

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)

Проектирование технологических процессов

(направленность (профиль)/ специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технологический процесс изготовления вала-шестерни редуктора

---

Студент

М.Б. Цыганов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент Д.А.Расторгуев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

к.э.н. Н.В. Зубкова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

к.т.н., доцент А.В. Краснов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

## Аннотация

По заданию работы проектируемой деталью является – вал-шестерня.

Вал-шестерня входит в механизм крана шарового, предназначенного для передачи вращения от маховика задвижки через зубчатую рейку, которая движется с помощью резьбового винта при вращении маховика к крану задвижки.

Данная деталь выполнена в виде вала-шестерни с прямозубой шестерней, в одном торце детали выполнено глухое резьбовое отверстие, с другой стороны, в торце выполнен паз, две поверхности для установки подшипников скольжения, проточка для установки уплотнительного кольца.

Основываясь на условия работы детали в кране шаровом и предъявляемых к этой детали технологических требований, при учете годовой программы выпуска можно сделать вывод, что конструкция детали технологична.

Для изготовления вала-шестерни применяется сталь 40Х ГОСТ4543-71.

Цель работы - проектирование процесса изготовления вал-шестерня.

Основные задачи:

Разработка стратегии технологического процесса и определения типа производства;

Выбор оптимального метода получения заготовки и разработка маршрута обработки поверхностей детали, а также выбор оптимальных схем базирования заготовки детали при обработке;

Выбор оптимального оборудования для обработки детали;

Разработка станочного приспособления и режущего инструмента;

Анализ экономической эффективности и рассмотрение мероприятий по охране труда и промышленной экологии.

## Содержание

Введение.....	5
1 Анализ исходных данных.....	7
1.1 Анализ служебного назначения и условий работы детали.....	7
1.2 Анализ служебного назначения поверхностей вала.....	7
1.3 Анализ материала детали .....	9
1.4 Анализ технических требований к поверхностям детали .....	9
1.5 Анализ технологичности.....	10
1.6 Формулировка задач работы.....	16
2 Разработка технологической части работы.....	18
2.1 Анализ базового техпроцесса .....	18
2.2 Выбор заготовки.....	19
2.3 Выбор технологических переходов .....	21
2.4 Расчет припуска аналитически .....	22
2.5 Проектирование заготовки.....	23
2.6 Разработка технологического маршрута и схем базирования .....	23
2.7 Разработка схем базирования .....	25
2.8 Выбор оснащения.....	26
2.9 Разработка технологических операций. ....	28
3 Проектирование специальных средств оснащения .....	37
3.1 Сбор данных .....	37
3.2 Расчет усилия зажима.....	37
3.3 Расчет зажимного механизма .....	41
3.4 Расчет силового привода.....	41
3.5 Точность установки в патроне.....	42
3.6 Описание работы патрона .....	43
3.7 Проектирование режущего инструмента .....	44
4 Безопасность и экологичность технического объекта.....	46
4.1 Характеристика объекта.....	46

4.2 Идентификация профессиональных рисков.....	46
4.3 Методы и технические средства снижения рисков.....	47
4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....	49
4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта.....	50
4.6 Выводы по разделу .....	51
5 Экономическая эффективность работы .....	53
Заключение .....	58
Список используемых источников.....	60
Приложение А Технологическая документация.....	64
Приложение Б Спецификация приспособления .....	69

## Введение

Важную роль в развитии и совершенствовании технологии изготовления деталей играет научно-технологический прогресс.

Научно-технологичный прогресс определяет развитие и совершенствования технологий изготовления деталей в машиностроение, улучшения их качества и времени изготовления, для достижения которых используются современные методы обработки и новые высокопроизводительные станки.

Одним из важнейших аспектов научно-технологического прогресса есть рост производительности труда, качественное использование отведенного времени на операции обработки, улучшения условий труда что ведет к увеличению производительности и качества изготавливаемых деталей и механизмов.

Постоянное совершенствование технологи и методов изготовления деталей и механизмов, ведет к увеличению надежности и долговечности механизмов и деталей, то есть можно сказать, что качество деталей и механизмов зависит не только от продуманной конструкции, но и от технологии изготовления. Применение высокопроизводительных методов для обработки позволит добиться высокой точности и лучшего качества обрабатываемых поверхностей в деталях машин и механизмов. При использовании передовых технологий упрочнения рабочих поверхностей позволит увеличить ресурс работы деталей и как следствие механизмов. Так же используя современные поточные линии вместе со станками с программным управлением в комплексе с электронными вычислительными машинами, а также другой современной техникой и при этом применяя прогрессивные формы организации труда, экономики производственных процессов – решаются главные задачи которые стоят перед производством, это повышение эффективности изготовления и качества продукции.

По алгоритму разработки технологий необходимо выполнить анализ

исходных данных; затем определить тип производства; выбрать и спроектировать заготовку, исходя из экономического расчета; с учетом принятых и заданных условий производства выбрать методы обработки на отдельные поверхности и затем объединить в общий маршрут; по каждому этапу технологического процесса сделать анализ для максимально рационального выбора схем базирования и простановки размеров; для всех переходов назначить оснащение инструментальное, контрольное и зажимное; просчитать режимы резания, нормирование.

Технологический процесс должен отвечать самым современным требованиям по производительности и точности. За счет многофункционального токарного центра возможно совместить различные технологические переходы, которые ранее выполнялись на отдельных станках в рамках отдельных технологических операций. Совмещение таких различных методов обработки позволяет значительно сократить вспомогательное время на установку и снятие заготовки, повысить точность за счет исключения дополнительных погрешностей установки.

Отдельные этапы проектирования технологии посвящены конструкторским разработкам. Для реализации предложенных усовершенствований предлагается патрон с возможностью высокоскоростной обработки, а также инструмент для обработки сквозного паза.

Все предложенные изменения базовой технологии обосновываются как мерами по охране труда, так и экономическими расчетами.

## **1 Анализ исходных данных**

### **1.1 Анализ служебного назначения и условий работы детали**

Класс, к которому относится разрабатываемая деталь – это класс валов.

Вал-шестерню изготавливается из стали 40Х ГОСТ 4543-71 с прочностью  $\sigma_b = 980$  МПа [8].

Деталь предназначена для передачи вращения от винта, который приводится в движение маховиком крана к шаровой задвижке.

В механизме крана шарового деталь вал-шестерня занимает позицию одной из ответственных деталей. Прочность и долговечность детали зависит не только от геометрически правильно подобранных размеров, но и большую роль в этом играет технологический процесс обработки.

Вал-шестерня имеет ступенчатую форму цилиндра, на одной ступени которого расположена шестерня с прямыми зубами. Наибольшая степень точности вала по обработке на двух ступенях по 9-му квалитету, эти ступени предназначены для посадки вала на втулки подшипников скольжения.

В торце вала, с одной стороны, выполнено резьбовое отверстие, предназначенное для крепления оси, на которой установлен упорный подшипник. С другой стороны, в торце сделан паз, предназначен для передачи вращения от вала шестерни на шаровой клапан. Так же в этом пазу выполнено резьбовое отверстие, к которому с помощью винта крепится регулировочная шайба. Так же на цилиндрической поверхности детали есть канавка для установки уплотнительного кольца.

