$T_0 = \frac{L_{р.х.}}{S \cdot n}, \quad (19)$$

где  $L_{р.х.}$  – длина рабочего хода, мм;

$S$  – подача, мм/об» [8].

«Длина рабочего хода:

$$L_{р.х.} = l_1 + l_{рез} + l_2, \quad (20)$$

где  $l_1$  – длина врезания, мм.;

$l_{рез}$  – длина резания, мм.;

$l_2$  – длина перебега, мм» [8].

«Результаты расчета представлены в таблице 6» [11].

Таблица 6 – Определение режимов резания и нормирование

Операция	Переход	Подача, мм/об	Скорость, м/мин	Частота вращения, об/мин	Рабочий ход, мм	Основное время, мин
005	1	0,15	79	250	70	0,19
	2	1,1	6	36	3	0,81
0,26		16	180	38		
010	1	0,3	110	630	256	1,35
015	1	0,3	110	630	54	0,29
020	1	0,1	173	1250	194	1,55
	2	0,08	87	630	4	0,08
	3	1,5	87	630	17	0,02
025	1	0,1	193	630	42	0,67
030	1	0,05	20	800	19	0,24
035	1	0,3	75	750	238	1,06

Продолжение таблицы 6

Операция	Переход	Подача, мм/об	Скорость, м/мин	Частота вращения, об/мин	Рабочий ход, мм	Основное время, мин
040	1	0,2	80	800	38	0,24
045	1	2,0	33	250	56	0,84
050	1	25	40	90	45	7,0
055	1	30	54	90	45	8,0
065	1	0,005	15	300	0,6	0,4
070	1	0,011	26	368	56	1,96
075	1	0,009	26	200	0,213	0,82
080	1	0,003	30	200	0,080	0,93
085	1	0,008	30	368	45	1,87

Результаты проведенных расчетов позволяют сделать следующие выводы. Следует усовершенствовать сверлильную операцию, так как при небольшом объеме механической обработки она является одной из самых продолжительных. Ряд операций имеют небольшую продолжительность выполнения, что дает возможность значительной догрузки используемого на них оборудования производством других деталей.

В данном разделе успешно решены стандартные технологические задачи, такие как проектирование заготовки, разработка плана изготовления, определение технических средств оснащения технологического процесса, определение режимов резания и нормирование технологических операций.

### 3 Разработка специальных технических средств оснащения

#### 3.1 Разработка самоцентрирующих тисков

Анализируя базовый технологический процесс, приходим к выводу, что необходимо усовершенствовать фрезерно-центровальную операцию, так как при небольшом объеме механической обработки она является одной из самых продолжительных. Анализируя причины этого, приходим к выводу, что значительную часть времени выполнения операции занимает время на снятие и установку заготовки в приспособлении. Устранение данного недостатка возможно путем механизации процесса закрепления. Эскиз данной операции приведен на рисунке 2.

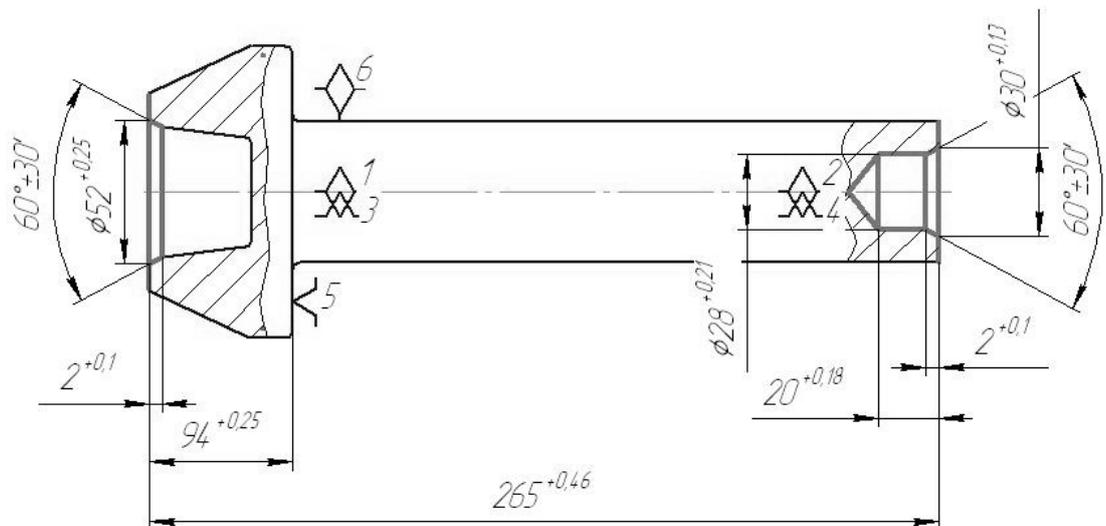


Рисунок 2 – Эскиз операции

«Проектирование будем проводить на основе рекомендаций» [3].

«Основная составляющая силы резания при фрезеровании  $P_z$  равна 948,74 Н» [3].

«Остальные составляющие силы резания определяются по формулам:

$$P_h = P_z \cdot 0,4. \quad (21)$$

$$P_v = P_z \cdot 0,9. \quad (22)$$

$$P_y = P_z \cdot (0,85 \dots 0,95). \quad (23) \gg [3]$$

«Результаты расчетов.

$$P_h = 948,74 \cdot 0,4 = 379,5 \text{ Н.}$$

$$P_v = 948,74 \cdot 0,9 = 853,87 \text{ Н.}$$

$$P_y = 948,74 \cdot 0,95 = 901,3 \text{ Н} \gg [3].$$

«Для перехода сверления момент резания  $M_{кр}$  равен 68,95 Н·м, осевая сила резания  $P_0$  равна 193 Н» [3].

