

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 шестерни привода поворотного приспособления

Обучающийся

А.А. Шильцов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.А. Козлов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

И.В. Резникова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

## Аннотация

В работе рассмотрен один из вариантов технологического процесса изготовления шестерни привода поворотного приспособления в условиях среднесерийного типа производства.

Цель работы заключается в проектировании технологии изготовления шестерни привода на основе типового технологического процесса и повышении ее эффективности за счет устранения недостатков базовой технологии путем проектирования эффективных средств оснащения.

Структура работы включает пять основных разделов. Первый раздел посвящен анализу исходных данных и формулировке задач работы. Каждый из последующих разделов посвящен решению поставленных задач. Во втором разделе решаются «технологические задачи. Производится выбор оптимальной заготовки и ее проектирование, проектирование плана изготовления детали, выбор средств технологического оснащения, расчет режимов резания и нормирование технологических операций» [5]. «В третьем разделе решаются задачи по совершенствованию спроектированной технологии путем проектирования» [5] мембранного патрона и шлифовального круга для шлифовальной операции, что позволило повысить ее эффективность и устранить выявленные в ходе анализа базовой технологии недостатки. В четвертом разделе производится комплексная оценка безопасности и экологичности технического объекта. Выявлены профессиональные риски, действующие на работников производства, разработаны мероприятия по снижению их влияния. Предложены мероприятия по обеспечению пожарной и экологической безопасности на производстве. В пятом разделе произведены расчеты, подтверждающие экономическую эффективность предлагаемых технических решений в условиях среднесерийного типа производства.

«Объем выполненной работы: пояснительная записка 66 страниц, графическая часть 7 листов формата А1» [5].

## Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	5
1.1 Анализ назначения и условий эксплуатации детали.....	5
1.2 Анализ технологичности детали.....	6
1.3 Анализ характеристик типа производства.....	9
1.4 Формулировка задач работы.....	11
2 Разработка технологической части.....	12
2.1 Выбор и проектирование заготовки.....	12
2.2 Проектирование плана изготовления детали.....	20
2.3 Выбор средств технологического оснащения.....	22
2.4 Расчет режимов резания и нормирование.....	24
3 Проектирование специальных средств оснащения.....	28
3.1 Проектирование мембранного патрона.....	28
3.2 Проектирование шлифовального круга.....	35
4 Безопасность и экологичность технического объекта.....	37
4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта.....	37
4.2 Идентификация профессиональных рисков.....	37
4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	39
4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....	42
4.5 Обеспечение экологической безопасности объекта.....	43
5 Экономическая эффективность работы.....	45
Заключение.....	50
Список используемых источников.....	51
Приложение А Технологическая документация.....	54
Приложение Б Спецификации к сборочным чертежам.....	64

## Введение

Поворотное приспособление, применяемое в условиях автоматизированной сборки, оснащается механическим приводом, обеспечивающим процесс изменения положения собираемой сборочной единицы. Основные преимущества механического привода заключаются в компактности, высоких силовых характеристиках и относительной простоте конструкции. Шестерня является частью механического привода поворотного приспособления. Привод является весьма ответственным элементом, так как напрямую влияет на работоспособность всей производственной системы и, следовательно, должен обеспечивать соответствующие своему служебному назначению показатели надежности. Это достигается применением в ходе проектирования привода определенных технических решений, влияющих на параметры поверхностей деталей, входящих в конструкцию. Требуемые параметры поверхностей деталей обеспечиваются технологией их изготовления. Эффективность применяемых технологий определяется, не только возможностью достижения параметров детали, но и экономическими показателями в условиях конкретного типа производства, а также возможностью изготовления всей годовой программы выпуска деталей в строго определенные сроки. Наиболее эффективным решением в данном случае является использование типовых технологических процессов в качестве аналога проектируемого техпроцесса.

Следовательно, цель данной работы заключается в проектировании технологии изготовления шестерни привода поворотного приспособления на основе типового технологического процесса и в повышении ее эффективности за счет устранения недостатков базовой технологии путем проектирования эффективных средств оснащения. При этом необходимо обеспечить выпуск годовой программы выпуска деталей без потери параметров качества изготовления и минимизировать затраты на изготовление.

## **1 Анализ исходных данных**

### **1.1 Анализ назначения и условий эксплуатации детали**

«Служебное назначение шестерни обусловлено конструкцией привода» [5] и заключается в изменении частоты вращения и передачи крутящего момента между валами привода.

В условиях нормальной эксплуатации крутящий момент поступает от ведущего вала через боковые поверхности внутреннего шпоночного паза и передается на ведомый вал исполнительного механизма боковыми поверхностями эвольвенты наружного зубчатого венца. В конструкции привода шестерня устанавливается на ведущий вал по посадке и фиксируется в осевом направлении упором в торец.

Эксплуатационные нагрузки шестерни достаточно значительны по величине, что объясняется значительными передаваемыми крутящими моментами. При этом изменение величины момента происходит резко, что может привести к появлению усталостных трещин. Наиболее подвержены износу поверхности шестерни, контактирующие с шпонкой и поверхности эвольвенты, что объясняется конструктивными особенностями привода и принципами его работы.

Влияние внешних климатических факторов на состояние внешних поверхностей шестерни практически исключено, так как привод является частью поворотного приспособления автоматизированной сборочной системы, работа которой подразумевается в закрытых производственных помещениях со стандартными для них параметрами микроклимата.

Следует учесть, что в производственных технологических процессах используются различные технические жидкости, при контакте с которыми могут возникнуть локальные очаги коррозии, что в целом не повлияет на эксплуатационные характеристики детали.

## 1.2 Анализ технологичности детали

Основными критериями технологичности детали являются: технологичность конструкции, технологичность материала, технологичность механической обработки. Оценку детали на технологичность по данным критериям произведем с использованием методики [5].

Технологичность конструкции детали определяется конфигурацией ее поверхностей, их служебным назначением, а также требованиями к ним. Деталь образована в основном цилиндрическими и плоскими наружными и внутренними поверхностями, получение которых не вызывает затруднений. Имеется ряд более сложных поверхностей. Это поверхности шпоночных пазов и эвольвентные наружные, получение которых требует более сложной кинематики движений.

С целью выявления служебного назначения поверхностей детали произведем процедуру их классификации. Для этого на эскизе детали пронумеруем все поверхности. Результат приведен на рисунке 1. Далее классифицируем поверхности по их назначению. Результат приведен в таблице 1.

Таблица 1 – «Классификация поверхностей» [5]

Вид поверхности	Номер поверхности
«Основные конструкторские базы» [5]	7
«Вспомогательные конструкторские базы» [5]	11, 16, 21, 23
«Исполнительные поверхности» [5]	4, 15
«Свободные поверхности» [5]	все оставшиеся

«Проанализируем полученные результаты» [5]. «Общее количество поверхностей достаточно большое» [5]. «При этом количество ответственных поверхностей, таких как основные конструкторские базы, вспомогательные конструкторские базы и исполнительные поверхности» [5] относительно незначительное. Размеры данных поверхностей соответствуют нормальному

ряду чисел. Все это позволит использовать при проектировании типовые технологические маршруты, что существенно снизит стоимость, как проектирования, так и изготовления.

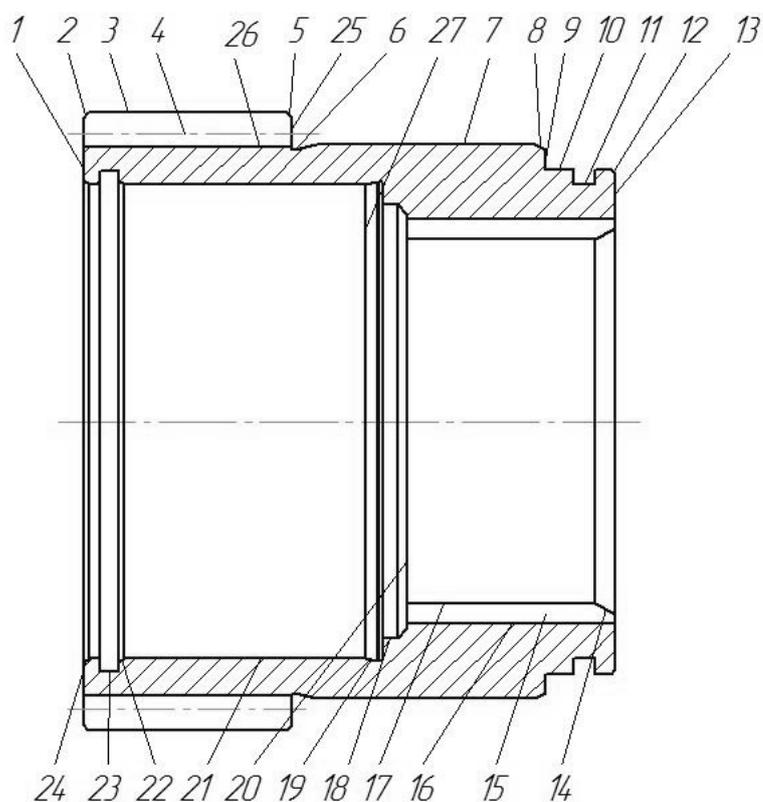


Рисунок 1 – Эскиз шестерни

Анализ показал, что конструкцию детали следует признать технологичной.

Технологичность материала детали определяется его свойствами. Используемая для изготовления рассматриваемой детали сталь 20Х ГОСТ 4543-71 имеет следующие характеристики. «Химический состав: углерод от 0,17% до 0,23%, кремний 0,17% до 0,37%, хром от 0,7% до 1,0%, марганец от 0,5% до 0,8%, никель до 0,3%, , примеси серы и фосфора не более 0,035%, примесь меди не более 0,3%» [22]. «Механические свойства: предел текучести 215 МПа, предел прочности при растяжении 430 МПа,

относительное удлинение 20%, относительное сужение 48%, твердость в состоянии поставки по шкале Бринелля от 123 до 167 единиц» [22].

Проанализируем полученные результаты. Свойства материала позволяют выполнять детали свое служебное назначение после прохождения термической обработки. При этом к данному материалу могут быть применены различные методы термической обработки, что позволит получить требуемую твердость поверхностей без особых затруднений. Заготовку детали, исходя из свойств материала, наиболее рационально получать методами штамповки, так как литейные свойства материала неудовлетворительные. Обрабатываемость материала при данных свойствах можно охарактеризовать как среднюю, так как коэффициент обрабатываемости твердым сплавом составляет 0,95, быстрорежущей сталью 0,85.

Анализ показал, что материал детали следует признать технологичным.

Технологичность механической обработки детали определяется качеством ее поверхностей, их взаимным расположением и удобством базирования и закрепления заготовки при обработке. Исходя из требований чертежа детали, поверхности детали имеют различные показатели точности и шероховатости. Имеется ряд поверхностей, которые требуют применения точных методов обработки для получения требуемой точности и шероховатости. Взаимное расположение поверхностей позволяет выполнять их обработку последовательно за два установка. Точность взаимного расположения поверхностей при этом также обеспечивается. Применение специального режущего инструмента для механической обработки не требуется, что положительно скажется на конечной стоимости механической обработки. Исходя из формы поверхностей детали и их геометрических параметров базирование и закрепление заготовки не вызовет затруднений.

Анализ показал, что механическую обработку детали следует признать технологичной.

### **1.3 Анализ характеристик типа производства**

«Характеристики типа производства определяют дальнейшую стратегию разработки технологического процесса» [13], а также позволяют определить круг задач, которые необходимо решить в ходе дальнейшего проектирования.