### **1.2 Анализ служебного назначения поверхностей вала**

Цель данного подраздела - систематизация поверхностей детали вал-шестерня по функциональному назначению. В ее процессе нужно выявить основные поверхности, отвечающие за выполнение основных функций

детали. Это необходимо для качественного изготовления данной детали, чтобы деталь впоследствии она правильно выполняла свое служебное назначение [13].

Номера поверхностей вала представлены на рисунке 1.

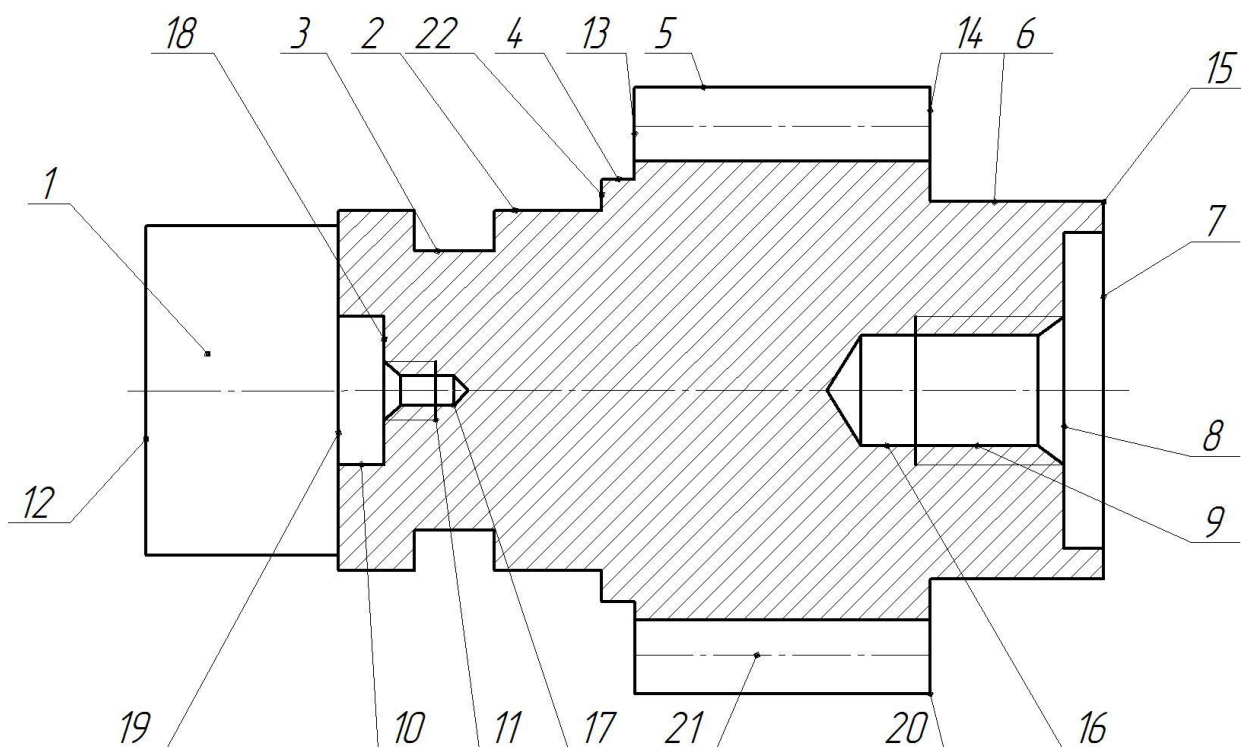


Рисунок 1 – Рабочие поверхности детали

Таблица 1 - Систематизация поверхностей детали вал шестерня

Тип поверхности	Номер поверхности
Паз	1
Цилиндрическая поверхность	2, 4, 6
Канавка	3
Зубчатый венец	5,21
Торец	7, 12, 13, 14,22,18,19
Отверстие	8, 9, 10, 11, 16, 17
Резьбовое отверстие	11, 12



Рабочая или исполнительная (И) поверхность вала - боковые поверхности зубьев и паза. Основные конструкторские базы (ОКБ) – это отверстие под подшипник. Вспомогательные конструкторские базы (ВКБ) – это резьбовые отверстия, паз, канавка.

### 1.3 Анализ материала детали

Материал изготовления вала шестерни сталь 40Х (химический состав и механические свойства приведены в таблице 1, 2 ), данная деталь имеет поверхности, к которым предъявлены особые требования при изготовлении.

Коэффициент обрабатываемости при обработке твердосплавным и быстрорежущим инструментом соответственно  $K_0 = 0,8$ ,  $K_0 = 0,7$  [9].

Таблица 1 –Состав стали 40Х ГОСТ 4543-71 [8], %

C	Si	S	Cr	Ni	Cu	Mn	P
0,36-0,44	0,17-0,37	До 0,035	0,8-1,1	До 0,3	До 0,3	0,5-0,8	До 0,035

Таблица 2–Свойства стали 40Х ГОСТ 4543-71 [8]

σв, МПа	δ, %	Ψ, %	КСУ, Дж/м2	НВ (не более)
980	10	45	59	248

### 1.4 Анализ технических требований к поверхностям детали

Для обеспечения максимального качества работающей детали необходимо обеспечить максимальное соответствие требованиям по всем показателям (геометрическим и физико-механическим). Для этого сведем все параметры каждой детали в таблицу 1.2 и проанализируем их.

## 1.5 Анализ технологичности

Технологичность вала обеспечивает снижение себестоимости на механическую обработку, при этом заменяя не технологичные методы обработки технологичными [20].

Требования соответствует назначению и степени ответственности каждой из поверхностей. Показатели по точности и шероховатости не занижены и не завышены (таблица 3).

Таблица 3 - Анализ технических требований к поверхностям детали

Поверхность	Габарит, мм	Точность, класс	Дополнительные требования, мм	Шероховатость, мкм
1 Плоская	16	11	Симметричность 0,1	3,2
2 Шейка цилиндрическая	40	9	-	0,8
3 Канавка	32,3	11	-	1,6
4 Шейка	47	12	-	12,5
5 То же	68	9	Биение 0,045	3,2
6 То же	42	12	Биение 0,05	1,6
7 торец	106	12	-	1,25
8 То же	4	12	-	6,3
9 Резьба	16	6H	-	6,3
10 Отверстие»	30	11	-	3,2
11 Резьба	6	6H	-	6,3
12 Торец	106	12	-	12,5
13 То же	32	12	-	12,5
14 То же	32	12	-	12,5
15 Фаска	2	12	-	12,5
16 отверстие	14	12	-	12,5
17 То же	5	12	-	12,5
18 торец	5	12	-	12,5
19 Плоскость	21	12	-	12,5
20 Фаска	2	12	-	12,5
21 Зубчатая	60	7-C	Биение 0,05	3,2
22 Торец	45	12	-	12,5

К критериям технологичности относят показатели технологичности:

- а) заготовки;
- б) конструкции в целом;
- в) базирования, закрепления;
- г) обрабатываемых поверхностей.