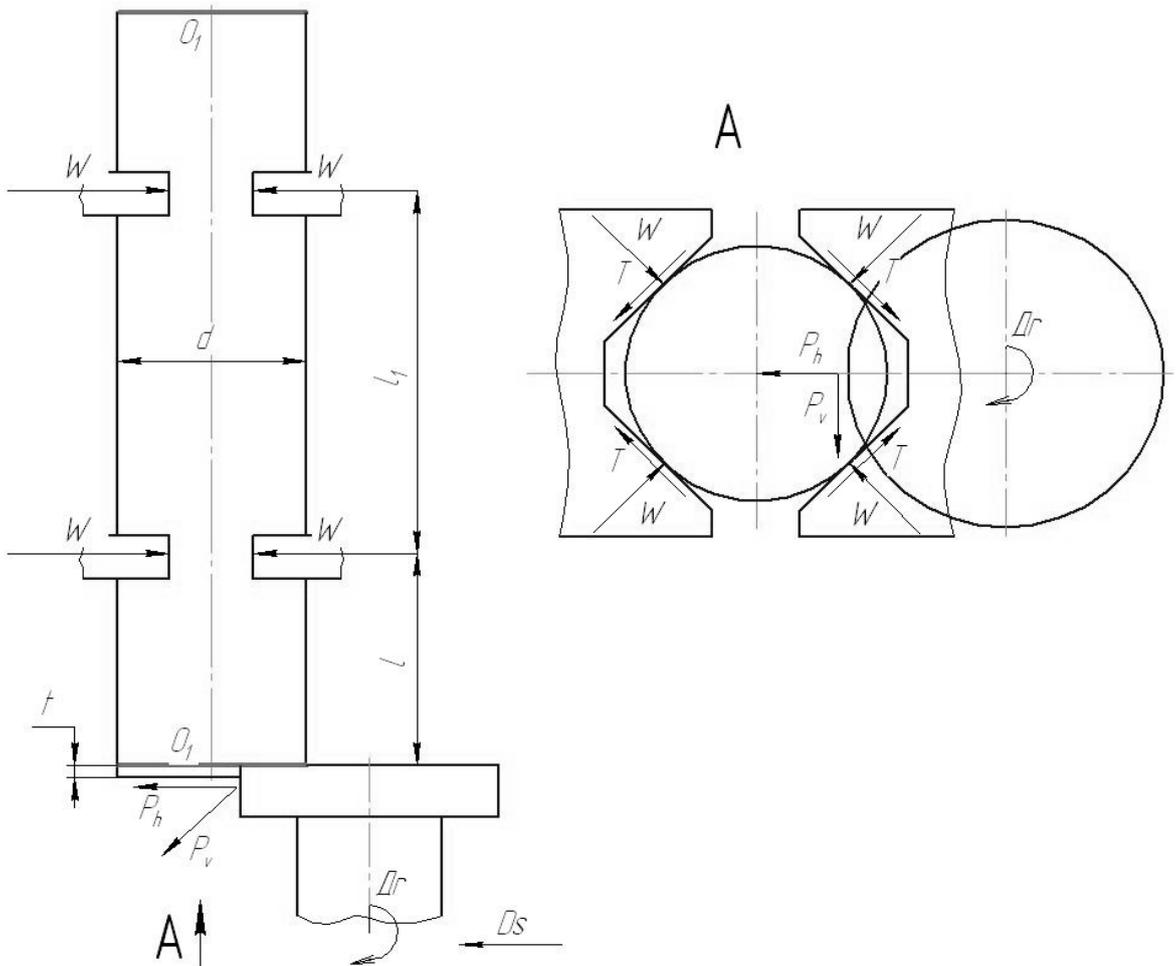


Рисунок 3 – Расчетная схема для определения усилия закрепления

«Момент от составляющей силы резания  $P_h$ :

$$M_p = P_h \cdot l, \quad (24)$$

где  $l$  – расстояние, определяемое по схеме системы сил, мм» [3].

«Уравновешивающий его момент силы закрепления:

$$M_3 = W \cdot l_1, \quad (25)$$

где  $W$  – сила закрепления, Н;

$l_1$  – расстояние, определяемое по схеме системы сил, мм» [3].

«Из условия равновесия системы сила закрепления равна:

$$W = \frac{P_h \cdot l \cdot K}{l_1}, \quad (26)$$

где  $K$  – коэффициент запаса» [3].

«Коэффициент запаса определяется по формуле:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (27)$$

где  $K_0$  – гарантированный коэффициент запаса;

$K_1$  – коэффициент, учитывающий состояние технологических баз;

$K_2$  – коэффициент, учитывающий состояние режущего инструмента» [3].

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,2 = 2,2.$$

«Рассчитываем силу закрепления.

$$W = \frac{379,5 \cdot 10 \cdot 2,2}{150} = 56 \text{ Н} \text{» [3].}$$

«Момент от составляющей силы резания  $P_v$ :

$$M_p = \frac{P_v \cdot d_o}{2}, \quad (28)$$

где  $d_o$  – диаметр обработки, мм» [3].

«Уравновешивающий его момент силы закрепления:

$$M_3 = 4 \cdot W \cdot f \cdot d_3, \quad (29)$$

где  $W$  – сила закрепления, Н;

$f$  – коэффициент трения поверхностей призмы и заготовки;

$d_3$  – диаметр закрепления, мм» [3].

«Из условия равновесия системы сила закрепления равна:

$$W = \frac{P_v \cdot d_o \cdot K}{8 \cdot f \cdot d_3}. \quad (30)» [3]$$

$$W = \frac{853,87 \cdot 68 \cdot 2,2}{8 \cdot 0,16 \cdot 48} = 2079 \text{ Н.}$$

«Из двух полученных значений силы закрепления в дальнейших расчетах используем наибольшую» [3].

«Следует учесть влияние угла призм на данную силу:

$$W_{\text{изм}} = \frac{W}{\sin \frac{\alpha}{2}}, \quad (31)$$

где  $\alpha$  – угол призмы, град» [3].

$$W_{\text{изм}} = \frac{2079}{\sin 45^\circ} = 2928 \text{ Н.}$$

«Сила, прикладываемая к основанию призмы:

$$W_1 = \frac{W}{1 - \frac{3 \cdot l}{H} \cdot f_1}, \quad (32)$$

где  $l$  – вылет призмы, мм;

$H$  – длина направляющих призмы, мм;

$f_1$  – коэффициент трения в направляющих призмы» [3].

$$W_1 = \frac{2928}{1 - \frac{3 \cdot 60}{120} \cdot 0,1} = 3445 \text{ Н.}$$

«С учетом необходимости перемещения двух ползушек, сила, прикладываемая к основанию призмы, определяется выражением:

$$Q = 2 \cdot W_1. \quad (33)» [3]$$

$$Q = 2 \cdot 3445 = 6890 \text{ Н.}$$

Произведем расчет передачи винт-гайка.

«Определение среднего диаметра резьбы производится по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{2 \cdot Q}{\pi \cdot k \cdot [q]}}, \quad (34)$$

где  $k$  – отношение высоты гайки к среднему диаметру резьбы;

$[q]$  – допускаемое давление, МПа» [3].

$$d = \sqrt{\frac{2 \cdot 6890}{\pi \cdot 1,2 \cdot 10}} = 21,4 \text{ мм.}$$

Полученное значение округляем до стандартного и подбираем профиль резьбы и ее характеристики.

«Рассчитаем угол подъема резьбы по формуле:

$$\Psi = \arctg\left(\frac{P}{\pi \cdot d}\right), \quad (35)$$

где  $P$  – шаг резьбы, мм» [3].

$$\Psi = \arctg\left(\frac{2}{\pi \cdot 25}\right) = 1^\circ 46'.$$

«Определение эквивалентного напряжения производится по формуле:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_1^2}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{M_{\text{кр}}}{0,2 \cdot d_1^3}\right)^2}, \quad (36)$$

где  $M_{\text{кр}}$  – крутящий момент в опасных сечениях винта, Н·м;

$d_1$  – внутренний диаметр резьбы, мм» [3].

«Крутящий момент определяется по формуле:

$$M_{\text{кр}} = 0,5 \cdot d \cdot Q \cdot \text{tg}(\Psi + \varphi^l), \quad (37)$$

где  $\varphi^l$  – угол трения приведенный, град» [3].

«Угол трения приведенный определяется из выражения:

$$\varphi^l = \frac{\varphi}{\cos(\alpha/2)}, \quad (38)$$

где  $\varphi$  – угол трения, град;

$\alpha$  – угол профиля резьбы, град» [3].

«Проводим расчеты.

$$\varphi^l = \frac{5,71059}{\cos(30^\circ/2)} = 5,91204^\circ.$$

$$M_{\text{кр}} = 0,5 \cdot 25 \cdot 6890 \cdot \text{tg}(1,46^\circ + 5,91204^\circ) = 11488 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot 6890}{\pi \cdot 24,8^2}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{11488}{0,2 \cdot 24,8^3}\right)^2} = 46 \text{ МПа} \gg [3].$$

«Определяем допускаемое напряжение на сжатие:

$$[\sigma_c] = \frac{\sigma_T}{3}, \quad (39)$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести стали 40Х, МПа» [3].

$$[\sigma_c] = \frac{600}{3} = 200 \text{ МПа}.$$

«Гибкость винта определяется из выражения:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot L}{i}, \quad (40)$$

где  $\mu$  – коэффициент приведения длины винта;

$L$  – свободная длина винта, мм;

$i$  – радиус инерции площади винта, мм» [3].

«Радиус инерции площади винта:

$$i = \sqrt{\frac{4 \cdot I}{\pi \cdot d_1^2}}, \quad (41)$$

где  $I$  – приведенный момент инерции, мм<sup>4</sup>;

$d_1$  – наружный диаметр резьбы, мм» [3].

«Приведенный момент инерции используется выражение:

$$I = \frac{\pi \cdot d_1^4}{64} \left( 0,4 + 0,6 \frac{d_1}{d_2} \right), \quad (42)$$

где  $d_2$  – внутренний диаметр резьбы, мм» [3].