Сначала необходимо определить к какому типу относится производство. Исходя из имеющихся данных и рекомендаций [13] для этого используется информация о годовой программе выпуска изделий и массе детали. Годовая программа выпуска деталей согласно исходным данным составляет 6000 штук, а масса детали согласно ее чертежу 0,39 кг. Следовательно, «тип производства определяем как среднесерийный» [13].

«Данный тип производства имеет следующие характеристики» [13].

«Применяется групповая форма организации техпроцесса с выпуском деталей партиями на настроенном оборудовании» [13]. Технология изготовления проектируется на основе типовой технологии путем ее доработки под конструктивно-технологические особенности данной детали. Такое решение существенно сокращает сроки проектирования без потери его качества.

Заготовки деталей выбираются из стандартных методов их получения путем экономического сравнения возможных методов получения с учетом физико-механических свойств применяемого материала, технологических возможностей производства, а также конструктивных особенностей детали. При проектировании заготовки используются стандартные методики проектирования с определением припусков на обработку, в зависимости от требуемой ее точности, расчетом по переходам или статистическим методом.

Проектирование операций технологического процесса основано на применении последовательной структуры. Допускается применение параллельно-последовательной структуры в случае дополнительного обоснования. Следует учесть, что работа ведется на настроенном

оборудовании, поэтому должны быть предусмотрены соответствующие методы его настройки. Определение режимов резания и нормирование операций выполняется расчетно-аналитическим и статистическим методами в зависимости от требуемой точности обработки и сложности структуры операции. Технологическая документация оформляется в виде стандартных документов, то есть маршрутной карты и операционных карт с картами эскизов на наиболее сложные и ответственные операции.

Оборудование используется в зависимости от сложности решаемых задач, геометрии обрабатываемых поверхностей, требуемой точности обработки, требуемой производительности и гибкости. Наиболее перспективным является применение оборудования оснащенного CNC-системами, что в условиях современного производства позволяет обеспечить выполнение всех вышеперечисленных требований.

Станочные приспособления должны реализовывать принятые на операциях схемы базирования, обеспечивать необходимую точность установки, обладать отвечающей используемому оборудованию и требуемой гибкости производства степенью механизации и автоматизации, а также отвечать ряду других требований согласно принятым стандартам. При этом желательно использовать стандартизированные станочные приспособления. Применение специальных станочных приспособлений требует дополнительного экономического обоснования.

Режущий инструмент в первую очередь должен отвечать требованиям универсальности, обеспечивать требуемые параметры качества обработки, обладать необходимой стойкостью. Применение специального режущего инструмента требует дополнительного экономического обоснования.

Средства контроля желательно применять универсальные, способные выдавать результат измерений в абсолютных величинах. Возможно применение средств автоматизации контроля в случае их комплексного использования при контроле других деталей номенклатуры производства.

Применение специальных средств контроля должно быть обосновано техническими или экономическими причинами.

#### **1.4 Формулировка задач работы**

«Анализ имеющихся данных, таких как служебное назначение и условия эксплуатации детали, технологичность детали, характеристики типа производства позволяет сформулировать следующие задачи работы, решение которых позволит достичь цели работы, сформулированной во введении» [5].

«Во-первых, необходимо решить такие задачи как выбор и проектирование заготовки, проектирование плана изготовления детали, выбор средств технологического оснащения, расчет режимов резания и нормирование технологических операций» [5]. В результате решения данных задач разрабатывается технологическая часть работы. Во-вторых, необходимо решить задачи проектирования специальных средств оснащения для операций, требующих технического совершенствования. В результате должен быть решен ряд технических проблем базового технологического процесса, что позволит повысить его эффективность. В-третьих, необходимо провести анализ безопасности и экологичности технического объекта, а также комплекс мероприятий, направленный на устранение выявленных в ходе данного анализа недостатков. В-четвертых, необходимо произвести расчеты экономической эффективности предлагаемого технологического процесса и мероприятий, направленных на его совершенствование.

«Результатом выполнения первого раздела работы стало формулирование задач работы на основе анализа имеющихся данных, таких как служебное назначение и условия эксплуатации детали, технологичность детали, характеристики типа производства» [5].

## 2 Разработка технологической части

### 2.1 Выбор и проектирование заготовки

Выбор метода получения заготовки многофакторная задача. При ее решении необходимо учитывать физико-механические свойства материала детали, технологические возможности производства, а также конструктивные особенности детали. Анализ детали на технологичность позволил выяснить, что в данном случае наиболее приемлемы методы литья в кокиль и горячей штамповки. При этом форма заготовки в обоих случаях будет достаточно близка к форме детали.

«Общие затраты определяются по формуле:

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

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

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

$i$  – индекс варианта получения заготовки» [8].

«Стоимость получения заготовки определяется 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 способа получения заготовки;

$K_T$  – коэффициент точности заготовки;

$K_{сл}$  – коэффициент сложности получения заготовки» [8].

«Масса заготовки определяется по формуле:

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

где  $M_d$  – масса детали, кг;

$K_p$  – коэффициент формы заготовки и способа ее получения» [8].

«Индекс метода получения заготовки принимаем 1 для заготовки, получаемой горячей штамповкой, 2 для заготовки, полученной литьем в кокиль» [8].

«Выполняем расчеты.

$$M_{31} = 0,39 \cdot 1,23 = 0,48 \text{ кг.}$$

$$M_{32} = 0,39 \cdot 1,33 = 0,52 \text{ кг} \gg [8].$$

$$\ll C_{31} = \frac{20000 \cdot 0,48}{1000} \cdot 0,82 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 7,87 \text{ р.}$$

$$C_{32} = \frac{20000 \cdot 0,52}{1000} \cdot 0,82 \cdot 1,0 \cdot 1,2 = 8,53 \text{ р} \gg [8].$$

«Стоимость механической обработки определяется 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;

$K_o$  – коэффициент обрабатываемости материала» [8].

«Коэффициент использования материала определяется по формуле:

$$K_{имi} = \frac{M_d}{M_3}. \quad (5) \gg [8]$$

«Выполняем расчеты.

$$K_{им1} = \frac{0,39}{0,48} = 0,82.$$

$$K_{им2} = \frac{0,39}{0,52} = 0,75.$$

$$C_{\text{обр1}} = \frac{4 \cdot \left(\frac{1}{0,82} - 1\right) \cdot 0,48}{1,1} = 0,38 \text{ р.}$$

$$C_{\text{обр2}} = \frac{4 \cdot \left(\frac{1}{0,75} - 1\right) \cdot 0,52}{1,1} = 0,63 \text{ р.} \text{» [8].}$$

«Выполняем расчеты общих затрат по формуле (1).

$$C_1 = 7,87 + 0,38 = 8,25 \text{ р.}$$

$$C_2 = 8,53 + 0,63 = 9,16 \text{ р.} \text{» [8].}$$

«Приведенные расчеты показали, что метод получения заготовки на горячей штамповкой имеет лучшие экономические показатели. Следовательно, для получения заготовки принимаем данный метод» [8].

После выбора заготовки необходимо провести ее проектирование, которое выполняется в несколько этапов [8]. На первом этапе выполняется расчет припусков на обработку, затем определяются технологические напуски и допуски на размеры, после этого определяются характеристики заготовки и технические требования на ее выполнение.

«Определение припусков на обработку, вне зависимости от принятой методики, основано на знании маршрутов обработки каждой поверхности» [1]. «Решение задачи выбора маршрутов обработки» [1] основано на обеспечении заданных параметров поверхностей при условии минимальных суммарных затрат на их получение [1]. «Сформируем маршруты обработки поверхностей для данной детали с учетом рекомендаций принятой методики (таблица 2)» [1].

Таблица 2 – Маршруты обработки поверхностей

Номер поверхности	Квалитет точности	Шероховатость, мкм	Маршрут обработки
1	14	3,2	«Т-ТО» [1]
2	14	3,2	«ТЧ-ТО» [1]
3	14	3,2	«Т-ТО» [1]
4	6	0,63	«ЗД-ШВ-ТО-ЗШ-ЗШЧ» [1]
5	14	3,2	«ТЧ-ТО» [1]
6	14	3,2	«ТЧ-ТО» [1]
7	6	0,8	«Т-ТЧ-ТО-Ш-ШЧ» [1]
8	14	3,2	«ТЧ-ТО» [1]

Продолжение таблицы 2

Номер поверхности	Квалитет точности	Шероховатость, мкм	Маршрут обработки
9	14	3,2	«Т-ТЧ-ТО» [1]
10	14	3,2	«Т-ТЧ-ТО» [1]
11	14	3,2	«ТЧ-ТО» [1]
12	14	3,2	«ТЧ-ТО» [1]
13	14	3,2	«Т-ТЧ-ТО» [1]
14	14	3,2	«ТЧ-ТО» [1]
15	9	3,2	«Ф-ТО» [1]
16	14	6,3	«Ф-ТО» [1]
17	9	1,6	«Т-ТЧ-ТО-Ш-ШЧ» [1]
18	14	3,2	«ТЧ-ТО» [1]
19	14	3,2	«ТЧ-ТО» [1]
20	14	3,2	«ТЧ-ТО» [1]
21	6	0,8	«Т-ТЧ-ТО-Ш-ШЧ» [1]
22	14	3,2	«ТЧ-ТО» [1]
23	14	3,2	«ТЧ-ТО» [1]
24	14	3,2	«ТЧ-ТО» [1]
25	14	3,2	«Т-ТЧ-ТО» [1]
26	14	3,2	«ЗД-ТО» [1]
27	14	3,2	«Т-ТЧ-ТО» [1]

«Сокращения, принятые в таблице 2: т – черновое точение; тч – чистовое точение; то – термическая обработка; ш – шлифование черновое; шч – шлифование чистовое; ф – фрезерование; зд – зубодолбление; шв – шевингование; зш – зубошлифование; зшч – зубошлифование чистовое» [1].

«В соответствии с принятой методикой проектирования заготовки далее необходимо определить припуски на обработку» [5]. Как отмечалось ранее, для этого используются стандартные методики проектирования расчетом по переходам или статистическим методом в зависимости от требуемой точности обработки.

«Метод определения припусков на обработку по переходам будем использовать для определения припусков на поверхность диаметром  $55k6(+0.021_{+0.002})$  мм» [17].

«Минимальный припуск для каждого перехода рассчитывается по формуле:

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

где  $a$  – величина дефектного слоя, мм;

$\Delta$  – величина суммарных пространственных отклонений, мм;

$\varepsilon$  – величина погрешности установки заготовки, мм;

$i$  – индекс текущего перехода;

$i - 1$  – индекс предыдущего перехода» [17].

«Величина дефектного слоя рассчитывается по формуле:

$$a = Rz + h, \quad (7)$$

где  $Rz$  – среднеарифметическая величина микронеровностей профиля поверхностного слоя, мм;

$h$  – глубина дефектного слоя образовавшегося от предыдущей обработки, мм» [17].