Заготовку из стали 40Х можно получить при помощи штамповки или проката [5].

После штамповки заготовка проходит термическую операцию улучшение, что позволяет в полной мере использовать свойство материала. Далее заготовка подвергается механической обработке и в конце технологического маршрута жесткому контролю ответственных поверхностей [10].

Для достижения точности изготавливаемой детали и снижение ее стоимости, точность изготовления заготовки должна быть на оптимальном уровне. Вал-шестерня имеет средней сложности конфигурацию, для достижения целей своего предназначения в механизме.

Одним из технологических процессов детали есть закалка токами высоких частот, это нужно для увеличения твердости и износостойкости рабочих поверхностей в процессе эксплуатации.

Деталь сравнительно не большого размера и имеет достаточную жесткость, что позволит использовать обычные методы обработки, при которых можно использовать стандартные унифицированные приспособления для установки и закрепления в металлорежущих станках.

В процессе обработки заготовки для достижения точности изготовления детали используются токарные станки с ЧПУ, зубо-фрезерные станки, горизонтально-фрезерные и фрезерно-центровальные.

Как видно из чертежа все поверхности детали открыты и доступны для стандартного режущего инструмента, размеры детали позволяют надежно ее закрепить не нарушая при этом закона единства и совмещения баз, это

говорит о том что для процесса обработки можно по максимуму задействовать автоматизированные методы обработки.

Конструкция детали технологична, точность поверхностей с наибольшим качеством 9-м достигается чистовым точением на токарном станке.

Конструкция детали позволяет применять высокопроизводительные режимы, для первой операции имеются отличные базовые поверхности, также конструкция детали достаточно проста.

Деталь работает в средних условиях нагружения, при циклическом реверсном периодическом использовании. Наибольшему износу детали подвержены места установки подшипников скольжения, паз – передающий вращения на кран шаровой, зубчатый венец, для чего в технологическом процессе должно быть предусмотрено упрочнение этих поверхностей.

Подводя итоги относительно технологичности детали, можно отметить следующие моменты. Руководствуясь рабочим чертежом детали, зная ее условия работы в конструкции в целом, можно сказать, что конструкция детали достаточно продуманная, и о замене ее на сборную, речь не идет. Материал детали подобран целесообразно, и выполняет хорошо свои функции при работе детали в механизме, а также имеет хорошую обрабатываемость.

В качестве опорных баз можно использовать наружные, которые могут служить как установочными, так и опорными в процессе обработки вала-шестерни.

Рассматриваемая деталь с точки зрения обработки достаточно технологична, так как все ее поверхности открыты и имеют удобный доступ при использовании высокопроизводительных технологических методах обработки.

Но, на детали есть и не технологические элементы, такие как глухие резьбовые отверстия, которые находятся на обоих торцах вала и паза. Исходя из этого, можем сказать, что для детали все-таки нужно разрабатывать

технологическую оснастку, для закрепления детали на фрезерной операции при фрезеровании паза.

На чертеже детали отмечена требуемая шероховатость поверхностей, по которой мы можем наметить требуемые операции для достижения заданной шероховатости.

Впрочем, все участки детали легкодоступны для обработки, что позволяет применять фрезерование, точение, сверление.

Корректный технологический анализ позволяет улучшить технико-экономические показатели технологического процесса, что доказывает важность данного анализа на дальнейшем этапе разработки технологического процесса изготовления.

Основная задача, которая предъявляется к анализу технологичности это по возможности уменьшить трудоемкость и металлоёмкость, улучшить методы обработки применяя высокопроизводительные методы обработки, что в следствии позволит снизить себестоимость изготовления, и улучшить качество изготовления. Для расчетов показателей технологичности необходимо исходные данные по квалитетам и шероховатости поверхностей. Они сведены в таблицу 4.

Проектируемую деталь можно считать технологичной. Она представлена в виде ступенчатого вала, размеры ступеней которого уменьшаются от центра вала к торцам. Данные свойства детали положительно сказываются на обработке поверхностей. Обеспечивается свободный подвод инструмента. Для обработки применяется стандартизированный инструмент. То же относится к контролю точности поверхности измерительным инструментом. Унифицированные элементы вала это центровые отверстия, фаски, канавки, радиусы.

Выбранная марка стали 40X относится к сравнительно не дорогим металлам, с не плохими физико-химическими свойствами, имеет хорошую обрабатываемость при резании, обладает достаточной прочностью, легко термообрабатывается.

Таблица 4 – Анализ технологичности конструкции детали [20]

Поверхность	Количество, шт.	Количество унифицированных поверхностей, шт.	Квалитет, IT	Шероховатости, Ra, мкм
Плоскость L=96мм	2	-	h12	12,5
Плоскость L=32мм	2	1	h14	12,5
Отверстие 15мм	1	-	H11	3,2
То же 34мм	1	-	H12	3,2
Фаска 1x45°	2	2	js14	6,3
Зубчатая 68 <sub>-0,074</sub> мм	16	16	h9	3,2
Шейка 40мм	1	-	f9	0,8
Шейка 46 мм	1	1	h14	12,5
Шейка 42 мм	1	1	f9	0,8
Канавка 7.5±0,2	2	2	H12	6,3
Отверстие резьбовое M16x1,5-6H	1	1	H6	6,3
Отверстие резьбовое M4x1-6H	1	1	H6	6,3
Сумма	31	25	-	-

Конструктивные свойства детали дают возможность использования стандартных технологических и типовых процессов её производства.

Коэффициент унификации элементов [20]:

$$K_{y.э} = \frac{Q_{y.э}}{Q_э} = \frac{25}{31} = 0,806, \quad (1)$$

где  $Q_{y.э}$  - число унифицированных элементов, шт;

$Q_э$  - общее число элементов, шт.

Деталь технологична ( $0,9 > 0,8$ ).

Коэффициент точности обработки [13]:

$$K_T = 1 - \frac{1}{\bar{A}}, \quad (2)$$

где  $\bar{A}$  - средний квалитет

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n IT \cdot n_i}{\sum_{i=1}^n n_i}, \quad (3)$$

- средний квалитет.

$$\begin{aligned} \bar{A} &= 9,774, \\ K_T &= 1 - \frac{1}{9,774} = 0,989, \\ K_T &= 0,989 > 0,85. \end{aligned}$$

Деталь технологична, так как  $0,989 > 0,85$ .

Коэффициент шероховатости поверхности определяется по формуле [20]:

$$K_{Ra} = \frac{1}{\bar{Ra}}, \quad (4)$$

где  $\bar{Ra}$ - средняя шероховатость поверхности.

$$\begin{aligned} \bar{Ra} &= \frac{\sum_{i=1}^n Ra_i}{n}, \\ \bar{Ra} &= 9,726, K_{Ra} = 0,103 < 0,2. \end{aligned} \quad (5)$$

Деталь технологична, так как  $0,103 > 0,2$ .