«Проводим расчеты.

$$I = \frac{\pi \cdot 24,38^4}{64} \left( 0,4 + 0,6 \frac{26}{24,38} \right) = 18 \cdot 10^3 \text{ мм}^4.$$

$$i = \sqrt{\frac{4 \cdot 18 \cdot 10^3}{\pi \cdot 24,38^2}} = 6,21 \text{ мм}.$$

$$\lambda = \frac{0,7 \cdot 65}{6,21} = 7,33 \text{» [3].}$$

Проведенные проверочные расчеты показали, что используемый в зажимном механизме винт обеспечивает выполнение требуемых силовых параметров проектируемого приспособления.

«Высота гайки:

$$H = k \cdot d_2, \quad (43)$$

где  $k$  – коэффициент высоты» [3].

$$H = 1,2 \cdot 25 = 30 \text{ мм.}$$

«Высота гайки:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot [\sigma_p]} + d^2}, \quad (44)$$

где  $[\sigma_p]$  – допускаемое напряжение гайки на растяжение, МПа» [3].

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 6890}{\pi \cdot 40} + 26^2} = 30 \text{ мм.}$$

«Расчет точности сопряжений выполняется по точности приспособления, которая определяется их выражения:

$$\varepsilon_{\text{пр}} \leq T - K_T \cdot \sqrt{(K_{T1} \cdot \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_{\text{и}}^2 + (K_{T2} \cdot \omega)^2}, \quad (45)$$

где  $T$  – допуск обрабатываемого размера, мм;

$K_T$  – коэффициент поля рассеяния значений составляющих величин от закона нормального распределения;

$K_{T1}$  – коэффициент уменьшения погрешности базирования при работе на настроенном оборудовании;

$\varepsilon_6$  – погрешность базирования, мм;

$\varepsilon_3$  – погрешность закрепления, мм;

$\varepsilon_y$  – погрешность установки, мм;

$\varepsilon_{\text{и}}$  – погрешность от износа установочных элементов, мм;

$K_{T2}$  – коэффициент, учитывающий вклад погрешности обработки в суммарную погрешность;

$\omega$  – экономически эффективная точность обработки, мм» [3].

$$\varepsilon_{\text{пр}} \leq 0,1 - 1,0 \sqrt{(0 \cdot 0)^2 + 0^2 + 0,038^2 + 0,1^2 + (0,6 \cdot 0,12)^2} = 0,03 \text{ мм.}$$

Исходя из количества нормируемых сопряжений, погрешность каждого из них не должна превышать 0,01 мм.

«Конструктивно приспособление состоит из установочных призм, размещенных на корпусе приспособления, упора» [3] и привода, обеспечивающего закрепление заготовки через ползушки. Привод состоит из двух винтов с разным направлением резьбы и гаек, соединенных с ползушками. Винт приводится в действие от электромеханического привода, что обеспечивает механизацию процесса закрепления.

«Конструкция приспособления приведена в графической части работы и в приложении Б «Спецификации к сборочным чертежам»» [11].

### 3.2 Разработка ступенчатого сверла

В ходе анализа результатов нормирования было выявлено, что необходимо усовершенствовать сверлильную операцию, так как при небольшом объеме механической обработки она является одной из самых продолжительных. Анализируя причины этого, приходим к выводу, что причина этого заключается в том, что для получения ступенчатого отверстия применяется обработка за несколько проходов. Устранение данного недостатка возможно путем замены последовательной обработки двух отверстий их одновременным сверлением комбинированным инструментом.

Еще одной проблемой данной операции является глубина отверстия, что приводит к необходимости вывода сверла из зоны резания. Для ее решения применим сверло с одной режущей кромкой без канавок для вывода стружки [9].

«Для определения рабочих диаметров сверла используется выражение:

$$D = D_{min} + \frac{TD}{2}, \quad (46)$$

где  $D_{min}$  – минимальный диаметр отверстия, мм;

$TD$  – допуск на выполняемый размер, мм» [9].

«Диаметр первой ступени.

$$D = 28 + \frac{0,21}{2} = 28,105 \text{ мм} \gg [9].$$

«Диаметр второй ступени.

$$D = 32 + \frac{0,25}{2} = 32,125 \text{ мм} \gg [9].$$

Допуск на расчетный диаметр сверла назначается из условия обеспечения требуемой точности обработки, которая в данном случае соответствует десятому качеству. В соответствии с принятыми нормами проектирования допуск должен соответствовать десятому качеству, что составляет 0,084 мм и 0,1 мм соответственно.

Проблему увеличения стойкости сверла решим путем применения в его конструкции режущих пластин из сплава T14K8.

«Расчет хвостовика выполняется по формуле:

$$d = \frac{6 \cdot \mu_{\text{ср}} \cdot \sin \theta}{\mu \cdot P_0 \cdot (1 - 0,04 \cdot \Delta \theta)}, \quad (47)$$

где  $\mu_{\text{ср}}$  – момент сопротивления силам резания, Н·м;

$\theta$  – угол конуса, град;

$\mu$  – коэффициент трения на поверхности контакта;

$P_0$  – осевая сила, Н;

$\Delta \theta$  – допуск угла конуса, град» [9].

$$d = \frac{6 \cdot 3,47 \cdot \sin 1^\circ 30'}{0,1 \cdot 34,1 \cdot (1 - 0,04 \cdot 5)} = 20,79 \text{ мм.}$$

«Конструкция сверла представлена на чертеже графической части работы и в приложении Б «Спецификации к сборочным чертежам»» [9].

В данном разделе разработаны специальные технические средства оснащения, что позволило снизить время проведения фрезерно-центровальной и сверлильной операций за счет механизации процесса закрепления заготовки и внесения изменений в конструкцию сверла. Первое решение позволило сократить вспомогательное время, а второе сократить на 40% время обработки, сохранив при этом требуемое качество обработки.

## 4 Безопасность и экологичность технического объекта

### 4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта

Конструктивно-технологические характеристики спроектированного технологического процесса приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Конструктивно-технологические характеристики

Операции	Оборудование	Приспособления	Инструменты
фрезерно-центровальная	«фрезерно-центровальный МР-71М» [1]	«тиски самоцентрирующие специальные» [18]	«фреза торцовая насадная Ø100 ГОСТ 9473-80 Т5К10, сверло центровочное специальное Р6М5, зенковка Р6М5» [16]
токарные	«токарно-винторезный 16К20Ф3» [1]	«резец контурный ГОСТ 18879-73 Т5К10» [16]	«центр ГОСТ 8742-75, патрон трехкулачковый ГОСТ 24351-80» [18]
фрезерные	«вертикально-фрезерный 6Р10» [1], «зуборезный N16F Glisson» [1]	«тиски самоцентрирующие» [18], «оправка специальная» [19]	«фреза шпоночная Ø8 ГОСТ 9308-69 Р6М5» [16], «резцовая головка Ø190,5 ГОСТ 11902-77 Р6М5» [16]
сверлильная	«вертикально-сверлильный 2Н135» [1]	«тиски самоцентрирующие» [18]	«сверло пушечное специальное Т14К8» [16]
шлифовальные	«центрошлифовальный 3922» [1], «круглошлифовальный 3М151» [1], «торцекруглошлифовальный 3Т160» [1]	«головка алмазная АГК ГОСТ 2447-82» [16], «круг шлифовальный 1-300х50х127 24А46М9V ГОСТ Р 52781-2007» [16], «круг шлифовальный 1-300х50х127 25А60К7V ГОСТ Р 52781-2007» [16]	«центр неподвижный ГОСТ 8740-75, патрон поводковый специальный» [19]

Кроме указанных в таблице 7 конструктивно-технологических характеристик в технологическом процессе используется легированная

конструкционная сталь, смазочные материалы для технологического оборудования и смазочно-охлаждающие жидкости для охлаждения зоны резания.

## **4.2 Идентификация профессиональных рисков**

Профессиональные риски определяются исходя из приведенных в таблице 7 данных, опасных и/или вредных производственно-технологических факторов определенных по ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация», а также по Приказу Минтруда России от 28.12.2021 N 926 «Об утверждении Рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков».