«Величина суммарных пространственных отклонений определяется по формуле:

$$\Delta = 0,25 \cdot Td, \quad (8)$$

где  $Td$  – поле допуска выполняемого размера, мм» [17].

$$\ll z_{1min} = a_0 + \sqrt{\Delta_0^2 + \varepsilon_1^2} = 0,300 + \sqrt{0,300^2 + 0,025^2} = 0,601 \text{ мм.}$$

$$z_{2min} = a_1 + \sqrt{\Delta_1^2 + \varepsilon_2^2} = 0,200 + \sqrt{0,075^2 + 0,025^2} = 0,438 \text{ мм.}$$

$$z_{3min} = a_{T0} + \sqrt{\Delta_{T0}^2 + \varepsilon_3^2} = 0,025 + \sqrt{0,030^2 + 0,012^2} = 0,282 \text{ мм.}$$

$$z_{4min} = a_3 + \sqrt{\Delta_3^2 + \varepsilon_4^2} = 0,150 + \sqrt{0,012^2 + 0,012^2} = 0,167 \text{ мм} \gg [17].$$

«Определение максимальных припусков производится по формуле:

$$z_{i max} = z_{i min} + 0,5 \cdot (Td_{i-1} + Td_i), \quad (9)$$

где  $Td_i$  – допуски на выполнение размера на текущем переходе, мм;

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

$$\begin{aligned} \ll z_{1 \max} &= z_{1 \min} + 0,5 \cdot (Td_0 + Td_1) = 0,601 + 0,5 \cdot (1,2 + 0,30) = \\ &= 1,351 \text{ мм.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z_{2 \max} &= z_{2 \min} + 0,5 \cdot (Td_1 + Td_2) = 0,438 + 0,5 \cdot (0,30 + 0,12) = \\ &= 0,648 \text{ мм.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z_{3 \max} &= z_{3 \min} + 0,5 \cdot (Td_{\text{то}} + Td_3) = 0,282 + 0,5 \cdot (0,160 + 0,046) = \\ &= 0,385 \text{ мм.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z_{4 \max} &= z_{4 \min} + 0,5 \cdot (Td_3 + Td_4) = 0,167 + 0,5 \cdot (0,046 + 0,019) = \\ &= 0,200 \text{ мм} \gg [17]. \end{aligned}$$

«Определение средних припусков производится по формуле:

$$z_{\text{ср}i} = 0,5 \cdot (z_{i \max} + z_{i \min}). \quad (10) \gg [17]$$

$$\ll z_{\text{ср}1} = 0,5 \cdot (z_{1 \max} + z_{1 \min}) = 0,5 \cdot (1,351 + 0,601) = 0,976 \text{ мм.}$$

$$z_{\text{ср}2} = 0,5 \cdot (z_{2 \max} + z_{2 \min}) = 0,5 \cdot (0,648 + 0,438) = 0,543 \text{ мм.}$$

$$z_{\text{ср}3} = 0,5 \cdot (z_{3 \max} + z_{3 \min}) = 0,5 \cdot (0,385 + 0,282) = 0,334 \text{ мм.}$$

$$z_{\text{ср}4} = 0,5 \cdot (z_{4 \max} + z_{4 \min}) = 0,5 \cdot (0,200 + 0,167) = 0,184 \text{ мм} \gg [17].$$

«Минимальный операционный размер рассчитывается по формуле:

$$d_{(i-1)\min} = d_{i \min} + 2 \cdot z_{i \min}. \quad (11) \gg [17]$$

«Для перехода предшествующего термическому переходу минимальный диаметр рассчитывается по формуле:

$$d_{(\text{то}-1)\min} = d_{(i-1)\min} \cdot 0,999. \quad (12) \gg [17]$$

«Максимальный операционный размер рассчитывается по формуле:

$$d_{(i-1)max} = d_{(i-1)min} + Td_{i-1}. \quad (13)» [17]$$

«Средний операционный размер рассчитывается по формуле:

$$d_{i\text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{i\text{ max}} + d_{i\text{ min}}). \quad (14)» [17]$$

$$d_{4min} = 55,002 \text{ мм.}$$

$$d_{4max} = 55,021 \text{ мм.}$$

$$d_{4\text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{4max} + d_{4min}) = 0,5 \cdot (55,021 + 55,002) = 55,012 \text{ мм.}$$

$$d_{3min} = d_{4min} + 2 \cdot z_{4min} = 55,002 + 2 \cdot 0,167 = 55,336 \text{ мм.}$$

$$d_{3max} = d_{3min} + Td_3 = 55,336 + 0,046 = 55,382 \text{ мм.}$$

$$d_{3\text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{3max} + d_{3min}) = 0,5 \cdot (55,382 + 55,336) = 55,359 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{ТО} min} = d_{3min} + 2 \cdot z_{3min} = 55,336 + 2 \cdot 0,282 = 55,900 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{ТО} max} = d_{\text{ТО} min} + Td_{\text{ТО}} = 55,900 + 0,160 = 56,060 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{ТО} \text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{\text{ТО} max} + d_{\text{ТО} min}) = 0,5 \cdot (56,060 + 55,900) = \\ = 55,980 \text{ мм.}$$

$$d_{2min} = d_{\text{ТО} min} \cdot 0,999 = 56,060 \cdot 0,999 = 56,004 \text{ мм.}$$

$$d_{2max} = d_{2min} + Td_2 = 56,004 + 0,120 = 56,124 \text{ мм.}$$

$$d_{2\text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{2max} + d_{2min}) = 0,5 \cdot (56,124 + 56,004) = 56,064 \text{ мм}$$

$$d_{1min} = d_{2min} + 2 \cdot z_{2min} = 56,004 + 2 \cdot 0,438 = 56,880 \text{ мм.}$$

$$d_{1max} = d_{1min} + Td_1 = 56,880 + 0,300 = 57,180 \text{ мм.}$$

$$d_{1\text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{1max} + d_{1min}) = 0,5 \cdot (57,180 + 56,880) = 57,030 \text{ мм.}$$

$$d_{0min} = d_{1min} + 2 \cdot z_{1min} = 56,880 + 2 \cdot 0,601 = 58,082 \text{ мм.}$$

$$d_{0max} = d_{0min} + Td_0 = 58,082 + 1,200 = 59,282 \text{ мм.}$$

$$d_{0\text{ ср}} = 0,5(d_{0max} + d_{0min}) = 0,5(59,282 + 58,082) = 58,682 \text{ мм}» [17].$$

«Общий минимальный припуск рассчитывается по формуле:

$$2z_{min} = d_{0\ min} - d_{4\ max}. \quad (15)» [17]$$

« $2z_{min} = 58,082 - 55,021 = 3,061$  мм» [17].

«Общий максимальный припуск рассчитывается по формуле:

$$2z_{max} = 2z_{min} + Td_0 + Td_4. \quad (16)» [17]$$

« $2z_{max} = 3,061 + 1,2 + 0,019 = 4,28$  мм» [17].

«Общий средний припуск рассчитывается по формуле:

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

« $2z_{cp} = 0,5 \cdot (3,061 + 4,28) = 3,671$  мм» [17].

«Определение припусков на остальные поверхности ведем статистическим методом» [20]. В этом случае величина минимального припуска определяется исходя из метода обработки и номинального размера поверхности. Величина максимального припуска и остальные параметры определяются аналогично предыдущей методике. «Результаты определения припусков с использованием данной методики приведены в таблице 3» [20].

Таблица 3 – Припуски на обработку поверхностей детали

Номер поверхности	Метод обработки	Минимальный припуск, мм	Максимальный припуск, мм
1, 13	точение черновое	1,0	1,75
	точение чистовое	0,25	0,46
3	точение черновое	0,75	1,55
	точение чистовое	0,23	0,44
4	зубодолбление	0,6	1,29
	шевингование	0,3	0,44
	зубошлифование черновое	0,18	0,27
	зубошлифование чистовое	0,08	0,17
10	точение черновое	0,6	1,325
	точение чистовое	0,10	0,275
17	точение черновое	0,60	1,325

### Продолжение таблицы 3

Номер поверхности	Метод обработки	Минимальный припуск, мм	Максимальный припуск, мм
–	точение чистовое	0,10	0,275
	шлифование	0,15	0,231
20	точение черновое	0,5	1,205
	точение чистовое	0,3	0,474
21	точение черновое	0,55	0,725
	точение чистовое	0,10	0,275
	шлифование	0,125	0,195
	шлифование чистовое	0,03	0,058
25	точение черновое	1,0	1,705
	точение чистовое	0,25	0,397

Затем определяются технологические напуски и допуски на размеры, а также характеристики заготовки и технические требования на ее выполнение. «Для этого используются данные» [7]. «Получаем следующие параметры заготовки: класс точности Т4, группа стали М1, степень сложности заготовки С2, исходный индекс И9, штамповочные уклоны  $7^\circ$ , радиусы скруглений 3 мм, допустимые значения остаточного облоя не более 1,2 мм, concentricity отверстий 1,0 мм» [7].

### 2.2 Проектирование плана изготовления детали

«План изготовления является графическим отражением технологии изготовления детали» [11]. «В ходе анализа типа производства выяснено, что технологию изготовления рекомендуется разрабатывать на основе типовых технологических процессов» [11]. Следует учитывать, что точность обработки достигается предварительной настройкой оборудования на размер. Основой плана изготовления является маршрут изготовления детали, который в соответствии с характеристиками типа производства проектируется на основе типовых маршрутов [11] путем их модификации согласно требованиям рассматриваемой детали. Технологический маршрут изготовления детали приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Технологический маршрут изготовления детали

Операция	Метод обработки	Обрабатываемые поверхности
005 Токарная	точение	1, 3, 7, 10, 13, 17, 18, 20, 21, 25
010 Токарная	точение	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25
015 Долбежная	долбление	15, 16
020 Зубодолбежная	зубодолбление	4, 26
025 Зубофасочная	фрезерование	–
030 Шевинговальная	шевингование	4
035 Термическая	закалка, отпуск	все
040 Круглошлифовальная	шлифование	7
045 Внутришлифовальная	шлифование	17, 21
050 Круглошлифовальная	шлифование	7
055 Внутришлифовальная	шлифование	21
060 Зубошлифовальная	шлифование	4
065 Зубошлифовальная	шлифование	4
070 Моечная	мойка	все
075 Контрольная	контроль	все

«Разработка операционных эскизов предусматривает выполнение эскиза операции с указанием на нем обрабатываемых поверхностей, схем базирования и операционных размеров. Схемы базирования разрабатываются исходя из необходимости соблюдения принципов единства и постоянства баз, а также конструктивных особенностей детали и особенностей простановки конструкторских размеров» [15]. Технические требования назначаются исходя из номинальных размеров обрабатываемых поверхностей, статистической точности обработки на рассматриваемой операции и дополнительных погрешностей, возникающих вследствие особенностей принятой на операции схемы базирования [16].

Результатом проектирования плана изготовления детали является чертеж, приведенный в графической части работы. Так же результаты проектирования плана изготовления частично отражены в Приложении А «Технологическая документация».

### 2.3 Выбор средств технологического оснащения

Средства технологического оснащения включают в себя «оборудование, режущий инструмент, технологическую оснастку и средства контроля» [13]. «При выборе средств технологического оснащения следует» [13] руководствоваться результатами анализа типа производства и нижеследующими соображениями.

Оборудование должно обеспечивать возможность его настройки на заданные размеры. Согласно минимальным требованиям станки должны иметь полуавтоматический цикл работы. Предпочтительным является использование станков, оснащенных системами числового управления. Оборудование дополнительно может оснащаться средствами активного контроля и адаптивного управления. Приемлемым является использование универсальных и специализированных станков.

Режущий инструмент должен обеспечивать точность обработки и качество обработки поверхности, иметь требуемую стойкость, быть быстропереналаживаемым. Желательно использование универсального режущего инструмента. «В обоснованных случаях допускается применение специализированного и реже специального режущего инструмента» [13].