Коэффициент использования материала для проката:

$$K_{ум} = \frac{q}{Q} = \frac{2,3}{3,17} = 0,73 > 0,6, \quad (6)$$

где q-масса вала, кг;

Q-масса проката, кг.

Для выбранного предварительно метода штамповки можно обеспечить

средний показатель по расходу материала выше, чем у проката.

Коэффициент унификации:

$$\frac{N_{ун}}{N_{\Sigma}} = 0,98 > 0,95. \quad (7)$$

т. е. поверхности вала в основном унифицированы.

По произведенным расчетам можем сделать вывод, что деталь технологична по всем рассчитанным выше коэффициентам.

Для установки вала используется типовая схема для короткого вала – по цилиндрической шейке с упором в торец.

## **1.6 Формулировка задач работы**

На основе проведенного анализа технических требований, предъявляемых к детали, формулируем основные задачи выпускной квалификационной работы, решение которых позволит достичь нам целей которые указаны в введении.

В соответствии с заданием на проектирование нужно решить следующее задачи:

1. Определение тапа производства и выбор основной стратегии разработки процесса изготовления вала;
2. Выбор обоснованного метода получения исходной заготовки. Выбор переходов по обработке поверхностей;
3. Выбрать технологический маршрут обработки заготовки до получения детали, а также выбрать схемы базирования заготовки;
4. На основании разработанного маршрута подобрать основное металлообрабатывающие оборудование, приспособления, режущий инструмент и инструмент для контроля операций обработки;



5. Сделать расчет припусков на механическую обработку и спроектировать заготовку для получения детали вал-шестерня;

6. По разработанному технологическому процессу определить содержание операций, рассчитать режимы резания для обработки заготовки, также подсчитать время, затрачиваемое на обработку;

7. Разработать технологическую документацию и графические материалы.

### **Выводы по разделу**

В разделе проанализированы условия работы детали, обоснованность назначенных требований, технологичность конструкции. На основании проведенного анализа сделан вывод о недостаточно высокой технологичности детали. Сформулированы задачи работы, которые необходимо решить для обеспечения высокоэффективного изготовления заданной детали.

## **2 Разработка технологической части работы**

### **2.1 Анализ базового техпроцесса**

Годовой объем выпуска составляет 3000 деталей в год. С учетом приблизительной массы в 3 кг это соответствует среднесерийному типу производства [13].

Деталь данного типа требует обработки последовательно на станках токарного типа для черновой и чистовой обработок.

Для формирования зубчатой поверхности необходимо применить специализированные методы обработки. Предпочтительнее методы огибания – зубофрезерование червячными фрезами. Отверстие требует много переходной обработки, так как требования под установку упорного подшипника высокие и вся обработка включает и черновое и чистовое растачивание.

Из-за необходимой высокой твердости поверхностного слоя используется термообработка. После чего необходимо ввести шлифование шеек. Обработка зубьев также требует применения шлифовальных переходов. Для каждого этапа применяется свой тип станка.

Лимитирующими переходами будет чистовая токарная обработка, обработка зубьев, фрезерование сквозного паза.

Более подробно все эти методы будут рассмотрены в следующих подразделах.

Для повышения эффективности и производительности обработки предлагается использовать высокоскоростной обрабатывающий токарный центр с возможностью выполнения в том числе фрезерных и зубофрезерных переходов, а также возможность обработки отверстий, включая резьбовые.

## 2.2 Выбор заготовки

Сравниваться будут прокат и штамповка [5, 13].

Себестоимость получения и обработки заготовок [12]:

$$C_{T1} = g/K_{им} \cdot [C_{заг} + (C_{мех} - C_{отх}) \cdot (1 - K_M)], \quad (8)$$

где  $g$  – масса вала, кг;

$K_{им}$  – коэффициент использования материала;

$C_{заг_i}$  – стоимость исходной заготовки, руб/кг;

$C_{мех}$  – траты на обработку, руб/кг;

$C_{отх}$  – цена килограмма лома,  $C_{отх} = 0,0298$  руб/кг.

Затраты по удалению одного килограмма стружки лезвийным и абразивным инструментом:

$$C_{мех} = C_C + E_M \cdot C_K, \quad (9)$$

где  $C_C=4,95$  – переменные затраты;

$C_K=10,85$  – капитальные затраты;

$E_H= 0,15$  – нормативный коэффициент отдачи капитальных вложений.

После подстановки:

$$C_{мех} = C_C + E_M \cdot C_K = 4,95 + 10,85 \cdot 0,15 \approx 6,58 \text{ руб/кг.}$$

С учетом полученных параметров [3] штамповка будет стоить:

$$C_{заг} = C_{шт} \cdot h_m \cdot h_c \cdot h_b \cdot h_m \cdot h_n, \text{ руб/кг,} \quad (10)$$

где  $C_{шт} = 38,26$  руб/кг – стоимость штамповки на ГКШП;

$h_T = 1$  для четвертого класса размерной точности;  
 $h_C = 0,8$  для второй группы сложности штамповки;  
 $h_B = 0,8$  для материала 40Х;  
 $h_M = 1,3$  для массы более 3 кг;  
 $h_{II} = 1$  для серийного производства [12].

Тогда стоимость штамповки:

$$C_{заг} = 38,26 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1,3 \cdot 0,9 = 31,83 \text{ руб/кг.}$$

Стоимость проката

$$C_{заг} = C_{mat} \cdot h_{\phi} \text{ ,руб/кг} \quad (11)$$

где  $C_{mat}$  - стоимость материала,  $C_{mat} = 20,74$  руб/кг;

$h_{\phi}$  - коэффициент формы проката,  $h_{\phi} = 1,03$ .

$$C_{заг} = 20,74 \cdot 1,03 = 21,36 \text{ , руб/кг.}$$

С учетом найденных затрат на единицу массы заготовки найдем технологическую себестоимость изготовления детали по двум вариантам.

Для штамповки:

$$\begin{aligned}
 C_{T1} &= \frac{2,3}{0,85} \cdot [31,83 + (6,58 - 1,4) \cdot (1 - 0,85)] = \\
 &= 99,7 \text{ руб,}
 \end{aligned}$$

где  $K_{им1} = \frac{q}{Q} = \frac{2,3}{2,7} = 0,85$ .

Для проката:

$$C_{T1} = \frac{2,3}{0,73} \cdot [20,74 + (6,58 - 1,4) \cdot (1 - 0,73)] =$$

$$= 69,75 \text{ руб.}$$

где  $K_{им2} = \frac{q}{Q} = \frac{2,3}{3,17} = 0,73$ .

Более выгодным способом является прокат.

### 2.3 Выбор технологических переходов

В таблице 5 рассмотрены все поверхности с точки зрения их обработки от заготовительного этапа до окончательного формирования по заданным требованиям [10, 21].