«В результате выявлены следующие опасные и вредные производственные факторы: опасные и вредные производственные факторы, связанные с силами и энергией механического движения, в том числе в поле тяжести движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые, жидкие или газообразные объекты, наносящие удар по телу работающего (в том числе движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы; разрушающиеся конструкции; обрывающиеся горные породы; падающие деревья и их части; струи и волны, включая цунами; ветер и вихри, включая смерчи и торнадо), производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм работающего человека, опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека, опасные и вредные производственные факторы, связанные с механическими колебаниями твердых тел и их поверхностей, характеризующиеся повышенным уровнем общей вибрации, опасные и вредные производственные факторы,

связанные с акустическими колебаниями в производственной среде и характеризующиеся повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума, монотонность труда, тяжесть трудового процесса, опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, под действие которого попадает работающий» [6].

«Результатом перечисленных выше опасных и вредных производственных факторов является возникновение следующих рисков: удары, порезы, проколы, уколы, затягивания, наматывания, абразивные воздействия подвижными частями оборудования, наезд транспорта на человека, заболевания кожи (дерматиты), ожог при контакте незащищенных частей тела с поверхностью предметов, имеющих высокую температуру, воздействие общей вибрации на тело работника, снижение остроты слуха, тугоухость, глухота, повреждение мембранной перепонки уха, связанные с воздействием повышенного уровня шума и других неблагоприятных характеристик шума, психоэмоциональные перегрузки, контакт с частями электрооборудования, находящимися под напряжением, отсутствие заземления или неисправность электрооборудования, нарушение правил эксплуатации и ремонта электрооборудования, неприменение средств индивидуальной защиты» [6].

### **4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков**

Мероприятия по улучшению условий труда разрабатываются на основе «Приказа Минтруда России № 771н от 29 октября 2021 г. «Об утверждении Примерного перечня ежегодно реализуемых работодателем мероприятий по улучшению условий и охраны труда, ликвидации или снижению уровней профессиональных рисков либо недопущению повышения их уровней» [6]. Средства и методы снижения профессиональных рисков выбираются на основе «Приказа Минтруда России от 29.10.2021 N 776н «Об утверждении Примерного положения о системе управления охраной труда» [6].

«В результате получаем следующие мероприятия по улучшению условий и охраны труда: устройство ограждений элементов производственного оборудования, защищающих от воздействия движущихся частей, а также разлетающихся предметов, включая наличие фиксаторов, блокировок, герметизирующих и других элементов; обеспечение работников, занятых на работах с вредными или опасными условиями труда, а также на работах, производимых в особых температурных и климатических условиях или связанных с загрязнением, специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты, дерматологическими средствами индивидуальной защиты; проведение обучения по охране труда, в том числе обучения безопасным методам и приемам выполнения работ, обучения по оказанию первой помощи пострадавшим на производстве, обучения по использованию (применению) средств индивидуальной защиты, инструктажей по охране труда, стажировки на рабочем месте (для определенных категорий работников) и проверки знания требований охраны труда; проведение обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований); устройство новых и (или) модернизация имеющихся средств коллективной защиты работников от воздействия опасных и вредных производственных факторов; проведение специальной оценки условий труда, выявления и оценки опасностей, оценки уровней профессиональных рисков, реализация мер, разработанных по результатам их проведения; внедрение и (или) модернизация технических устройств и приспособлений, обеспечивающих защиту работников от поражения электрическим током» [6].

Необходимо применить следующие методы и средства снижения профессиональных рисков: «использование блокировочных устройств, применение средств индивидуальной защиты – специальных рабочих костюмов, халатов или роб, исключающих попадание свисающих частей одежды на быстродвижущиеся элементы производственного оборудования» [6]; «использование станков и инструментов для механической обработки

материалов и изделий, сопровождающихся выделением газов, паров и аэрозолей, совместно с системами удаления указанных веществ» [6]; «организация обучения, инструктажей, стажировки, проверки знаний, установка предупреждающих знаков, визуальных и звуковых предупреждающих сигналов, утверждение правил поведения на рабочих местах, правильное применение средств индивидуальной защиты» [6]; «применение вибропоглощения и виброизоляции» [6]; «применение звукоизолирующих ограждений-кожухов, кабин управления технологическим процессом, устройство звукопоглощающих облицовок и объемных поглотителей шума, использование средств индивидуальной защиты» [6]; «проведение специальной оценки условий труда с разработкой и реализацией мероприятий по снижению напряженности трудового процесса» [6]; «изоляция токоведущих частей электрооборудования, применение средств индивидуальной защиты, соблюдение требований охраны труда, применение» [6]; «ограждений, сигнальных цветов, табличек, указателей и знаков безопасности, вывод неисправного электрооборудования из эксплуатации, своевременный ремонт и техническое обслуживание электрооборудования» [6].

Предлагаемые организационно-технические методы и средства защиты обеспечат снижение профессиональных рисков для работников производственного участка.

#### **4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта**

Выбор технических средств и мероприятий по обеспечению пожарной безопасности производится исходя из опасных факторов пожара, которые определяются исходя из класса пожара. «Класс пожара определяем как В, то есть пожары, связанные с воспламенением и горением жидкостей или плавящихся твердых веществ и материалов» [6]. «Основными опасными факторами данного класса пожаров: пламя и искры, тепловой поток,

повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения, пониженная концентрация кислорода, снижение видимости в дыму (в задымленных пространственных зонах). Сопутствующими проявлениями опасных факторов пожара являются: образующиеся в процессе пожара осколочные фрагменты, крупногабаритные части разрушившихся строительных зданий, инженерных сооружений, транспортных средств, энергетического оборудования, технологических установок, производственного и инженерно-технического оборудования, произведенной и/или хранящейся продукции и материалов и иного имущества; вынос (замыкание) высокого электрического напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества; негативные термохимические воздействия, используемых при пожаре огнетушащих веществ, на предметы и людей» [6].

«В соответствии с выявленными опасными факторами возможного пожара предлагается применять следующие технические средства пожаротушения: пожарный щит класса ЩП-А; огнетушители ОП-10, ОВП-10, ОВП-100, ОП-100; мотопомпа пожарная; пожарный извещатель ИП; оповещатель охранно-пожарный звуковой Маяк–220»» [6].

«В качестве мероприятий по обеспечению пожарной безопасности предлагается разработать инструкции по действиям персонала в случае аварийной и чрезвычайной ситуации и проводить инструктажи по пожарной безопасности» [6].

#### **4.5 Обеспечение экологической безопасности объекта**

«Обеспечение экологической безопасности основано на знании негативных факторов, воздействующих на атмосферу, гидросферу и литосферу» [6]. «Для их определения необходимо знать состав отходов и выбросов, образующихся при осуществлении спроектированного

технологического процесса» [6]. «Исходя из особенностей спроектированной технологии, возможно образование следующих отходов и выбросов» [6]. «В гидросферу и литосферу: масла, смазочно-охлаждающие жидкости, смазочные материалы, частицы абразива и стружки, металлический лом, мусор промышленный» [6]. «В атмосферу незначительное количество паров смазочно-охлаждающей жидкости и абразивной пыли» [6].

«Исходя из имеющихся данных по отходам и выбросам, а также ГОСТ Р 53692–2009 «Национальный стандарт Российской Федерации. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы» и ГОСТ 31952–2012 «Устройства водоочистные. Общие требования к эффективности и методы ее определения» разрабатываем мероприятия по обеспечению экологической безопасности» [6]. Основные организационно-технические мероприятия по обеспечению экологической безопасности приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Организационно-технические мероприятия по обеспечению экологической безопасности

Объект воздействия	Отходы и выбросы	Мероприятия и/или технического средства
атмосфера	«пары смазочно-охлаждающей жидкости, абразивная пыль» [6]	«центробежные фильтры» [6]
гидросфера	«масла, смазочно-охлаждающие жидкости, смазочные материалы, частицы абразива и стружки, металлический лом, мусор промышленный» [6]	«комплексная система очистки сточных вод» [6]
литосфера	«масла, смазочно-охлаждающие жидкости, смазочные материалы, частицы абразива и стружки, металлический лом, мусор промышленный» [6]	«сортировка отходов по виду, переработка металлических отходов, утилизация отходов на специальных полигонах» [6]

В данном разделе спроектированная технология изготовления оценена на безопасность и экологичность ее выполнения с учетом применения предлагаемых специальных технических средств. В результате предложен комплекс мер и технических средств, обеспечивающих безопасность и экологичность выполнения технологического процесса.