Технологическая оснастка должна обеспечивать требуемую точность закрепления, требуемое усилие закрепления, реализацию теоретической схемы базирования, быть переналаживаемой, отвечать требованиям надежности, долговечности и эргономичности. Желательно использование универсальной механизированной оснастки. Допускается использование универсально-сборной оснастки и реже специальной.

Средства контроля должны отвечать требованиям точности измерений, универсальности и выдавать результаты в требуемом виде. Желательно использование универсальных средств контроля, выдающих результат измерений в абсолютных величинах.

«Выбор средств технологического оснащения осуществим по данным

справочников и литературных источников [3], [4], [9], [18], [19], [21]. Выбор средств технологического оснащения приведен в таблице 5» [5].

Таблица 5 – Средства оснащения технологического процесса

Операция	Оборудование	Станочные приспособления	Режущие инструменты	Контрольные средства
005 Токарная	«токарный с ЧПУ 16К20Ф3» [21]	«патрон трехкулачковый ГОСТ 2675-80» [18]	«резец контурный ГОСТ18879-73» [9]	«штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ166-89» [3]
010 Токарная	«токарно-винторезный 16К20Ф3» [21]	«патрон трехкулачковый ГОСТ 2675-80» [18]	«резец контурный ГОСТ 18879-73, резец канавочный ГОСТ 18879-73» [9]	«микрометр МК-80 ГОСТ6507-90, нутромер НМ-50 ГОСТ10-88» [3]
015 Долбежная	долбежный 7А412	приспособление специальное	долбяк ГОСТ 10046-82	шаблон
020 Зубодолбежная	зубодолбежный 5140	приспособление специальное	долбяк зуборезный ГОСТ 9323-80	шаблон
025 Зубофасочная	зубофасочный ВС-320А	«патрон поводковый ГОСТ 2571-71» [18]	фреза специальная	шаблон
030 Шевинговальная	зубошевинговальный 5715	«патрон поводковый ГОСТ 2571-71» [18]	шевер дисковый Ø180 ГОСТ 8570-75	шаблон
035 Термическая	печь	–	–	–
040 Круглошлифовальная	«круглошлифовальный 3А161» [21]	«патрон мембранный специальный» [18]	«круг шлифовальный 1-500x45x305 23А46N8V 30м/с1А ГОСТ 52781-2007» [4]	«скоба рычажная СР ГОСТ 11098-75» [3]
045 Внутришлифовальная	«внутришлифовальный 3К228Б» [21]	«патрон мембранный специальный» [18]	«круг тип 1-32x40x10 23А46N8V 30м/с1А ГОСТ 52781-2007» [4]	«скоба рычажная СР ГОСТ 11098-75» [3]
050 Круглошлифовальная	круглошлифовальный 3А161	«патрон мембранный специальный» [18]	«круг 1-500x45x305 24А60М5V 30м/с1А ГОСТ 52781-2007» [4]	«скоба рычажная СР ГОСТ 11098-75» [3]

## Продолжение таблицы 5

Операция	Оборудование	Станочные приспособления	Режущие инструменты	Контрольные средства
055 Внутришлифовальная	«внутришлифовальный 3К228Б» [21]	«патрон мембранный специальный» [18]	«круг 1-32x40x10 24A60M5V 30м/с1А ГОСТ 52781-2007» [4]	«скоба рычажная СР ГОСТ 11098-75» [3]
060 Зубошлифовальная	зубошлифовальный 5В832	«патрон мембранный специальный» [18]	«круг 3-80x10x20 24A80M5V 30м/с1А ГОСТ 52781-2007» [4]	«шаблон» [3]
065 Зубошлифовальная	зубошлифовальный 5В832	«патрон мембранный специальный» [18]	«круг шлифовальный 3-80x10x20 25A90K5V 30м/с1А ГОСТ 52781-2007» [4]	«шаблон» [3]
070 Моечная	«моечная машина» [21]	–	–	–
075 Контрольная	«стол контрольный» [21]	–	–	–

«Представленные в таблице 5 средства оснащения технологического процесса заносятся в соответствующую технологическую документацию» [5]: план изготовления, технологические наладки, маршрутные карты и операционные карты. Более подробно данная технологическая документация приведена в графической части работы, а также в приложении А «Технологическая документация».

### 2.4 Расчет режимов резания и нормирование

Заключительным этапом проектирования технологических операций является расчет режимов резания на их выполнение и нормирование. «Расчет режимов резания выполняется на основе расчетно-аналитического метода [18] для ответственных операций и опытно-статистического метода [16] для всех остальных» [13]. «Нормирование операций осуществляется на основе

расчетно-аналитического метода [14], в обоснованных случаях допускается применение метода хронометража» [13].

Ниже приведены основные положения предлагаемых методик расчета режимов резания и нормирования технологических операций.

«Скорость резания определяется по формуле:

$$V = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y}, \quad (18)$$

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» [14].

«Далее определяется частота вращения шпинделя инструмента или заготовки по формуле:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d}, \quad (19)$$

где  $d$  – диаметр обработки, мм» [14].

«С учетом характеристик оборудования, определяется фактическая скорость резания:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}. \quad (20)» [14]$$

«Нормирование технологических операций заключается в определении основного времени на обработку:

$$T_0 = \frac{L_{p.x}}{S \cdot n}, \quad (21)$$

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

$S$  – подача, мм/об» [14].

«Длина рабочего хода определяется по формуле:

$$L_{р.х.} = l_1 + l_{рез} + l_2, \quad (22)$$

где  $l_1$  – длина врезания, мм.;

$l_{рез}$  – длина резания, мм.;

$l_2$  – длина перебега, мм» [14].

«Результаты расчета режимов резания и нормирования технологических операций представлены в таблице 6» [5].

Таблица 6 – Режимы выполнения операций и их нормирование

Операция	Переход	Подача, мм/об	Скорость резания, м/мин	Частота вращения, об/мин	Рабочий ход, мм	Основное время, мин
005	1	0,3	236	1250	65	0,17
	2	0,3	236	1250	23	0,06
	3	0,3	236	1250	52	0,14
	4	0,3	236	1250	56	0,15
010	1	0,1	301	1600	65	0,41
	2	0,1	301	1600	5	0,04
	3	0,1	301	1600	23	0,15
	4	0,1	301	1600	52	0,33
	5	0,1	301	1600	5	0,04
	6	0,1	301	1600	56	0,34
015	1	0,25	20	100	22	0,58
020	1	0,3	25	250	22	0,8
025	1	0,3	35	600	22	0,53
030	1	120	12	260	22	0,92
040	1	0,013	26	368	25	0,65
045	1	0,009	26	300	21	0,82
	2	0,009	26	300	30	0,89
050	1	0,008	30	368	22	0,87
055	1	0,003	30	300	30	1,06
060	1	0,01	250	1500	21	0,95
065	1	0,008	250	1500	21	1,12

«Представленные в таблице 6 режимы резания и результаты нормирования технологических операций заносятся в технологические наладки, маршрутные карты и операционные карты» [5]. Более подробно данная технологическая документация приведена в графической части работы, а также в приложении А «Технологическая документация». Анализ полученных данных по нормированию позволяет сделать вывод о том, что в спроектированном технологическом процессе большой объем шлифовальных операций, на которые затрачивается большое количество времени. В связи с этим следует рассмотреть возможность совершенствования данных операций.

Результатом выполнения данного раздела стало решение таких вопросов как «выбор и проектирование заготовки, проектирование плана изготовления детали, выбор средств технологического оснащения, расчет режимов резания и нормирование технологических операций» [5]. Как следствие, выполнение данного раздела позволило разработать технологию изготовления детали.

### 3 Проектирование специальных средств оснащения

#### 3.1 Проектирование мембранного патрона

В базовом технологическом процессе при выполнении шлифовальной чистовой операции по обработке наружной цилиндрической поверхности, предлагается использовать стандартный мембранный патрон. Такое решение позволяет реализовать теоретическую схему базирования, требуемую на данной операции, но имеет один существенный недостаток. «Данное приспособление не оснащено механизированным приводом закрепления, что приводит к увеличению времени на снятие и установку заготовки» [5], а также к отсутствию стабильности сил закрепления.

Анализ литературы [10] показал, что для реализации принятой на операции схемы базирования с учетом точности обработки и необходимости механизации процесса закрепления лучше всего подходит мембранный зажимной механизм. Проектирование приспособления произведем с использованием методики проектирования и данных [2].

«Для определения силовых характеристик проектируемого патрона рассчитываем силы, возникающие при обработке заготовки. При шлифовании для этого необходимо определить мощность резания по формуле:

$$N = C_N \cdot v_3^r \cdot s^y \cdot d^q \cdot b^z, \quad (23)$$

где  $C_N$ ,  $r$ ,  $q$ ,  $z$  – поправочные коэффициенты и показатели степеней, учитывающие фактические условия операции;

$v_3$  – скорость заготовки в процессе обработки, м/мин;

$s$  – продольная подача, мм/об;

$d$  – диаметр обрабатываемой поверхности, мм;

$b$  – ширина шлифования, мм» [2].

$$N = 0,36 \cdot 30^{0,35} \cdot 0,01^{0,4} \cdot 1,0^{0,4} \cdot 55^{0,3} = 1,1 \text{ кВт.}$$

«Составляющая силы резания  $P_Z$  рассчитывается по формуле:

$$P_Z = \frac{N \cdot 102 \cdot 60}{21} \cdot K_{PZ}, \quad (24)$$

где  $K_{PZ}$  – коэффициент условий операции» [2].

$$P_Z = \frac{1,1 \cdot 102 \cdot 60}{21} \cdot 1,25 = 321 \text{ Н.}$$

«Составляющая силы резания  $P_Y$  рассчитывается по формуле:

$$P_Y = (1,3 \dots 1,8) \cdot P_Z \cdot K_{PY}, \quad (25)$$

где  $K_{PY}$  – коэффициент условий операции» [2].

$$P_Y = (1,3 \dots 1,8) \cdot 321 \cdot 1,25 = 642 \text{ Н.}$$

«Диаметр ролика определяется по формуле:

$$d = 2 \cdot [r_0 \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \alpha_2) - r_2 \cdot \sin \alpha_2], \quad (26)$$

где  $r_0$  – радиус основной окружности, мм;

$\gamma$  – угол контакта ролика с поверхностью, рад;

$\alpha_2$  – угол смещения, рад;

$r_2$  – расстояние от оси патрона до точки контакта, мм» [2].

«Радиус основной окружности определяется по формуле:

$$r_0 = r_d \cdot \cos \alpha_1, \quad (27)$$

где  $r_d$  – радиус делительной окружности зубчатого венца, мм;

$\alpha_1$  – угол зацепления, град» [2].

$$r_0 = 28,5 \cdot \cos 20^\circ = 26,781 \text{ мм.}$$

«Расстояние от оси патрона до точки контакта определяется по формуле:

$$r_2 = r_B - 0,3 \cdot m, \quad (28)$$

где  $r_B$  – радиус выступов, мм;

$m$  – модуль, мм» [2].

$$r_2 = 29,44 - 0,3 \cdot 1,5 = 28,99 \text{ мм.}$$

«Угол смещения определяется по формуле:

$$\cos \alpha_2 = \frac{r_0}{r_2}. \quad (29)$$

Исходя из выражения (28) определяем искомый угол» [2].

$$\cos \alpha_2 = \frac{26,781}{28,99} = 0,924, \text{ тогда } \alpha_2 = 0,475 \text{ рад.}$$

«Угол контакта ролика с поверхностью определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{\pi}{z} - \left( \frac{s}{2r_d} + \theta_1 \right) + \theta_2, \quad (30)$$

где  $z$  – число зубьев;

$s$  – толщина зуба по дуге делительной окружности, мм;

$\theta_1, \theta_2$  – углы эвольвенты, рад» [2].