Таблица 5 - Выбор технологических переходов по поверхностям

Поверхность	Точность, квалитет	Шероховатость, мкм	Технология
1	2	3	4
1 Плоская	11	3,2	Фрезерование черновое, чистовое
2 Шейка цилиндрическая	9	0,8	Точение черновое, чистовое, шлифование черновое, чистовое
3 Канавка	11	1,6	Точение черновое, чистовое
4 Шейка	12	12,5	То же
5 То же	9	3,2	То же
6 То же	12	1,6	Точение черновое, чистовое, шлифование черновое, чистовое
7 торец	12	1,25	Точение черновое, чистовое
8 То же	12	6,3	Сверление - растачивание
9 Резьба	6Н	6,3	Нарезание резьбы
10 Отверстие»	11	3,2	Сверление - растачивание
11 Резьба	6Н	6,3	Точение черновое, чистовое – нарезание резьбы
12 Торец	12	12,5	Точение черновое, чистовое

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4
13 То же	12	12,5	То же
14 То же	12	12,5	То же
15 Фаска	12	12,5	То же
16 отверстие	12	12,5	Сверление
17 То же	12	12,5	Сверление
18 торец	12	12,5	Растачивание
19 Плоскость	12	12,5	Фрезерование черновое, чистовое
20 Фаска	12	12,5	Точение черновое, чистовое
21 Зубчатая	7-С	3,2	Зубофрезерование - Зубошлифование
22 Торец	12	12,5	Точение черновое, чистовое

## 2.4 Расчет припуска аналитически

Рассчитаем припуск на поверхность 2 с параметрами диаметр  $D = 40_{-0.025}^{0.087}$  и шероховатость  $Ra=0,8$  мкм. Расчеты занесем в таблицу 6 [11, 13].

Таблица 6 - Расчет припуска

Переходы	Элемент припуска, мм				Td, мм	2·Z, мм		D, мм	
	T	R <sub>z</sub>	ρ	ε <sub>ц</sub>		min	max	min	max
Прокат	250	150	1600	-	1,6	-	-	42,85	44,45
Точение черновое	50	50	96	15 0	0,4	2,43	3,63	40,422	40,822
Точение чистовое	30	30	80	30	0,12	0,313	0,59	40,108	40,228
Шлифование	15	5	64	20	0,058	0,195	0,257	39,913	39,975

Ниже приводятся расчетные формулы для нахождения элементов припуска [12]:

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{ц}}^2 + \rho_{\text{см}}^2}, \quad (12)$$

где  $\rho_{\text{кор}}$  – коробление искривление прутка, мм;

$\rho_{\text{ц}}$  - погрешность зацентровки, мм (для патрона равна нулю);

$\rho_{\text{см}}$  – погрешность смещения, мм.

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta k \cdot l = 7,5 \cdot 108 = 800 \text{ мкм.} \quad (13)$$

где  $\Delta k$  – коробление удельное прутка, мм;

$l$  – длина прутка, мм.

$$\rho_{\text{заг}} = 0,8 \text{ мм.}$$

$$\rho_{\text{точ1}} = K_1 \cdot \rho_{\text{заг}} = 0,06 \cdot 1,6 = 0,096 \text{ мм,}$$

$$\rho_{\text{точ2}} = K_2 \cdot \rho_{\text{заг}} = 0,05 \cdot 0,8 = 0,048 \text{ мм,}$$

$$\rho_{\text{шл}} = K_3 \cdot \rho_{\text{заг}} = 0,04 \cdot 0,8 = 0,032 \text{ мм.}$$

## 2.5 Проектирование заготовки

Поскольку выбран прокат необходимо определить ближайший больший размер и точность на диаметр и отрезку.

Точность – прокат обычной точности. Диаметр внешний – вершина зубьев 67 мм. Два перехода – черновой и чистовой. Соответственно суммарный припуск равен 2 мм на сторону или 4 мм на диаметр. Тогда наружный диаметр заготовки должен быть 71 мм. Округляем до ближайшего размера 72 мм по Отклонения +0,5 мм и -1,1 мм [12].

Отрезка на круглопильном станке с погрешностью плюс-минус 0,5 мм.

## 2.6 Разработка технологического маршрута и схем базирования

В разделе с помощью типового техпроцесса сформируем наш процесс, учитывая замечания пункта 2.1.

В таблице 7 приведено сравнение базовой технологии и предлагаемой для реализации на многофункциональном обрабатывающем центре [21].

Таблица 7 - Сравнение технологий

Базовая технология	Комплексная технология
Наладка	Наладка
Токарная обработка, включая резьбонарезание	Токарная обработка, включая резьбонарезание
Транспортировка, хранение	Экономия
Наладка	Экономия
Фрезерная обработка (зубья)	Фрезерная обработка (зубья)
Термообработка	Термообработка
Наладка	Наладка
Круглошлифование	Круглошлифование
Транспортировка, хранение	Транспортировка, хранение
Наладка	Наладка
Зубошлифование	Зубошлифование

Для упрощения предлагается зубофрезерование провести на токарном обрабатывающем центре. Освобождается одна единица оборудования, устраняется время на транспортировку и хранения заготовок между операциями [10].

В таблице 8 показан весь маршрут обработки вала-шестерни.

Таблица 8 - Разработка технологического маршрута

№ опер.	Наименование	Оборудование	Содержание	IT	Ra
1	2	3	4	5	6
000	Заготовительная	Круглопильный	Отрезка проката	14	12,5
010	Токарная комплексная	Токарно-фрезерный центр Multus U3000	Установ А Точение по контуру: поверхности 6, 14, 7	13	6,3
			Установ Б Точение черновое по контуру: поверхности 12, 2,	13	6,3



Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6
-	-	-	22, 4, 13, 5 Установ В Точение чистовое по контуру: поверхности 6,7,14. Сверление поверхность 16 Растачивание 8 Установ Г Фрезерование паза Сверление поверхности 17 Резьбонарезание 11 Зубофрезерование Точение канавки 3 Сверление 17 Резьбонарезание 11 Растачивание 10,18	9 12 11 11 12 6 9 9 11 6 9	2,5 6,3 3,2 2,5 3,2 2,5 3,2 1,6 3,2 3,2 2,5
010	Термообработка	Печь	-	-	-
015	Круглошлифовальная	Торцекруглошлифовальный полуавтомат КШ-3 CNC	Установ А Шлифовать поверхности 6, 14 Установ Б Шлифовать поверхности 2, 22	9	1,6
020	Зубошлифовальная	Зубошлифовальный полуавтомат GearSpect SBO 340 CNC Basic	Шлифовать поверхности 21	7	1,25
025	Моечная	Моечная машина	-	-	-
030	Контрольная	Стенд контрольный	-	-	-

## 2.7 Разработка схем базирования

Черновой базой для установки заготовки на токарной операции на установе А является цилиндрическая наружная поверхность  $5^{00}$  с плоскостью  $12^{00}$ . На следующем установе Б базой будет обработанная поверхность – шейка  $6^{05}$  и торец  $7^{05}$ . Далее по технологии эти базы чередуются. Это делается в соответствии с принципом постоянства баз. Схемы базирования представлены на плане изготовления [10, 20].

## 2.8 Выбор оснащения

Для проведения обработки на операциях необходимо выбрать оборудования и для него подобрать оснащение [1, 7, 16, 18]. Этот выбор показан в таблицах 9 - 11.