## 5 Экономическая эффективность работы

Все предыдущие разделы были посвящены совершенствованию технологического процесса изготовления заданной детали. Поэтому в конце бакалаврской работы необходимо провести расчеты, связанные с экономической эффективностью, этих совершенствований.

Для этого, сначала необходимо дать краткое описание, внесенных в технологический процесс, изменений (рисунок 4).

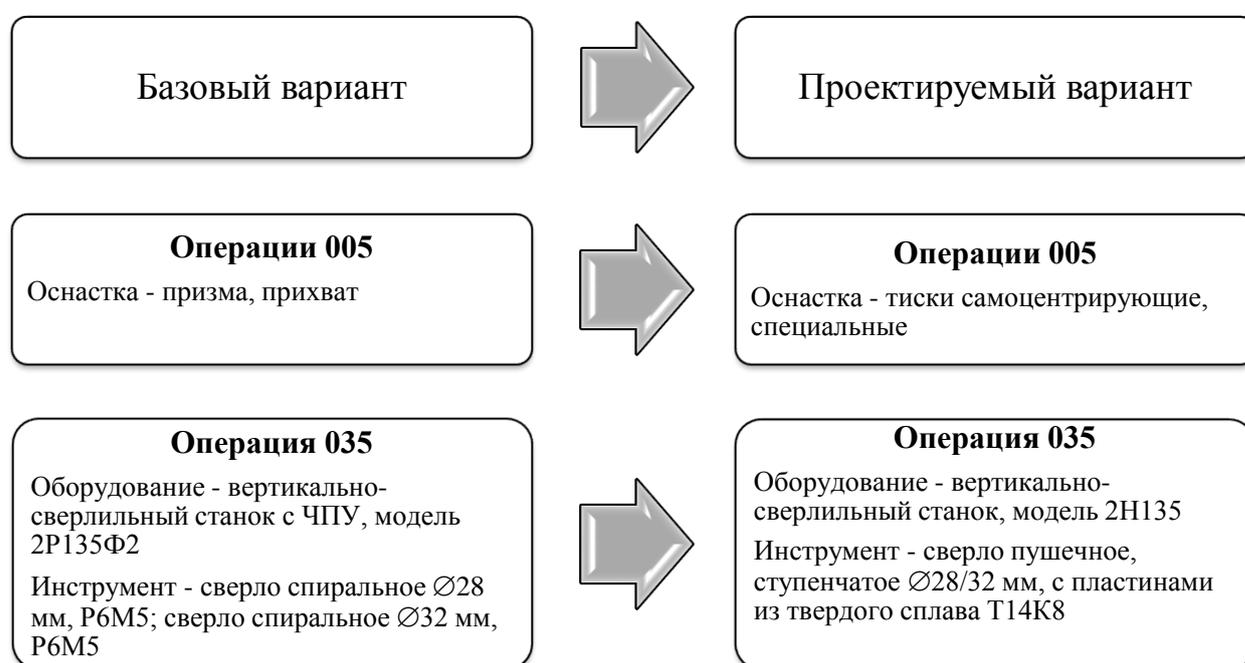


Рисунок 4 – Краткое описание, внесенных в технологический процесс, изменений

Как видно из рисунка 4, благодаря внесенным изменениям удалось достичь сокращения количества операций, и соответственно уменьшения трудоемкости их выполнения. В совокупности, все изменения позволили сократить общую трудоемкость изготовления детали на 1,47 минуты.

Основываясь на описанных изменениях, будет осуществлен расчет значимых показателей, для подтверждения их экономической эффективности. Значимые показатели приведены на рисунке 5.

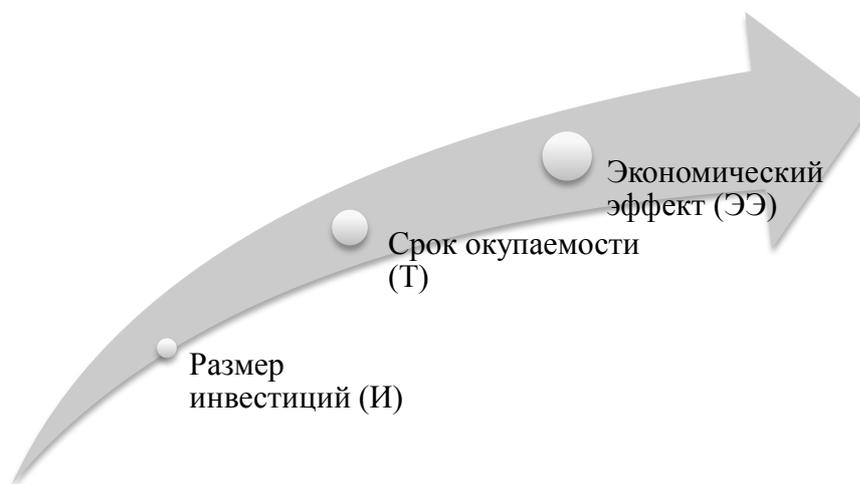


Рисунок 5 – Значимые показатели для подтверждения экономической эффективности изменений

Как видно из рисунка 5, отправной точкой в экономических расчетах является размер инвестиций. Именно этот показатель дает понимание в необходимых финансовых вливаниях в предложенные совершенствования. Для его определения используют специальную методику [12], которая позволяет учитывать все необходимые затраты в этот проект. Итоговый размер инвестиций и его детализация, представлен на рисунке 6.

Как видно из рисунка 6, весомую долю в инвестициях занимают затраты в основное технологическое оборудование ( $K_{ОБ}$ ), которые составляют 62,01 % от размера всех инвестиций. Это оправдано, т.к. стоимость оборудования, его доставка и монтаж всегда были и будут капиталоемкими. Кроме оборудования, предприятию необходимо будет осуществить существенные финансовые вложения в такую статью затрат, как «затраты на проектирование ( $З_{ПР}$ )». Ее доля в общем размере инвестиций составит 21,79 %, а это обосновывается сложностью выполняемых при проектировании работ и их трудоемкостью. Следующей весомой величиной являются затраты на оснастку и инструмент ( $K_{ОИ}$ ), их доля составляет 11,95 %. Все остальные статьи затрат такой весомости в размере инвестиций не имеют, но малыми долями его увеличивают.



Рисунок 6 – Итоговый размер инвестиций и его детализация, руб.

Значение срока окупаемости можно рассчитать по формуле (48):

$$T = \frac{И}{П_{ЧИСТ}} + 1, \quad (48)$$

где « $П_{ЧИСТ}$  – чистая ожидаемая прибыль, руб.» [12].

Этот показатель зависит от разности себестоимости изготовления детали до и после совершенствования технологического процесса ее изготовления ( $C_1 = 124,83$  руб. и  $C_2 = 78,24$  руб., соответственно). Также при его определении учитывается программа выпуска ( $П_{Г} = 7000$  шт.). И кроме всего прочего, обязательно учитываются налоговые выплаты, которые предприятие вынуждено будет заплатить государству за полученную дополнительную прибыль. Значения себестоимости определялись по специальной методике [12] с применением программного обеспечения, такого как Microsoft Excel. Если учесть все вышеперечисленные показатели, то формулу (48) можно представить в развернутом формате в формуле (49):

$$T = \frac{И}{(C_1 - C_2) \cdot П_{Г} \cdot (1 - K_{НАЛ})} + 1 = \frac{И}{П_{ЧИСТ}} + 1, \quad (49)$$

где « $K_{НАЛ}$  – коэффициент налогообложения, который, для юридических лиц, составляет 20 % или в абсолютной величине – 0,2;

$П_{ЧИСТ}$  – чистая прибыль, руб.» [12].

$$T = \frac{398278,02}{(124,83 - 78,24) \cdot 7000 \cdot (1 - 0,2)} + 1 = \frac{398278,02}{260904} + 1 = 2,527 = 3 \text{ года.}$$

Экономический эффект определяется по формуле (50), которая тоже представлена в развернутом виде, чтобы показать наглядность расчетов.

$$ЭЭ = \left( \sum_1^T П_{ЧИСТ} \cdot \frac{1}{(1+E)^t} \right) - И, \quad (50)$$

где « $E$  – процентная ставка на капитал;

$t$  – годы получения прибыли для принятого горизонта расчета» [12].

$$\begin{aligned} ЭЭ &= \left( 260904 \cdot \left( \frac{1}{(1+0,2)^1} + \frac{1}{(1+0,2)^2} + \frac{1}{(1+0,2)^3} \right) \right) - 398278,02 = \\ &= 54390,42 \text{ р.} \end{aligned}$$

Согласно проведенным расчетам, экономический эффект получен, его величина составляет 54390,42 рублей. Поэтому предложенные совершенствования в технологический процесс можно считать целесообразными и обоснованными.