«Углы эвольвенты определяется по формуле:

$$\theta_1 = \operatorname{tg} \alpha_1 - \alpha_1, \quad (31)$$

$$\theta_1 = \operatorname{tg} 0,349 - 0,349 = 0,0149 \text{ рад.}$$

$$\theta_2 = \operatorname{tg} \alpha_2 - \alpha_2. \quad (32) \text{» [2]}$$

$$\theta_2 = \operatorname{tg} 0,475 - 0,475 = 0,039196 \text{ рад.}$$

«Тогда угол контакта ролика с поверхностью равен.

$$\gamma = \frac{\pi}{27} - \left( \frac{\pi \cdot 27}{2 \cdot 54} + 0,0149 \right) + 0,039196 = 0,09259 \text{ рад.}$$

Диаметр ролика равен.

$$d = 2 \cdot [26,781 \cdot \text{tg}(0,09259 + 0,475) - 28,99 \cdot \sin 0,475] = 9,87 \text{ мм.}$$

Принимаем ближайшее стандартное большее значение диаметра ролика равное 10 мм» [2].

Выполним проверку на отсутствие кромочного касания.

«Расстояние между осями ролика и патрона определяется по формуле:

$$L^I = \frac{r_0}{\cos \alpha_3}, \quad (33)$$

где  $\alpha_3$  – угол между осью ролика и точкой контакта, рад» [2].

«Угол между осью ролика и точкой контакта определяется по формуле:

$$\alpha_3 = \frac{s}{2 \cdot r_d} + \theta_1 + \frac{d^I}{2 \cdot r_0} - \frac{\pi}{z}. \quad (34) \gg [2]$$

$$\alpha_3 = \frac{\pi \cdot 28,5}{2 \cdot 9,5} + 0,0149 + \frac{10}{2 \cdot 26,781} - \frac{\pi}{38} = 0,069987 \text{ рад.}$$

$$L^I = \frac{26,781}{\cos 0,069987} = 29,77 \text{ мм.}$$

«Радиус расположения точки контакта с зубом по формуле:

$$r_2^I = \sqrt{\left( L^I \cdot \sin \alpha_3 - \frac{d^I}{2} \right)^2 + r_0^2}. \quad (35) \gg [2]$$

$$r_2^I = \sqrt{\left( 29,77 \cdot \sin 0,069987 - \frac{10}{2} \right)^2 + 26,781^2} = 28,91 \text{ мм.}$$

«Расчеты показали, что радиус расположения точки контакта с зубом меньше радиуса окружности выступов» [2].

«Сила закрепления, прикладываемую к одному кулачку, определяется по формуле:

$$Q = \frac{k \cdot M_p}{n \cdot f \cdot b'} \quad (36)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий условия выполнения операции;

$M_p$  – момент резания, Н;

$n$  – количество роликов, шт.;

$f$  – коэффициент трения по поверхностям контакта детали и ролика;

$b$  – половина диаметра базовой поверхности детали, мм» [2].

$$Q = \frac{1,5 \cdot 6355}{3 \cdot 0,15 \cdot 3,6} = 5884 \text{ Н.}$$

«Момент деформации мембраны определяем по формуле:

$$M_{\text{изг}} = \frac{Q \cdot n \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot b'} \quad (37)$$

где  $l$  – расстояние между средней плоскостью мембраны и серединой роликов, мм» [2].

$$M_{\text{изг}} = \frac{5884 \cdot 3 \cdot 50}{2 \cdot \pi \cdot 3,6} = 156 \text{ Н.}$$

«Момент закрепления определяется по формуле:

$$M_3 = 0,58 \cdot M_{\text{изг}}. \quad (38) \gg [2].$$

$$M_3 = 0,58 \cdot 156 = 90,5 \text{ Н.}$$

«Жесткость мембраны определяется по формуле:

$$D = \frac{E \cdot h}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \quad (39)$$

где  $E$  – модуль упругости мембраны, МПа;

$h$  – толщина мембраны, см.

$\mu$  – коэффициент Пуассона» [2].

$$D = \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,7}{12 - (1 - 0,3^2)} = 13462 \text{ Н} \cdot \text{см.}$$

«Минимальный угол разжима мембраны определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{M_3 \cdot b}{D \cdot (1 + \mu)}. \quad (40) \gg [2]$$

$$\varphi = \frac{90,5 \cdot 3,6}{13462 \cdot (1 + 0,3)} = 0,0186 \text{ рад.}$$

«Максимальный угол разжима мембраны определяется по формуле:

$$\varphi' = \varphi + \frac{\delta}{2 \cdot l} + \frac{\Delta}{2 \cdot l}. \quad (41)$$

где  $\delta$  – допуск на диаметр, мм;

$\Delta$  – зазор для закладывания заготовки в кулачки, мм» [2].

$$\varphi' = 0,0186 + \frac{0,025}{2 \cdot 5} + \frac{0,35}{2 \cdot 5} = 0,0561 \text{ рад.}$$

«Усилие, деформирующее мембрану, определяется по формуле:

$$P = \frac{4 \cdot \pi \cdot D \cdot \varphi'}{2,3 \cdot \lg \frac{a}{b}}, \quad (42)$$

где  $a$  – половина диаметра мембраны, мм» [2].

$$P = \frac{4 \cdot \pi \cdot 13462 \cdot 0,0561}{2,3 \cdot \lg \frac{11}{3,6}} = 8506 \text{ Н.}$$

«Напряжение в мембране определяется по формуле:

$$\sigma_2 = \frac{3 \cdot P \cdot (1 + \mu)}{2 \cdot \pi \cdot h^2} \cdot \left( \ln \frac{a}{r_0} + \frac{r_0^2}{4 \cdot a^2} \right), \quad (43)$$

где  $r_0$  – радиус окружности контакта штока и мембраны, мм» [2].

$$\sigma_2 = \frac{3 \cdot 8506 \cdot (1 + 0,3)}{2 \cdot \pi \cdot 0,7^2} \cdot \left( \ln \frac{11}{0,3} + \frac{0,3^2}{4 \cdot 11^2} \right) = 10778 \text{ МПа.}$$

Материал мембраны подбирается исходя из расчетного напряжения.

«Определяем диаметр поршня пневмоцилиндра по формуле:

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{Q}{P}}, \quad (44)$$

где  $P$  – давление воздуха, МПа» [2].

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{5884}{0,4}} = 145 \text{ мм.}$$

Спроектированный патрон следует проверить на соответствие его требуемой точности установки.

«Точность установки в приспособлении определяется по формуле:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2}, \quad (45)$$

где  $\varepsilon_6$  – погрешность базирования от несовпадения измерительной и технологической баз, мм;

$\varepsilon_3$  – погрешность, возникающая при закреплении вследствие смещения измерительных баз, мм;

$\varepsilon_{\text{пр}}$  – погрешность точности изготовления базирующих элементов приспособления, мм» [2].

$$\varepsilon_y = \sqrt{0^2 + 0^2 + 0,003^2} = 0,003 \text{ мм.}$$

Конструкция приспособления состоит из зажимного механизма и силового привода. Зажимной механизм в данном случае мембранный. Такое решение обеспечивает реализацию требуемой схемы базирования и требуемую точность установки [2]. Силовой привод, примененный в конструкции патрона, является стандартным, что существенно удешевит данное приспособление. Конструкция патрона представлена на листе графической части работы и в приложении Б «Спецификации».

### 3.2 Проектирование шлифовального круга

В базовом технологическом процессе одной из основных операций формообразования является шлифовальная обработка. Проведя анализ базовых шлифовальных операций, приходим к следующему выводу. Используемая конструкция шлифовального круга не обеспечивает требуемых условий охлаждения зоны резания и приводит к появлению прижогов на обработанной поверхности, что в условиях среднесерийного типа производства увеличивает затраты на режущий инструмент и приводит к снижению качества обработки. Следовательно, необходимо спроектировать шлифовальный круг с усовершенствованной конструкцией, лишенной данных недостатков. Проектирование круга произведем по методике [10].

«Объем связующего материала определяется по формуле:

$$V_{\text{св}} = -11,5 + 1,5 \cdot N + 2,0 \cdot n, \quad (46)$$

где  $N$  – номер твердости;

$n$  – номер структуры

$$V_{\text{св}} = -11,5 + 1,5 \cdot 6 + 2,0 \cdot 5 = 7,5 \% \text{» [10].}$$

«Объем пор определяется по формуле:

$$V_{\text{св}} = 49,5 - 1,5 \cdot N. \quad (47)$$

$$V_{\text{св}} = 49,5 - 1,5 \cdot 6 = 40,5 \% \text{» [10].}$$

«Исходя из полученных значений, выбираем шлифовальный круг со следующими характеристиками 24A60K7V 30 м/с 1А» [10].

Регулирование температуры в зоне резания предлагается осуществить путем внесения конструктивных изменений в конструкцию шлифовального круга в соответствии с данными [10]. Круг предлагается выполнить с прерывистой зоной резания, сформированной абразивными сегментами с

зазором между ними. При этом сегменты имеют переднюю поверхность, расположенную под углом относительно оси шлифовального круга. Это позволит избежать ударов при вхождении сегмента в зону резания. В винтах для крепления абразивных сегментов предлагается выполнить отверстия для подвода через них смазочно-охлаждающей жидкости.

Спроектированный шлифовальный представлен на соответствующем чертеже графической части работы и в приложении Б «Спецификации к сборочным чертежам».

Результатом выполнения данного раздела стало решение вопросов проектирования специальных средств оснащения, таких как мембранный патрон и шлифовальный круг. В результате решен ряд технических проблем базового технологического процесса. Предлагаемый для шлифовальной операции патрон позволил исключить погрешность базирования, тем самым обеспечив требуемую точность обработки. Предлагаемый шлифовальный круг, позволил увеличить качество и производительность обработки путем улучшения температурного режима в зоне резания. Это позволило повысить эффективность спроектированной технологии.

## **4 Безопасность и экологичность технического объекта**

### **4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта**

Охарактеризуем кратко технологический процесс изготовления шестерни привода поворотного приспособления с целью обеспечения его безопасности и экологичности.

Основные технологические операции: токарная, долбежная, зубодолбежная, зубофасочная, шевинговальная, шлифовальная. Более подробно последовательность операций технологического процесса представлена в таблице 4. Средства оснащения технологического процесса представлены в таблице 5. Работники, задействованные в выполнении технологического процесса: операторы станков с числовым управлением, долбежник, зуборезчики, шлифовщики. Материалы, используемые в ходе выполнения технологического процесса: сталь 20Х ГОСТ 4543–71, синтетические смазочно-охлаждающие жидкости, масла, ветошь.