Таблица 9 - Выбор технологического оборудования

№ опер.	Наименование оборудования	Габариты станка	Рабочая зона		Диапазон и число скоростей (об/мин)	Подача, число подач мм/об	N, кВт
			длина (L)	ширина (D)			
005 -	Токарно-фрезерный центр Multus U3000 -	4925x2995 x3052 -	650 -	1000 -	12,5-5000 б/с -	продольная : 3-200 поперечная : 1,5-600 Б/с	22 -
015	Круглошлифовальный полуавтомат КШ-3СNC	2180 x 1630 x 1870	200	360	-	-	5
020	Зубошлифовальный полуавтомат Gear Spect SBO 340 CNC	2000x1800 x1800	350	-	1000- 2000 б/с	продольная максимальная 5 мм/об	5

Таблица 10 - Выбор станочного приспособления

№ опер.	Наименование оборудования	Наименование приспособления	базы	Установочные элементы	зажимные элементы
1	2	3	4	5	6
005	Токарно-фрезерный центр Multus U3000	1. Патрон трехкулачковый 2421М 195, люнет	12 <sup>00</sup> 5 <sup>00</sup> (7 <sup>05</sup> 6 <sup>05</sup> )	Кулачки, ролики	

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6
010	Печь электрическая	Печь	-	-	-
015	Круглошлифовальный полуавтомат КШ-3СNC	Патрон цанговый серия QCRS 80, люнет.	22 <sup>05</sup> 2 <sup>05</sup> (7 <sup>05</sup> 6 <sup>05</sup> )	Лепестки цанги, ролики	
020	Зубошлифовальный полуавтомат GearSpect SBO 340 CNC Basic	Патрон цанговый серия QCRS 80.	2 <sup>015</sup> 22 <sup>015</sup>	Цанга, ролики	

Таблица 11 - Выбор режущего инструмента

№ операции	Режущий инструмент	Метод обработки	Инструментальный материал	Геометрия					Размеры
				φ	φ	α	γ	τ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
005	Резец для контурного точения STGCR 2525M16	Точение	T5K10	93		10	10		L=150 мм; B=32 мм
005	Резец для канавки R/LF 151.23-2525-40	Точение	T5K10	93		10	10		L=150 мм; B=32 мм
005	Резец расточной BT32-PTG NR-L-2532-16	Растачивание	T5K10	93		10	10		L=150 мм; B=32 мм
005	Сверло диаметр 5 мм 035-2302-0001 P6M5 ГОСТ	Сверление	P6M5K5						Ø5мм, L=50 мм
005	Сверло диаметр 14 мм 035-2301-1033 P6M5 ОСТ 2И20-2-80	Сверление	P6M5K5						Ø14мм, L=80 мм
005	Метчик М6 ГОСТ, М6 ГОСТ	Нарезание резьбы	P6M5	-	-	-	-	-	
005	Фреза дисковая 2240-0387 T15K6 ГОСТ 3755-78	Зубофрезерование	P9K10			12	0		Ø90мм

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01 5	Круг шлифовальный с выточкой 5 500x80x123 24А 40F 7 V5 35м/с 1 А ГОСТ 52781-2007	Шлифо- вание	Электро- корунд белый						500*80*1 23
02 0	Круг шлифовальный червячный 5 500x80x123 24А 40F 7 V5 35м/с 1 А ГОСТ 52781-2007	Шлифо- вание	Электро- корунд белый						500*80*1 23

Выбор средств контроля и измерений: штангенциркуль ШЦ-П-250-0,05 ГОСТ 166-89; микрометр МК-50 ГОСТ 6507-78; прибор БВ-5061 цехового типа; скоба рычажная СР ГОСТ 11098-75; профилометр TR-110 [16].

## 2.9 Разработка технологических операций.

Расчет режимов резания выполняется на все переходы для операции 005 токарной [9, 14].

Расчет режимов резания на точение черновое, чистовое, сверление под нарезание резьбы двух типоразмеров, нарезание резьбы метчиком двух типоразмеров и канавки, зубофрезерование зубчатого венца.

Черновая обработка имеет следующие режимы. Глубина резания по расчету получается:  $t = 3$  мм. Подача черновая:  $S=0,8$  мм/об. Скорость резания [21]:

$$V = \frac{C_v}{T^{m \cdot t^x \cdot S^y}} \cdot K_v, \quad (14)$$

где  $C_v=350$ - коэффициент для точения;

$T=90$  мин - стойкость инструмента;

$m=0,2$ ;  $y=0,35$ ;  $x=0,15$  - табличные значения показателей степени;

$K_v$ - общий поправочный коэффициент, рассчитывается по формуле:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv} \cdot K_\varphi \cdot K_r, \quad (15)$$

где  $K_{mv} = 1,2$ ;  $K_{nv} = 1$ ;  $K_{iv} = 1,2$ ;  $K_\varphi = 1,2$ ;  $K_r = 1$  – поправочные параметры;

$$K_v = 1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,2 = 1,73.$$

$$V = \frac{350}{90^{0,2} \cdot 3^{0,15} \cdot 0,8^{0,35}} \cdot 1,73 = 225 \text{ мм/мин.}$$

Частота вращения шпинделя для максимального диаметра 67 мм:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 225}{3,14 \cdot 67} = 1069 \text{ об/мин.}$$

Основная обработка на скорости:

$$n_p = \frac{1000 \cdot 225}{3,14 \cdot 50} = 1433 \text{ об/мин.}$$

Основная составляющая сила резания  $P_z$ :

$$P_z = 10 C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V_\phi^n \cdot K_p, \quad (16)$$

где  $C_p=200$ ;  $y=0,75$ ;  $x=1$ ;  $n=0$  – поправочные параметры;

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} = 0,89 \cdot 0,93 \cdot 0,95 = 0,79.$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 3^1 \cdot 0,8^{0,75} \cdot 225^{-0,15} \cdot 0,79 = 2669 \text{ Н.}$$

Рассчитаем эффективную мощность резания:

$$N_{\text{э}} = \frac{P_z \cdot V_{\text{ф}}}{1020 \cdot 60}, \quad (17)$$
$$N_{\text{э}} = \frac{2669 \cdot 225}{1020 \cdot 60} = 9,8 \text{ кВт.}$$

Паспортная мощность главного привода станка 22 кВт [21].

Глубина резания при чистовом точении:  $t = 0,45$  мм. Подача:  $S = 0,25$  мм/об. Скорость резания соответственно

$$V = \frac{420}{90^{0,2} \cdot 0,45^{0,15} \cdot 0,25^{0,2}} \cdot 1,14 = 285 \text{ мм/мин.}$$

Частота вращения чистового точения:

$$n_{\text{р}} = \frac{1000 \cdot 285}{3,14 \cdot 67} = 1355 \text{ об/мин.}$$

Для точения канавки ринимаем режимы чистового точения.

Для сверления диаметров 5 мм и 14 мм глубина резания 2,5 мм и 7 мм. Подача 0,07 мм/об и 0,25 мм/об. Скорость резания 27 м/мин и 35 м/мин. Обороты равны 1720 об/мин и 796 об/мин [21].