В данном разделе произведена экономическая оценка предлагаемой технологии изготовления конического вала и изменений, внесенных в нее. Установлено, что экономический эффект имеет положительное значение. Все предлагаемые решения признаны эффективными.

## Заключение

Результатом выполнения выпускной квалификационной работы является технология изготовления конического вала, спроектированная на основе типовой технологии изготовления деталей данного класса и ее совершенствовании для максимального снижения затрат на изготовление в заданных производственных условиях. Для этого были решены следующие задачи.

Рассмотрены исходные данные для проектирования и проведен их анализ для определения задач работы, которые необходимо выполнить для достижения ее цели.

Решены стандартные технологические задачи, такие как «проектирование заготовки, разработка плана изготовления, определение технических средств оснащения, определение режимов резания» [11].

«Разработаны специальные технические средства оснащения» [11], что позволило снизить время проведения фрезерно-центровальной и сверлильной операций за счет механизации процесса закрепления заготовки и внесения изменений в конструкцию сверла. Первое решение позволило сократить вспомогательное время выполнения фрезерно-центровальной операции, а второе сократить на 40% время обработки на сверлильной операции, сохранив при этом требуемое качество обработки.

Спроектированная технология изготовления конического вала оценена на безопасность и экологичность ее выполнения с учетом применения предлагаемых специальных технических средств.

Произведена экономическая оценка предлагаемой технологии изготовления конического вала и изменений, внесенных в нее. Установлено, что экономический эффект имеет положительное значение. Все предлагаемые решения признаны эффективными.

## Список используемых источников

1. Балла О.М. Технологии и оборудование современного машиностроения: учебник / О.М. Балла. – Санкт –Петербург: Лань, 2020. – 392 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/143241> (дата обращения: 18.04.2024).

2. Безъязычный В.Ф. Технология машиностроения : учебное пособие / В.Ф. Безъязычный, С.В. Сафонов. – Вологда : Инфра –Инженерия, 2020. – 336 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/148334> (дата обращения: 25.03.2024).

3. Блюменштейн В.Ю. Проектирование технологической оснастки: учебное пособие для вузов / В.Ю. Блюменштейн, А.А. Клепцов. – 4 –е изд., стер. – Санкт –Петербург: Лань, 2023. – 220 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/166346> (дата обращения: 12.04.2024).

4. Бурчаков Ш. А. Технология машиностроения : учебное пособие / Ш. А. Бурчаков. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 320 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/346982> (дата обращения: 29.03.2024).

5. Воронов Д.Ю. Проектирование и производство заготовок изделий машиностроительного производства: учебно–методическое пособие / Д.Ю. Воронов, В.М. Боровков, И.В. Кузьмич. – Тольятти: ТГУ, 2018. –203 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/140032> (дата обращения: 25.03.2024).

6. Горина Л.Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта»: учеб. –метод. пособие / Л.Н. Горина, М.И. Фесина. – Тольятти.: Изд –во ТГУ, 2024. – 22 с.

7. ГОСТ 7505–89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – Введ. 1990 –01 –07. – М.: Изд –во стандартов, 1990. – 83 с.

8. Грубый С. В. Расчет режимов резания для операций механической обработки: учебное пособие / С. В. Грубый. – Москва; Вологда : Инфра – Инженерия, 2021. – 200 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1833110> (дата обращения: 18.03.2024).

9. Зубарев Ю. М. Основы резания материалов и режущий инструмент : учебник / Ю. М. Зубарев, Р. Н. Битюков. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 228 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/207107> (дата обращения: 21.03.2024).

10. Иванов И. С. Технология машиностроения: производство типовых деталей машин: учебное пособие / И.С. Иванов. – Москва: ИНФРА –М, 2022. – 224 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1723512> (дата обращения: 24.03.2024).

11. Клепиков В. В. Технология машиностроения: курсовое проектирование: учебное пособие / В.В. Клепиков, В.Ф. Солдатов. – Москва: ИНФРА –М, 2020. – 229 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1081966> (дата обращения: 26.03.2024).

12. Краснопевцева И.В. Экономика и управление машиностроительным производством: электрон. учеб. –метод. пособие / И.В. Краснопевцева, Н.В. Зубкова. – Тольятти.: ТГУ, 2014. – 183 с. [Электронный ресурс]. – URL: <http://hdl.handle.net/123456789/13> (дата обращения: 28.04.2024).

13. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для вузов / И. А. Иванов, С. В. Урушев, Д. П. Кононов [и др.]; Под редакцией И. А. Иванова и С. В. Урушева. – 4 –е изд., стер. – Санкт –Петербург: Лань, 2022. – 356 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/208667> (дата обращения: 19.04.2024).

14. Расторгуев Д. А. Проектирование технологических операций: электрон. учеб. –метод. пособие / Д. А. Расторгуев ; ТГУ ; Ин –т машиностроения ; каф. «Оборудование и технологии машиностроит. пр –ва». – Тольятти : ТГУ, 2015. – 140 с. [Электронный ресурс]. – URL: <http://hdl.handle.net/123456789/6204> (дата обращения: 11.04.2024).

15. Расторгуев Д.А. Технологическая часть выпускной квалификационной работы машиностроительного направления: электронное учеб. –метод. пособие / Д.А. Расторгуев ; ТГУ ; Ин –т машиностроения ; каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр –ва". – ТГУ. – Тольятти. : ТГУ, 2017. – 34 с. [Электронный ресурс]. – URL: <http://hdl.handle.net/123456789/6204> (дата обращения: 08.04.2024).

16. Справочник конструктора –инструментальщика / В. И. Баранчиков [и др.] ; под общ. ред. В. А. Гречишникова, С. В. Кирсанова. – 2 –е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 2006. – 541 с.

17. Справочник технолога : справочник / А. Г. Суслов, В. Ф. Безъязычный, Б. М. Базров [и др.] ; под общей редакцией А. Г. Суслова. – 2-е изд. – Москва : Машиностроение, 2023. – 800 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/387530> (дата обращения: 08.04.2024).

18. Станочные приспособления: справочник. В 2 т. Т. 1 / редсовет: Б. Н. Вардашкин (пред.) [и др.] ; ред. тома Б. Н. Вардашкин [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1984. – 592 с.

19. Станочные приспособления: справочник. В 2 т. Т. 2 / редсовет: Б. Н. Вардашкин (пред.) [и др.] ; ред. тома Б. Н. Вардашкин [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1984. – 655 с.

20. Харламов Г.А. Припуски на механическую обработку: справочник. / Г.А. Харламов, А.С. Тарапанов. – Электрон. дан. – М. : Машиностроение, 2013. – 256 с.

21. Химический состав и физико-механические свойства стали 20ХГНР [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.lsst.ru/spravochnik-metalloprokata/legirovannaya-stal/stal-20khgnr/> (дата обращения: 23.03.2024).

22. Ertürk S., Kayabaşı O. Investigation of the cutting performance of cutting tools coated with the thermo-reactive diffusion (trd) technique. / IEEE Access. 2019. Т. 7. P. 106824 – 106838.