### **4.2 Идентификация профессиональных рисков**

Идентификация профессиональных рисков основана на знании возникающих опасных и вредных факторов, определяемых по ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» в соответствии с конструктивно-технологическими характеристиками, определенными ранее и выполняется согласно Приказа Минтруда № 776н «методы оценки уровня профессиональных рисков определяются работодателем с учетом характера своей деятельности и сложности выполняемых операций» [6]. Результаты приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Идентификация профессиональных рисков

Перечень оборудования	Реестр опасностей/ рисков	Опасные и вредные производственные факторы
токарный с ЧПУ 16К20Ф3, долбежный 7А412, зубодолбежный 5140, зубофасочный ВС-320А, зубошевинговальный 5715, круглошлифовальный 3А161, внутришлифовальный 3К228Б, зубошлифовальный 5В832	«груз, инструмент или предмет, перемещаемый или поднимаемый, в том числе на высоту» [6]	«действие силы тяжести в тех случаях, когда оно может вызвать падение твердых, сыпучих, жидких объектов на работающего» [6]
	«транспортное средство, в том числе погрузчик» [6]	«движущиеся твердые, жидкие» [6]
	«транспортное средство, в том числе погрузчик» [6]	«или газообразные объекты, наносящие удар по телу работающего» [6]
	«подвижные части машин и механизмов» [6]	«движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые, жидкие или газообразные объекты, наносящие удар по телу работающего» [6]
	«воздействие на кожные покровы смазочных масел» [6]	«производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм работающего человека» [6]
	материал, жидкость или газ, имеющие высокую температуру	«производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм работающего человека» [6]
	«повышенный уровень шума и другие неблагоприятные характеристики шума» [6]	«производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде и характеризующиеся повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума» [6]
	«воздействие общей вибрации» [6]	«производственные факторы, связанные с механическими колебаниями твердых тел и их поверхностей, характеризующиеся повышенным уровнем общей вибрации» [6]
	«физические перегрузки» [6]	«монотонность труда, тяжесть трудового процесса» [6]
	«электрический ток» [6]	«производственные факторы, связанные с электрическим током, под действие которого попадает работающий» [6]

«Количество и состав опасных и вредных производственных факторов физического, химического и психофизиологического воздействия, а также возникающих под их влиянием рисков, воздействующих на работников, задействованных в выполнении технологического процесса, характерно для цехов механической обработки» [6].

### 4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Выявленные ранее опасности и риски, воздействующие на работников производственного участка, требуют разработки методов и средств их снижения. Для этого используется Приказ 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» (таблица 8).

Таблица 8 - Методы и средства снижения профессиональных рисков

Реестр опасностей/ рисков	Мероприятия по улучшению условий и охраны труда (Приказа Минтруда России № 771н)	Методы и средства снижения профессиональных рисков
груз, инструмент или предмет, перемещаемый или поднимаемый, в том числе на высоту	«издание (тиражирование) инструкций, правил (стандартов) по охране труда» [6]	использование современной высокопроизводительной техники; соблюдение эргономических характеристик рабочего места; обеспечение безопасных условий труда
транспортное средство, в том числе погрузчик	«устройство и содержание пешеходных дорог, тротуаров, переходов, тоннелей, галерей на территории организации в целях обеспечения безопасности работников» [6]	«соблюдение правил дорожного движения и перемещения транспортных средств по территории; соблюдение скоростного режима; применение исправных транспортных средств, подача звуковых сигналов при движении и систем торможения» [6]

Продолжение таблицы 8

Реестр опасностей/ рисков	Мероприятия по улучшению условий и охраны труда (Приказа Минтруда России № 771н)	Методы и средства снижения профессиональных рисков
подвижные части машин и механизмов	«устройство ограждений элементов производственного оборудования, защищающих от воздействия движущихся частей, разлетающихся предметов, включая наличие фиксаторов, блокировок, герметизирующих элементов» [6]	«использование блокировочных устройств, применение средств индивидуальной защиты, специальных рабочих «костюмов, халатов, исключающих попадание свисающих частей одежды на быстродвижущиеся элементы производственного оборудования; допуск к работе работника, прошедшего обучение в области охраны труда» [6]
воздействие на кожные покровы смазочных масел	«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» [6]	«устройство систем удаления вредных веществ, выделяющихся в технологическом процессе, на станки и инструменты; организация первичного и периодического обучения и инструктажей работников безопасным методам и приемам выполнения работ; использование средств индивидуальной защиты, герметизация технологического оборудования» [6]
материал, жидкость или газ, имеющие высокую температуру	«обеспечение работников, занятых на работах с вредными или опасными условиями труда, а также на работах, производимых в особых условиях или связанных с загрязнением, специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты, дерматологическими средствами индивидуальной защиты» [6]	«применение закрытых систем для горячих сред, установка изоляции, разделяющих защитных устройств, уменьшение площади контакта, правильное применение средств индивидуальной защиты» [6]

Продолжение таблицы 8

Реестр опасностей/ рисков	Мероприятия по улучшению условий и охраны труда (Приказа Минтруда России № 771н)	Методы и средства снижения профессиональных рисков
повышенный уровень шума и другие неблагоприятные характеристики шума	«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» [6]	«применение звукоизолирующих ограждений-кожухов, кабин управления технологическим процессом, устройство звукопоглощающих облицовок и объемных поглотителей шума, использование средств индивидуальной защиты» [6]
воздействие общей вибрации (колебания всего тела, передающиеся с рабочего места).	«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» [6]	«своевременный ремонт машин и оборудования (с балансировкой движущихся частей), проверкой крепления агрегатов к полу, фундаменту, с последующим лабораторным контролем вибрационных характеристик; установка стационарного оборудования на отдельные фундаменты и поддерживающие конструкции зданий и сооружений, применение вибропоглощения и виброизоляции» [6]
физические перегрузки	«проведение специальной оценки условий труда, выявления и оценки опасностей, оценки уровней профессиональных рисков, реализация мер, разработанных по результатам их проведения» [6]	«проведение инструктажа на рабочем месте; соблюдение основных требований эргономики, соблюдение режимов труда и отдыха; организация рабочего места для наиболее безопасного и эффективного труда работника, исходя из физических и психических особенностей человека» [6]

## Продолжение таблицы 8

Реестр опасностей/ рисков	Мероприятия по улучшению условий и охраны труда (Приказа Минтруда России № 771н)	Методы и средства снижения профессиональных рисков
электрический ток	«внедрение и (или) модернизация технических устройств и приспособлений, обеспечивающих защиту работников от поражения электрическим током» [6]	«изоляция токоведущих частей электрооборудования, применение средств индивидуальной защиты, соблюдение требований охраны труда, применение ограждений, сигнальных цветов, табличек, указателей и знаков безопасности» [6]

Описанные выше мероприятия, методы и средства позволят снизить опасности и риски, возникающие на производственном участке и воздействие которых на работников производственного участка может привести к негативным последствиям.

### 4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

Обеспечение пожарной безопасности технического объекта определяется характеристиками производственного корпуса и характеристиками используемых в ходе технологического процесса материалов.

«Характеристика производственного корпуса по пожароопасности: категория по взрыво и пожаробезопасности – пожароопасное; степень огнестойкости зданий и сооружений – из несгораемых материалов; класс помещения в зависимости от окружающей среды – сухое; класс помещения по степени опасности поражения электрическим током – с повышенной опасностью» [6]. «Исходя из характеристик, используемых в ходе технологического процесса материалов возможные пожары относятся к классу D пожары, связанные с воспламенением и горением металлов» [6].

«Далее необходимо определить основные опасные факторы возможного пожара: 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)» [6].

Исходя из имеющихся опасных факторов пожара, определяем технические средства обеспечения пожарной безопасности (таблица 9) и организационные мероприятия.

Таблица 9 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
«огнетушители: – ОП-10, ОВП-10, ОВП-100, ОП-100» [6]	«мотопомпа пожарная» [6]	«пожарный извещатель» [6]	«пожарный щит класса ЩП-А» [6]	«оповещатель охранно-пожарный звуковой, программно-аппаратный комплекс» [6]

«Организационные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности: разрабатываются инструкции по действиям персонала в случае аварийной и чрезвычайной ситуации; проводится инструктаж по пожарной безопасности» [6].

#### 4.5 Обеспечение экологической безопасности объекта

Негативными факторами, определяющими экологическую безопасность объекта, являются отходы, образующиеся в ходе выполнения технологического процесса. В частности к ним относятся: масла, смазочно-охлаждающие жидкости, смазочные материалы, частицы абразива, стружка,

мусор. Наибольшее влияние данные негативные факторы проявляются в виде выбросов в сточные воды и землю.

С целью нейтрализации и снижения влияния выявленных негативных факторов на экологию необходимо соблюдать положения «ГОСТ Р 53692–2009, который определяет основные этапы процедуры по сбору, обезвреживанию, транспортировке, размещению, утилизации опасных промышленных отходов» [6].

Негативное воздействие на экологию также возможно в случае возникновения аварийных ситуаций. «Возможные причины возникновения и развития, которых условно можно разделить на три группы: отказы оборудования, ошибочные действия работников, внешние воздействия природного и техногенного характера» [6]. В зависимости от этого разрабатываются соответствующие мероприятия по ликвидации последствий аварийных ситуаций.

В разделе решена задача комплексной оценки безопасности и экологичности технического объекта. Выявлены профессиональные риски, действующие на работников производства, разработаны мероприятия по снижению их влияния. Предложены мероприятия по обеспечению пожарной и экологической безопасности на производстве.

## 5 Экономическая эффективность работы

Данный раздел предполагает решение главной задачи бакалаврской работы, которая заключается в экономическом обосновании целесообразности внедрения предложенных в технологический процесс изменений.

Для решения поставленной задачи необходимо провести сравнительный анализ технических и экономических параметров, двух вариантов технологического процесса, описанных в предыдущих разделах.

Основное изменение технологического процесса предполагает применение более современной оснастки и более износостойкого инструмента, что приводит к снижению общей трудоемкости выполнения совершенствованных операций. Используемая оснастка и инструмент представлены в предыдущих разделах бакалаврской работы.

Результаты технических изменений после совершенствований операции, а именно замены оборудования, оснастки и инструмента:

- сокращение основного времени выполнения операций на 21,4%;
- сокращение вспомогательного времени на 42,9 %;
- увеличение стойкости применяемого инструмента в 1,5 раза.

Описанные результаты достаточно существенны для того чтобы сделать предварительное положительное заключение о необходимости внедрения данных изменений. Однако, чтобы полноценно в этом убедиться, необходимо провести некоторые экономические расчеты. Они связаны с определением величины инвестиций и их сроком окупаемости, а также с расчетом самого важного показателя, такого как экономический эффект.

На рисунке 2 представлены методики, которые позволят грамотно рассчитать все вышеперечисленные экономические показатели.