Резьбонарезание: подача 0,5 мм/об и 1 мм/об. Скорость резания 18 м/мин. Обороты по отверстиям 955 об/мин и 358 об/мин.

Зубофрезерование:

Основное технологическое время [10]:

$$T_{\text{о}} = T_{\text{о черн}} + T_{\text{о чист}}, \quad (18)$$

где основное время

$$T_{\text{о черн(чист)}} = \frac{L}{n_{\text{ст}} \cdot S} \cdot i, \quad (19)$$

где  $L$ - расчетная длина обрабатываемой поверхности:

$$L = l + l_1 + l_2 = l + t \cdot \operatorname{ctg} \varphi + 2,5 \cdot S \quad (20)$$

где  $L_{\text{черн}} = 126$  мм.  $L_{\text{чист}} = 140$  мм.

$$T_{\text{о черн}} = \frac{106}{1069 \cdot 0,8} \cdot 1 = 0,12 \text{ мин.}$$

$$T_{\text{о черн}} = \frac{95}{1433 \cdot 0,8} \cdot 1 = 0,33 \text{ мин.}$$

$$T_{\text{о чист}} = \frac{95}{1355 \cdot 0,25} \cdot 4 = 0,28 \text{ мин.}$$

$$T_{\text{о чист}} = \frac{4}{1355 \cdot 0,25} \cdot 2 = 0,02 \text{ мин.}$$

$$T_{\text{о св1}} = \frac{12}{1780 \cdot 0,07} \cdot 1 = 0,1 \text{ мин,}$$

$$T_{\text{о св2}} = \frac{23}{796 \cdot 0,25} = 0,12 \text{ мин,}$$

$$T_{\text{о р1}} = \frac{12}{955 \cdot 0,5} \cdot 1 = 0,03 \text{ мин,}$$

$$T_{\text{о р2}} = \frac{18}{358 \cdot 1} = 0,05 \text{ мин,}$$

$$T_{\text{о}} = 0,12 + 0,33 + 0,28 + 0,02 + 0,1 + 0,12 + 0,03 + 0,05 = 1,1 \text{ мин.}$$

На зубофрезерный переходы. Согласно технологическому маршруту будем использовать дополнительный фрезерный навесной блок-кадетку. Для данной операции будем использовать червячную фрезу диаметром 90 мм, материал режущей части Р9К10.

На данной операции обрабатываются следующие зубчатые поверхности: эвольвента 21 и дно впадины.

Глубина фрезерования:  $t=8$  мм.

Ширина фрезерования  $B=7$  мм.

Подача: Согласно рекомендациям назначаем подачу на оборот:

$$S_0 = 2,6 \text{ мм/об;}$$

Тогда подача на зуб будет равна:

$$S_z = \frac{S_o}{z} = \frac{2,6}{9} = 0,29 \text{ мм/зуб.} \quad (21)$$

Скорость резания:

$$V = v_{\text{табл}} \cdot K_{v1} \cdot K_{v2} \cdot K_{v3}, \quad (22)$$

где  $v_{\text{табл}}=43$  м/мин – табличная скорость фрезерования;

$K_{v1}$  – коэффициент, учитывающий твердость материала заготовки;

$K_{v2}$  – коэффициент, учитывающий химический состав материала заготовки;

$K_{v3}$  – коэффициент, учитывающий отношение фактической стойкости фрезы к табличной  $T=240$  ми.

Скорость резания:

$$V = 43 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 43 \text{ мм/мин.}$$

Частота вращения шпинделя:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 43}{3,14 \cdot 90} = 152 \frac{\text{об}}{\text{мин}}. \quad (23)$$

По паспорту станка принимаем ближайшую ступень, так что  $n_{\text{ст}} \leq n_p$ .

Принимаем:  $n_{\text{ст}} = 150$  об/мин; тогда  $V_{\text{ф}} = 42,4$  мм/мин.

Сила резания при зубофрезеровании составит:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n_{\text{ст}}^\omega} \cdot K_{\text{мп}}, \quad (24)$$

где  $C_p=68,2$  - коэффициент;

$x=0,86$ ,  $y=0,72$ ;  $u=1$ ;  $q=0.86$ ;  $\omega=0$  - табличные показатели степени;



$K_{\text{мп}}$ - поправочный коэффициент:

$$K_{\text{мп}} = \left(\frac{655}{700}\right)^{0,3} = 0,98.$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 8^{0,86} \cdot 0,28^{0,72} \cdot 71 \cdot 9}{90^{0,86 \cdot 1}} \cdot 0,98 = 2100 \text{ Н.}$$

Мощность резания. Рассчитаем эффективную мощность резания:

$$N_э = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \quad (25)$$

$$N_э = \frac{2100 \cdot 42,4}{1020 \cdot 60} = 1,45 \text{ кВт.}$$

Потребляемая мощность на шпинделе станка:

$$N_{\text{п}} = \frac{N_э}{\eta}, \quad (26)$$

$$N_{\text{п}} = 1,45 / 0,9 = 1,6 \text{ кВт.}$$

$N_{\text{п}} < N_{\text{ст}}$  ( $1,6 < 3$ ) - таким образом, данный станок можно эксплуатировать на данных режимах резания.

Основное технологическое время:

$$T_0 = \frac{L}{S_{\text{м}}} \cdot i, \quad (27)$$

где  $L$ - расчетная длина обрабатываемой поверхности:

$$L = l + l_1 + l_2, \quad (28)$$

где  $l$ - чертежная длина обрабатываемой поверхности, мм;

$$l_1 = \sqrt{t(D - t)} = 25,6 \text{ мм- величина врезания;}$$

$$l_2 = 3 \text{ мм- величина перебега;}$$

$S_M$ - минутная подача:

$$S_M = S_Z \cdot n \cdot z, \quad (29)$$

$$S_M = 0,28 \cdot 150 \cdot 9 = 378 \text{ мм/мин}$$

$$T_0 = \frac{32+25,6+3}{378} \cdot 15 = 2,4 \text{ мин.}$$

Растачивание. Глубина резания:  $t = 3$  мм, 4 прохода черновых, 1 - чистовой. Подача:  $S=0,7$  мм/об и  $0,08$  мм/об. Скорость резания:

$$V = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v \quad (30)$$

где  $C_V=350$ - коэффициент для растачивания;

$T=90$  мин- стойкость инструмента;

$m=0,2$ ;  $y=0,35$ ;  $x=0,15$ ;-табличные значения показателей степени.