23. Khalimonenko A.D. Cutting tool for turning large workpieces. / Khalimonenko A.D., Timofeev D.Yu., Golikov T.S. // Journal of Physics:

Conference Series. International Scientific Conference "Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering – APITECH-2019". Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Polytechnical Institute of Siberian Federal University. 2019. P. 44082.

24. Kumar A. Processing techniques to develop metallic materials with superior mechanical properties / Arun Kumar, Pillai U.T.S., Srinivasan A. // Transactions of the Indian Institute of Metals. – 2019. T. 72. № 10. P. 2877 – 2891.

25. Mikołajczyk T. Predicting tool life in turning operations using neural networks and image processing. / Mikołajczyk T., Nowicki K., Bustillo A., Pimenov D.Y. // Mechanical Systems and Signal Processing. 2018. T. 104. P. 503 – 513.

26. Morgan J. Multi-sensor process analysis and performance characterisation in CNC turning –a cyber physical system approach / J Morgan, E. Garret, O. Donnell. // Int J Adv Manuf Technol. – 2017. V.92. P. 855-868.



Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

А	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наименование операции	Обозначение документа									
						Код, наименование оборудования	СМ	проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт
А 19	393311 Штангенциркуль ШЦ-2 ГОСТ 160-80.														
20															
А 21	XX XX XX 015 4110 Токарная														
Б 22	381101 Токарный 16К20Ф3 3 18217 312 1Р 1 1 1 800 1											1,97			
О 23	Точить, последовательно поверхности и торцы 21, 22, 23 в размер $\phi 97^{+0,35}$ ; $\phi 65^{+0,3}$ ; $\phi 82^{+0,35}$ ; $237^{+0,40}$														
О 24	$225^{+0,40}$ ; $240^{+0,40}$														
Т 25	396171 Патрон 3-х кулачковый ГОСТ 24351-80; 392101 Резец контурный ГОСТ18879-73 Т5К10;														
Т 26	393311 Штангенциркуль ШЦ-2 ГОСТ 160-80; 393131 Калибр.														
27															
А 28	XX XX XX 020 4110 Токарная														
Б 29	381101 Токарный 16К20Ф3 3 18217 312 1Р 1 1 1 800 1											1,97			
О 30	Точить, последовательно поверхности и торцы 4, 9, 11, 12, 16, 17, 18 в размер $\phi 41^{+0,10}$ ; $\phi 45,188^{+0,1}$ ;														
О 31	$\phi 38^{+0,1}$ ; $M44^{+0,1}$ ; $28,8^{+0,10}$ ; $14,2^{+0,12}$ ; $3^{+0,040}$														
Т 32	396171 Патрон 3-х кулачковый ГОСТ24351-80; 392101 Резец контурный ГОСТ18879-73 Т30К4; 392101 Резец														
Т 33	канавочный ГОСТ18879-73 Т30К4; 392101 Резец резьбовой ГОСТ18879-73 Т5К10;														
Т 34	393410 Микрометр МК-50 ГОСТ 6507-78.														
35															
А 36	XX XX XX 025 4110 Токарная														
Б 37	381101 Токарный 16К20Ф3 3 18217 312 1Р 1 1 1 800 1											0,98			
О 38	Точить поверхность 23 в размер $\phi 96^{+0,14}$ ; $\phi 64^{+0,12}$ ; $231^{+0,14}$														
Т 39	396171 Патрон 3-х кулачковый ГОСТ24351-80; 392101 Резец контурный ГОСТ18879-73 Т30К4; 393131														
Т 40	Калибр.														
41															
МК															

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

А	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наименование операции	Обозначение документа										
						СМ	проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпоз	Тшт
Б	Код, наименование оборудования					СМ	проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпоз	Тшт
А 69	XX XX XX	030	4262	Фрезерная												
Б 70	381631	Фрезерный	6P10	3	18632	312	1P	1	1	1	800	1				0,63
О 71	Фрезеровать поверхность 10 в размер $8^{+0,10}$ ; $40^{+0,15}$ ; $113^{+0,4}$															
Т 72	396131 Тиски самоцентрирующие ГОСТ 12195-66; 391820 Фреза шпоночная ГОСТ 9308-69 P6M5;															
Т 73	393311 Штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ 160-80; 393400 Калибр.															
74																
А 75	XX XX XX	035	4121	Сверлильная												
Б 76	381213	Вертикально-сверлильный	2Н135	3	15292	312	1P	1	1	1	800	1				1,32
О 77	Сверлить поверхности 31, 32, 33 в размер $\phi 32_{-0,25}$ ; $\phi 28_{-0,21}$ ; $116^{+0,35}$ ; $108^{+0,35}$															
Т 78	396131 Тиски самоцентрирующие специальные; 391267 Сверло специальное Т14К8; 393400 Калибр.															
79																
А 80	XX XX XX	040	4110	Токарная												
Б 81	381101	Токарный	16К20Ф3	3	18217	312	1P	1	1	1	800	1				0,63
О 82	Точить поверхности 28, 29, 30 в размер $\phi 48^{+0,25}$ ; $232^{+0,40}$															
Т 83	396171 Патрон 3-х кулачковый ГОСТ 24351-80; 392101 Резец расточной ГОСТ 18879-73 Т5К10;															
Т 84	393450 Нитромер НМ ГОСТ 160-80.															
Т 85																
А 86	XX XX XX	045	4153	Шлицефрезерная												
Б 87	381572	Шлицефрезерный	5350	3	1228,7	312	1P	1	1	1	800	1				1,12
О 88	Фрезеровать поверхности 5, 6 в размер $\phi 36^{+0,07}$ ; $7^{+0,04}$															
Т 89	396110 Патрон поводковый ГОСТ 2571-71; 391810 Фреза червячная Р9К10 ГОСТ 9324-80;															
Т 90	393180 Калибр шлицевой.															
91																
МК																

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

A	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наименование операции	Обозначение документа										
						СМ	проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпоз	Тшт
А 94	XX XX XX	050	4162	Зуборезная												
Б 95	381572	Зуборезный N16F	3	12287	312	1P	1	1	1	800	1					7,1
О 96	Обрабатывать поверхности 24, 25 в размер 9-й степени точности.															
Т 97	3961710 правка цанговая; 392462 Головка зуборезная Р6М5 ГОСТ 11902-77; 394500 Прибор специальный.															
98																
А 99	XX XX XX	055	4162	Зуборезная												
Б 100	381572	Зуборезный N16F	3	12287	312	1P	1	1	1	800	1					9,1
О 101	Обрабатывать поверхность 25 в размер 7-й степени точности.															
Т 102	3961710 правка цанговая; 392462 Головка зуборезная Р6М5 ГОСТ 11902-77; 394500 Прибор специальный.															
103																
А 104	XX XX XX	060		Термическая												
105																
А 106	XX XX XX	065	4142	Центрошлифовальная												
Б 107	381317	Центрошлифовальный 3922	3	18873	312	1P	1	1	1	800	1					0,75
О 108	Шлифовать поверхности 2, 26 в размер $\phi 28^{+0,033}$ ; $\phi 48^{+0,033}$ .															
Т 109	396131 Тиски самоцентрирующие ГОСТ 12195-66; 397120 Круг шлифовальный АГК ГОСТ 2447-82;															
Т 110	393120 Калибры.															
111																
А 112	XX XX XX	070	4131	Круглошлифовальная												
Б 113	381311	Круглошлифовальный 3М151	3	18873	312	1P	1	1	1	800	1					2,28
О 114	Шлифовать поверхность 4 в размер $\phi 40,5^{+0,033}$ .															
Т 115	396110 Патрон поводковый ГОСТ 2571-71; 39810 Круг шлифовальный; 394300 Скоба рычажная															
116																
МК																