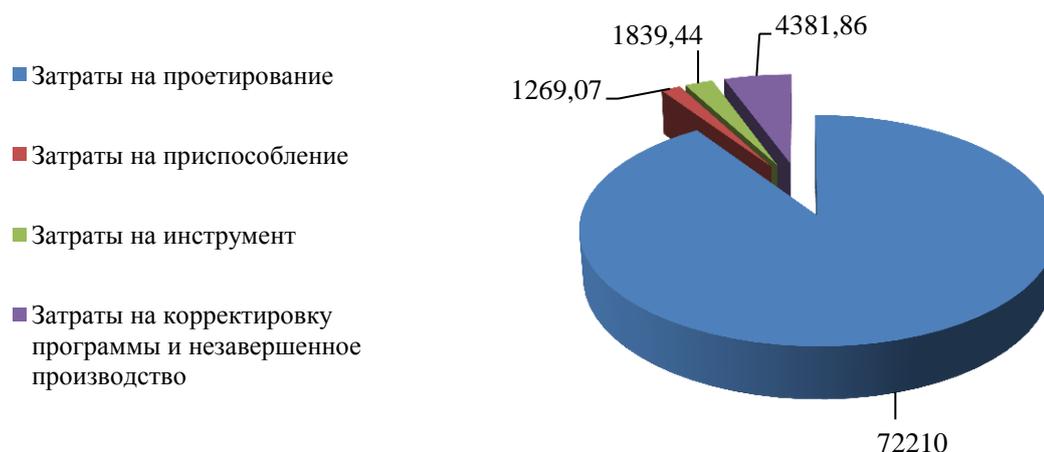
Рисунок 2 – Применяемые методики для определения необходимых экономических показателей [12]

Используя, описанную на рисунке 2, методику расчета капитальных вложений, в совокупности с программой Microsoft Excel, была определена величина инвестиций ( $K_{ВВ}$ ), которая составила 79700,37 руб. Данное значение учитывает все необходимые финансовые вливания в совершенствование проекта. На рисунке 3 представлены показатели, из которых сложилась итоговая величина инвестиций.

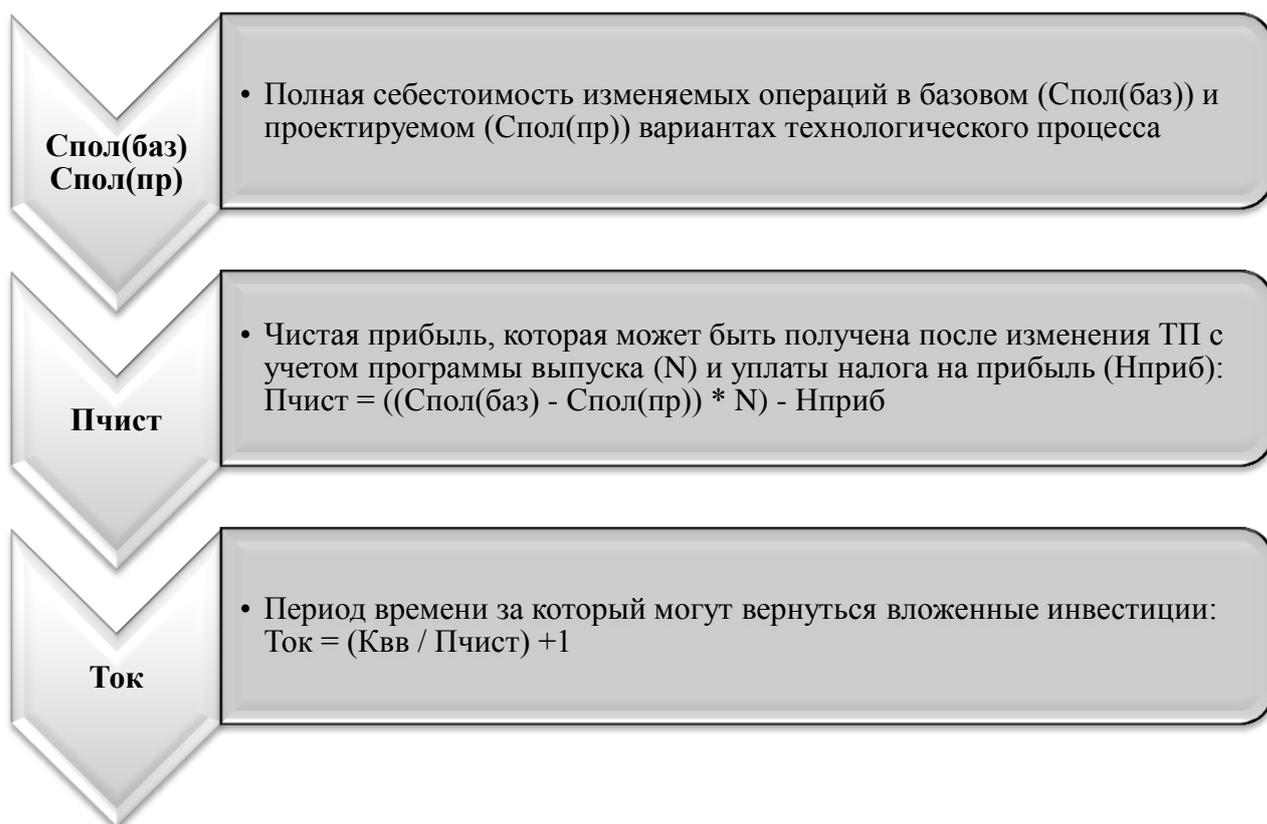
Анализируя рисунок 3, можно сказать, что затраты на проектирование изменений являются самыми существенными, так как их доля составила 90,6% в общем объеме инвестиций.

Для определения срока окупаемости заявленных инвестиций необходимо последовательно определить некоторое количество дополнительных показателей, которые представлены на рисунке 4.

**Квв = 79700,37 руб.**



**Рисунок 3 – Показатели и их значения, которые вошли в величину инвестиций для предлагаемых совершенствований**



**Рисунок 4 – Дополнительные экономические показатели для определения срока окупаемости и их взаимосвязь**

Как видно из рисунка 4, для получения результата по сроку

окупаемости, сначала необходимо определить значение такого экономического показателя как полная себестоимость изменяемых операций. Эту величину рассчитывают по двум вариантам, базовому и проектируемому. Это необходимо для того чтобы можно было определить изменения, то есть посмотреть на сколько снизится или увеличится себестоимость выполнения этих операций. Чтобы окупить вложенные инвестиции себестоимость проектируемого варианта должна снижаться. Также важно, насколько она снизится, потому что чем больше будет разница у полной себестоимости, тем быстрее окупятся вложенные инвестиции.

Далее, благодаря значениям полной себестоимости базового и проектируемого варианта операций, определяется возможная прибыль, которую сможет получить предприятие от внедрения совершенствований.

Затем уже приступают к определению самого срока окупаемости. Так как, технологические процессы по изготовлению продукции присуще промышленным предприятиям, то для них определен максимальный горизонт окупаемости инвестиций в 4 года. Другими словами, срок окупаемости должен быть меньше, либо равен четырем годам.

Учитывая срок окупаемости инвестиций, определяется интегральный экономический эффект ( $\mathcal{E}_{инт}$ ) путем расчета через сложные проценты. Они позволяют максимально учесть потерю стоимости денежных средств и показать максимально реалистичное значение экономического эффекта. Данный способ расчета экономического эффекта основывается на расчетном сроке окупаемости инвестиций, величине чистой прибыли и процентной ставке на капитал.

На рисунке 5 представлены рассчитанные значения следующих показателей:

- чистая прибыль,
- срок окупаемости
- и экономический эффект.

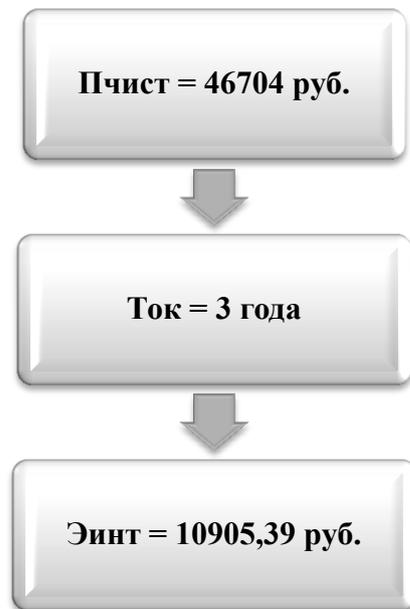


Рисунок 5 – Значения показателей чистой прибыли ( $P_{\text{чист}}$ ), срока окупаемости ( $T_{\text{ок}}$ ) и экономического эффекта ( $\text{Э}_{\text{инт}}$ )

Как показано на рисунке 5, экономический эффект является положительной величиной, то есть он получен, поэтому внедрение предлагаемых совершенствований можно считать целесообразными.

В ходе выполнения данного раздела произведены расчеты, подтверждающие экономическую эффективность предлагаемых технических решений в условиях среднесерийного типа производства.

## Заключение

Выполнение работы позволило спроектировать один из вариантов технологии изготовления шестерни привода поворотного приспособления на основе типового технологического процесса в условиях среднесерийного типа производства и повысить ее эффективность за счет устранения недостатков базовой технологии путем проектирования эффективных средств технологического оснащения. В первую очередь для этого проведен анализ исходных данных, на основе которых сформулированы задачи работы. Далее поставленные задачи были последовательно решены.

«Технологические задачи включали в себя: выбор оптимальной заготовки и ее проектирование, проектирование плана изготовления детали, выбор средств технологического оснащения, расчет режимов резания и нормирование технологических операций» [5]. При этом за основу был принят типовой технологический процесс, что повысило качество проектных решений. Задачи по совершенствованию спроектированной технологии решены путем проектирования мембранного патрона и шлифовального круга для шлифовальной операции, что позволило повысить ее эффективность и устранить выявленные в ходе анализа базовой технологии недостатки. Предлагаемый для шлифовальной операции патрон позволил исключить погрешность базирования, тем самым обеспечив требуемую точность обработки. Предлагаемый шлифовальный круг, позволил увеличить качество и производительность обработки путем улучшения температурного режима в зоне резания. Решена задача «комплексной оценки безопасности и экологичности технического объекта» [5]. Выявлены профессиональные риски, действующие на работников производства, разработаны мероприятия по снижению их влияния. Предложены мероприятия по обеспечению пожарной и экологической безопасности на производстве. Произведены расчеты, подтверждающие экономическую эффективность предлагаемых технических решений в условиях среднесерийного типа производства.

## Список используемых источников

1. 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: 11.04.2023).
2. Блюменштейн В.Ю. Проектирование технологической оснастки: учебное пособие для вузов / В.Ю. Блюменштейн, А.А. Клепцов. – 4 –е изд., стер. – Санкт –Петербург: Лань, 2021. – 220 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/166346> (дата обращения: 18.04.2023).
3. Болтон У. Карманный справочник инженера –метролога. [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 380 с.
4. Вереина Л. И. Абразивная обработка: справочник / Л.И. Вереина, М.М. Краснов, Е.И. Фрадкин; под общ. ред. Л.И. Вереиной. – Москва: ИНФРА – М, 2021. – 304 с. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1282222> (дата обращения: 21.04.2023).
5. Горбацевич А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие для вузов/ А.Ф. Горбацевич, В.А. Шкред. М: – ООО ИД «Альянс», 2007 – 256 с.
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, 2021. – 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. Звонцов И.Ф. Проектирование и изготовление заготовок деталей общего и специального машиностроения: учебное пособие. [Электронный ресурс] / И.Ф. Звонцов, К.М. Иванов, П.П. Серебrenицкий. – Электрон. дан. – СПб. : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2015. – 179 с.
9. Зубарев Ю. М. Режущий инструмент: учебник для вузов / Ю. М.

Зубарев, А. В. Вебер, М. А. Афанасенков; Под общей редакцией Ю. М. Зубарева. – Санкт –Петербург: Лань, 2022. – 432 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/254675> (дата обращения: 21.04.2023).

10.Иванов И. С. Расчет и проектирование технологической оснастки в машиностроении: Учебное пособие / Иванов И.С. – М.: НИЦ ИНФРА –М, 2018. – 198 с.: – URL: <https://znanium.com/catalog/product/959399> (дата обращения: 17.04.2023).

11. Копылов Ю.Р. Технология машиностроения : учебное пособие / Ю.Р. Копылов. – Санкт –Петербург : Лань, 2020. – 252 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/142335> (дата обращения: 09.04.2023).

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: 13.05.2022).

13.Погонин А.А. Технология машиностроения : учебник / А.А. Погонин, А.А. Афанасьев, И.В. Шрубченко. – 3 –е изд., доп. – Москва : ИНФРА –М, 2022. – 530 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1045711> (дата обращения: 12.04.2023).

14.Расторгуев Д. А. Проектирование технологических операций [Электронный ресурс] : электрон. учеб. –метод. пособие / Д. А. Расторгуев ; ТГУ ; Ин –т машиностроения ; каф. «Оборудование и технологии машиностроит. пр –ва». – Тольятти : ТГУ, 2015. – 140 с.

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: 14.04.2023).

16. Режимы резания металлов : справочник / Ю. В. Барановский [и др.]

; под ред. А. Д. Корчемкина. – 4 –е изд., перераб. и доп. – Москва : НИИТавтопром, 1995. – 456 с.

17. Справочник технолога –машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / А. М. Дальский [и др.] ; под ред. А. М. Дальского [и др.]. – 5–е изд., испр. – Москва : Машиностроение–1, 2003. – 910 с.

18. Справочник технолога –машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / А. М. Дальский [и др.] ; под ред. А. М. Дальского [и др.]. – 5 –е изд., испр. – Москва : Машиностроение –1, 2003. – 941 с.

19. Фельдштейн Е. Э. Режущий инструмент. Эксплуатация: Учебное пособие / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – Москва: НИЦ ИНФРА –М; Минск: Нов. знание, 2014. – 256 с.: ил.; – URL: <https://znanium.com/catalog/product/424209> (дата обращения: 28.09.2022).

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

21. Харченко А. О. Металлообрабатывающие станки и оборудование машиностроительных производств: учебное пособие / А.О. Харченко. – 2 –е изд. – Москва: Вузовский учебник: ИНФРА –М, 2023. – 260 с. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1895652> (дата обращения: 17.04.2023).

22. Химический состав и физико-механические свойства стали 20Х [Электронный ресурс]. – URL: [https://metallicheckiy-portal.ru/marki\\_metallov/stk/20X?ysclid=lgpjrbuax1535660285](https://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/stk/20X?ysclid=lgpjrbuax1535660285) (дата обращения: 25.03.2023).





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	Тпоз	Тшт			
А 69	XX	XX	XX	030	4157 Зубошевинговальная															
Б 70	381574				Зубошевинговальный 5715 3 12287 312 1Р	1	1	1	1200	1										1,15
О 71	Шевинговать пов. 4 в размер 7-й степени точности																			
Т 72	396171 Патрон поводковый ГОСТ 2571-71; 391810 Шейвер дисковый Р18 ГОСТ8570-75.																			
Т 73	394300 прибор измерительный универсальный.																			
74																				
А 75	XX	XX	XX	035	Термическая															
76																				
А 77	XX	XX	XX	040	4131 Шлифовальная															
Б 78	381311				Круглошлифовальный 3А161 3 18873 312 1Р	1	1	1	1200	1										0,81
О 79	Шлифовать поверхности: пов. 7 в размер $\phi 55,382_{-0,016}$ .																			
Т 80	396171 Патрон мембранный; 39810 Круг шлифовальный; 394300 Скоба рычажная СР ГОСТ11098-75																			
81																				
А 82	XX	XX	XX	045	4132 Внутришлифовальная															
Б 83	381312				Внутришлифовальный 3К228Б 3 18873 312 1Р	1	1	1	1200	1										1,93
О 84	Шлифовать поверхности: Установ А пов. 17 в размер $\phi 36_{+0,002}$ ; Установ Б пов. 21 $\phi 47,088_{+0,039}$ .																			
Т 85	396171 Патрон мембранный; 39810 Круг шлифовальный; 394300 Скоба рычажная СР ГОСТ11098-75																			
86																				
А 87	XX	XX	XX	050	4131 Шлифовальная															
Б 88	381311				Круглошлифовальный 3А161 3 18873 312 1Р	1	1	1	1200	1										1,09
О 89	Шлифовать поверхности: пов. 7 в размер $\phi 55_{-0,021}^{+0,002}$ .																			
Т 90	396171 Патрон мембранный; 39810 Круг шлифовальный; 394300 Скоба рычажная СР ГОСТ11098-75																			
91																				
МК																				

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

A	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наименование операции	Обозначение документа									
						Код, наименование оборудования	СМ	проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт
A 94	XX	XX	XX	055	4132	Внутришлифовальная									
Б 95	381312	Внутришлифовальный ЗК228Б				3	18873	312	1Р	1	1	1	1200	1	1,34
О 96	Шлифовать поверхность 21 в размер $\phi 47^{+0,005}_{-0,013}$														
Т 97	396171 Патрон мембранный; 39810 Круг шлифовальный; 394300 Скоба рычажная СР ГОСТ11098-75														
98															
A 99	XX	XX	XX	060	4151	Зубошлифовальная									
Б 100	381562	Зубошлифовальный 5В832				3	12287	312	1Р	1	1	1	1200	1	1,2
О 101	Шлифовать пов. 4 в размер 6-й степени точности														
Т 102	396171 Патрон мембранный; 39810 Круг шлифовальный; 394300 Прибор измерительный универсальный.														
103															
A 104	XX	XX	XX	065	4151	Зубошлифовальная									
Б 105	381562	Зубошлифовальный 5В832				3	12287	312	1Р	1	1	1	1200	1	1,4
О 106	Шлифовать пов. 4 в размер 6-й степени точности														
Т 107	396171 Патрон мембранный; 39810 Круг шлифовальный; 394300 Прибор измерительный универсальный.														
108															
A 109	XX	XX	XX	070	Маечная										
110															
A 111	XX	XX	XX	075	Контрольная										
О 112															
Т 113															
114															
115															
116															
МК															





Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

ГОСТ 2118-82										Форм 1			
Дубл.													
Взам.													
Подп.													
Разраб.	Шильцов			ТГУ									
Проверил	Козлов			Кафедра ОТМП									
Н.контр.	Козлов			Шестерня						Цех	Уч.	Р.М.	Опер.
Наименование операции		Материал			Твердость	EB	MD	Профиль и размеры			MB	КОИД	
Токарная		Сталь 20Х ГОСТ 4543-71			HВ 185	166	0,39	№63х55			0,48	1	
Оборудование, устройства ЧПУ		Обозначение программы			то	тв	тгв	тип	сок				
16К20Ф3					131			1,48	Ужиднал-1				
		пи	о или в	L	t	i	s	п	v				
от	1. Установить заготовку												
Т.з.	396110 Патрон 3-х кулачковый ГОСТ 2675-80; 392101 Резец контурный ГОСТ 18879-73 Т30К4;												
Т.з.	392110 Резец канавочный ГОСТ 18879-73 Т5К10.												
о.з.	2. Точить последовательно поверхности и торцы: 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 25 выдерживая												
о.з.	размеры согласно эскиза.												
Р.з.		1			0,35		0,1	1600	301				
Р.от		2			1,5		0,1	1600	301				
Р.з.		3			0,19		0,1	1600	301				
о.з.	3. Переустановить заготовку												
о.з.	4. Точить последовательно поверхности и торцы: 1, 2, 3, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 выдерживая размеры												

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

ГОСТ 2118-82										Форм 1			
Дубл.													
Взам.													
Подп.													
Разраб.	Шильцов			ТГУ									
Проверил	Козлов			Кафедра ОТМТ									
Н.контр.	Козлов			Шестерня						Цех	Уч.	Р.М.	Опер.
Наименование операции		Материал		Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры			МВ	КОИД		
Токарная		Сталь 20Х ГОСТ 4543-71		НВ 185	166	0,39	№63х55			0,48	1		
Оборудование, устройства ЧПУ		Обозначение программы		то	тв	тгв	тип	СОЖ					
16К20Ф3				131			1,48	Ужиднал-1					
		пи	о или в	L	r	i	s	п	v				
0 <sub>11</sub>	СОГЛАСНО ЭСКИЗА.												
P <sub>12</sub>		1				0,35		0,1	1600	301			
P <sub>13</sub>		2				1,25		0,1	1600	301			
P <sub>14</sub>		3				0,19		0,1	1600	301			
0 <sub>15</sub>	5. Открепить, снять деталь с приспособления, уложить на тележку.												
8													
17													
18													
19													
20													



Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

ГОСТ 2118-82										Форм 1			
Дубл.													
Взам.													
Подп.													
Разраб.	Шильцов			ТГУ									
Проверил	Козлов			Кафедра ОТМП									
Исполн.	Козлов			Шестерня						Цех	Уч.	Р.М.	Опер.
Наименование операции		Материал		Твердость	EB	MD	Профиль и размеры			MB	КОИД		
Зубодолбежная		Сталь 20Х ГОСТ 4543-71		HВ 185	166	0,39	#63x55			0,48	1		
Оборудование, устройства ЧПУ		Обозначение программы		то	тв	тгв	тип	слож					
5140				0,8			0,98	Угловая-1					
			пи	о или в	L	t	i	s	п	v			
01	1. Установить заготовку												
Т. 02	396171 Приспособление специальное; 392410 Долбяк зуборезный ГОСТ 9323-80 Р18.												
03	2. Долбить пов. 26, 4 выдерживая размеры согласно эскиза												
Р. 04		1			2,44		25	100	25				
05	3. Открепить, снять деталь с приспособления, положить на тележку.												
06													
07													
08													
09													
10													

Приложение Б

Спецификации к сборочным чертежам

Таблица Б.1 – Спецификации к сборочным чертежам

Формат Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме- чание
<u>Документация</u>					
A1		23.БР.ОТМП.312.65.00.000СБ	Сборочный чертеж		
<u>Детали</u>					
А4	1	23.БР.ОТМП.312.65.00.001	Корпус	1	
А4	2	23.БР.ОТМП.312.65.00.002	Корпус	1	
А4	3	23.БР.ОТМП.312.65.00.003	Корпус мембраны	1	
А4	4	23.БР.ОТМП.312.65.00.004	Крышка	1	
А4	5	23.БР.ОТМП.312.65.00.005	Крышка торцовая	1	
А4	6	23.БР.ОТМП.312.65.00.006	Крышка цилиндра	1	
А4	7	23.БР.ОТМП.312.65.00.007	Кулачок	3	
А4	8	23.БР.ОТМП.312.65.00.008	Мембрана	1	
А4	9	23.БР.ОТМП.312.65.00.009	Муфта	1	
А4	10	23.БР.ОТМП.312.65.00.010	Поршень	1	
А4	11	23.БР.ОТМП.312.65.00.011	Толкатель	1	
А4	12	23.БР.ОТМП.312.65.00.012	Упор	1	
А4	13	23.БР.ОТМП.312.65.00.013	Шток	1	
<u>Стандартные изделия</u>					
	14		Ввертышь ГОСТ11058-72	2	
	15		Ввертышь ГОСТ11058-72	1	
	16		Винт М6х25 ГОСТ 11871-78	4	
	17		Винт М6х25 ГОСТ 11871-69	4	
23.БР.ОТМП.312.65.00.000					
Изм. Лист		№ докум.		Подп.	
Разраб. Шильцов					
Проб. Козлов					
И.контр. Козлов					
Утв. Логинов					
Патрон мембранный				Лист	Листов
				1	2
ТГУ, ИМ гр. ТМдп-1801б					
Копировал				Формат А4	