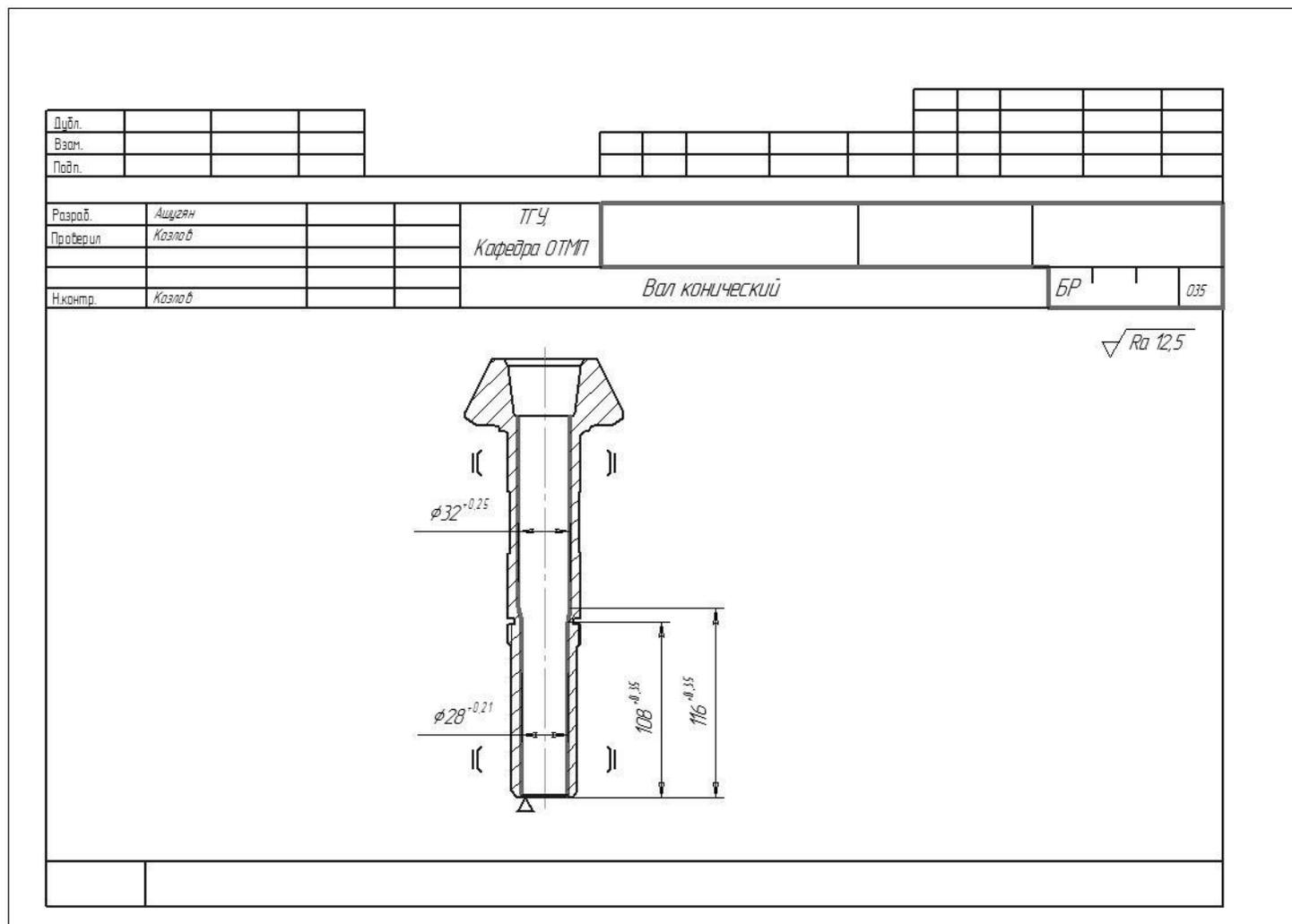
Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

А	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наименование операции	Обозначение документа									
						Код, наименование оборудования	СМ	проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт
А 117	XX	XX	XX	075	4130	Торцевкруглошлифовальная									
Б 118	381311	Торцевкруглошлифовальный ЗТ160 З				18873	312	1Р	1	1	1	800	1	1,1	
О 119	Шлифовать поверхности 12, 16, 18 в размер $\phi 44,150^{+0,039}$ ; $28,25^{+0,1}$														
Т 120	396110 Патрон поводковый ГОСТ2571-71; 39810 Круг шлифовальный; 394300 Скоба рычажная.														
121															
А 122	XX	XX	XX	080	4130	Торцевкруглошлифовальная									
Б 123	381311	Торцевкруглошлифовальный ЗТ160 З				18873	312	1Р	1	1	1	800	1	1,26	
О 124	Шлифовать поверхности 12, 16, 18 в размер $\phi 44,002^{+0,010}$ ; $28^{+0,1}$														
Т 125	396110 Патрон поводковый ГОСТ2571-71; 39810 Круг шлифовальный; 394300 Скоба рычажная.														
126															
А 127	XX	XX	XX	085	4131	Круглошлифовальная									
Б 128	381311	Круглошлифовальный ЗМ151				3	18873	312	1Р	1	1	1	800	1	2,19
О 129	Шлифовать поверхность 4 в размер $\phi 40^{+0,025}$														
Т 130	396110 Патрон поводковый ГОСТ2571-71; 39810 Круг шлифовальный; 394300 Скоба рычажная														
131															
А 132	XX	XX	XX	090	Маечная										
133															
А 134	XX	XX	XX	095	Контрольная										
135															
136															
137															
138															
139															
МК															

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1



Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

ГОСТ 2.118-82										Форм 1			
Дубл.													
Взам.													
Подп.													
Разраб.	Ашугян												
Проверил	Козлов												
И.контр.	Козлов												
<i>Вал конический</i>										Цех	Уч.	Р.М.	Опер.
													035
Наименование операции		Материал		Твердость		ЕВ	МД	Профиль и размеры			МВ	КОИД	
<i>Сверлильная</i>		<i>20ХГНР ГОСТ 4543-71</i>		<i>НВ 250</i>		<i>166</i>	<i>2,86</i>	<i>#99x269</i>			<i>5,15</i>	<i>1</i>	
Оборудование, устройства ЧПУ		Обозначение программы		то	тв	тге	тип	сож					
<i>2Н135</i>				<i>1,06</i>			<i>2,17</i>	<i>Украина-1</i>					
		пи	о или в	L	r	i	s	p	v				
01	<i>1. Установить заготовку</i>												
Т.02	<i>396131 Тиски самоцентрирующие специальные; 391267 Сверло специальное Т14К8.</i>												
03	<i>2. Сверлить поверхности 31, 32, 33 выдерживая размеры согласно эскиза.</i>												
Р.04		<i>1</i>			<i>16</i>		<i>0,3</i>	<i>750</i>	<i>75</i>				
05	<i>3. Открепить, снять деталь с приспособления, уложить на тележку.</i>												
06													
07													
08													
09													
10													



Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

ГОСТ 2118-82										Форм 1			
Дубл.													
Взам.													
Подп.													
Разраб.	Ашугян												
Проверил	Козлов												
И.контр.	Козлов												
<i>Вал конический</i>										Цех	Уч.	Р.М.	Опер.
													055
Наименование операции		Материал		Твердость	EB	МД	Профиль и размеры			МВ	КОИД		
<i>Зуборезная</i>		<i>20ХГНР ГОСТ 4543-71</i>		<i>HВ 250</i>	<i>166</i>	<i>2,86</i>	<i>#99x269</i>			<i>5,15</i>	<i>1</i>		
Оборудование, устройства ЧПУ		Обозначение программы		то	тв	тге	тип	сож					
<i>N16F</i>				<i>8</i>			<i>9,1</i>	<i>Украина-1</i>					
		пи	о или в	L	r	i	s	p	v				
01	<i>1. Установить заготовку</i>												
Т.02	<i>396171 Оправка цанговая; 392462 Головка зуборезная Р6М5 ГОСТ11902-77.</i>												
0.03	<i>2. Обрабатывать поверхность 25 выдерживая размеры согласно эскиза.</i>												
Р.04		<i>1</i>				<i>0,8</i>	<i>30</i>	<i>90</i>	<i>54</i>				
05	<i>3. Открепить, снять деталь с приспособления, положить на тележку.</i>												
06													
07													
08													
09													
10													