$K_v$ - общий поправочный коэффициент, рассчитывается по формуле:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv} \cdot K_\varphi \cdot K_r \quad (31)$$

где  $K_{mv} = 1,2$ ;  $K_{nv} = 1$ ;  $K_{iv} = 0,85$ ;  $K_\varphi = 0,7$ ;  $K_r = 1$  – поправочные параметры;

$$K_v = 1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 0,7 = 0,7.$$

$$V = \frac{350}{90^{0,2} \cdot 3^{0,15} \cdot 0,7^{0,35}} \cdot 0,7 = 96 \text{ мм/мин.}$$

Частота вращения шпинделя по формуле:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 96}{3,14 \cdot 76} = 401 \text{ об/мин.}$$

Основная составляющая сила резания  $P_z$ :

$$P_z = 10C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V_\phi^n \cdot K_p, \quad (32)$$

где  $C_p=200$ ;  $y=0,75$ ;  $x=1$ ;  $n=0$  – поправочные параметры;

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{op} \cdot K_{yp} \cdot K_{\lambda p} = 1.$$

$$P_z = 10 \cdot 200 \cdot 3^1 \cdot 0,7^{0,75} \cdot 96^0 \cdot 1 = 4592 \text{ Н.}$$

Рассчитаем эффективную мощность резания:

$$N_\varepsilon = \frac{P_z \cdot V_\phi}{1020 \cdot 60}, \quad (33)$$

$$N_\varepsilon = 7,2 \text{ кВт.}$$

Основное технологическое время

$$S_m = 0,7 \cdot 401 = 281 \text{ мм/мин}$$

$$T_o = \frac{10}{281} \cdot 1 = 0,04 \text{ мин.}$$

Фрезерование паза проводится при помощи концевой фрезы 2F342-1000-050-PC 1730. Обработка ведется за 4 прохода по глубине и 2 прохода по ширине на черновом этапе. На чистовом проходе идет зачистка стенок паза за два прохода слева и справа.

Черновая обработка: глубина 5 мм, подача на зуб 0,058 мм/зуб, скорость резания 172 м/мин, обороты 5460 об/мин, минутная подача 1610 мм/мин, мощность 6,1 кВт.

Чистовая обработка: глубина 2 мм, подача на зуб 0,07 мм/зуб, скорость резания 256 м/мин, обороты 8140 об/мин, минутная подача 2950 мм/мин, мощность 3,4 кВт.

Основное время при фрезеровании паза 1 мин.

Суммарное время обработки с учетом фрезерования зубьев, паза и растачивания (0,05 мин) равно

$$T_0 = 0,12 + 0,33 + 0,28 + 0,02 + 0,1 + 0,12 + 0,03 + 0,05 \\ + 2,4 + 0,04 + 1 = 4,54 \text{ мин.}$$

Норму штучного - калькуляционного времени  $T_{шт-к}$ :

$$T_{шт-к} = \frac{T_{п.з.}}{n} + T_0 + T_{всп} + T_{обс.} + T_{отд.} \quad (33)$$

где  $T_{п.з.}$  - подготовительно-заключительное время на всю партию запуска  $n$ ;

$$n = \frac{N}{254} \cdot \alpha = \frac{3000}{254} \cdot 9 = 106 \text{ шт.}$$

Для операции на наладку станка и установку приспособления при установке заготовки в патроне:  $T_{п-з}=20$  мин.

Тогда определяем штучно-калькуляционное время  $T_{шт-к}$  по формуле:

$$T_{шт-к}=20/106+4,54+0,8+1,1=6,6 \text{ мин.}$$

### **Выводы по разделу**

Разработана технология с выбором заготовки, выбраны переходы, назначены операции. Для всех операции приводится оснащение, станки. Для лимитирующей операции рассчитаны режимы резания и время обработки.

Технологическая документация представлена в приложении А.

### 3 Проектирование специальных средств оснащения

#### 3.1 Сбор данных

В разделе описывается расчет патрона для токарного станка на токарную операцию. Он должен обеспечить возможность установки и обработки заготовки на черновых переходах по точению, чистовую обработку, включая точение канавки, сверление под резьбовые отверстия, нарезание резьбы метчиком, растачивание, а также зубофрезерование зубчатого венца и фрезерование паза.

Заготовка – прокат из стали 40Х [8]. Все силовые расчеты на переходы выполнены в предыдущем разделе.

Получены следующие результаты:

Точение черновое –  $P_z = 2669$  Н,  $P_y = 1148$  Н.  $M_{кр} = 90$  Нм.

Сверление –  $M_{кр} = 21$  Нм.

Растачивание –  $P_z = 4592$  Н.

Зубофрезерование зубчатого венца –  $P_z = 2100$  Н.

Тип проектируемого приспособления переналаживаемое (для обработки различных заготовок), одноместное универсальное приспособление – токарный патрон. Предусматривается различная форма сменных кулачков.

В схему установки входит только патрон.

Операционные эскизы представлены на рисунка 2 и 3.

#### 3.2 Расчет усилия зажима

Расчет силы зажима проведем с учетом особенностей каждой схемы установки (рисунки 4) и с учетом переходов, которые выполняются на каждом из них.

Тангенциальная составляющая сил резания при точении проворачивает заготовку в патроне (рисунок 4). Кулачки через силу зажима, создающую силу трения между кулачками и зажимаемой поверхностью, препятствуют этому. Кроме этого, радиальная сила стремится вывернуть заготовку из кулачков относительно точки поворота - крайней точки поверхности зажима.

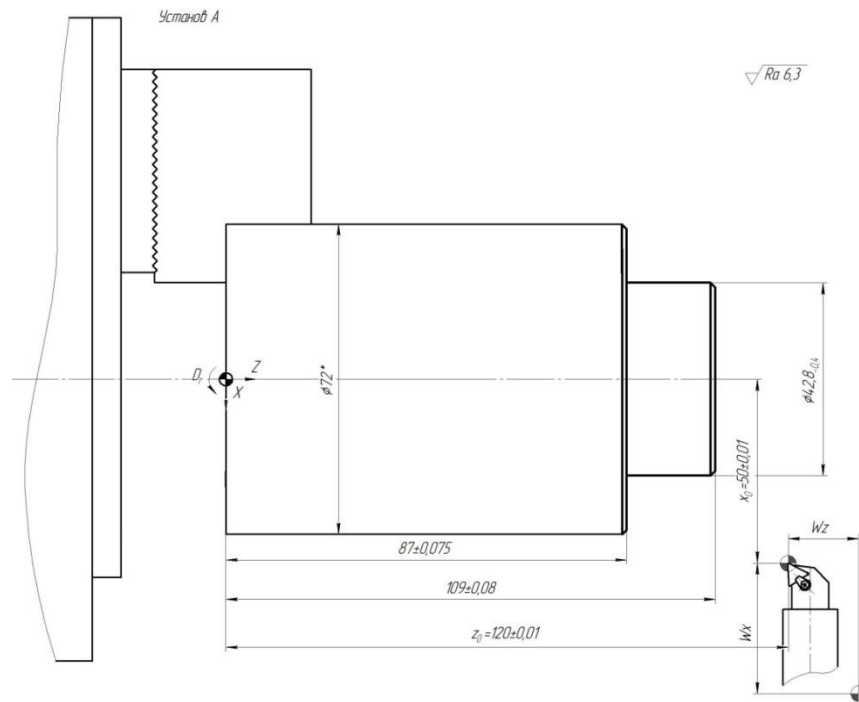


Рисунок 2 – Схема для расчета сил зажима на установе А - точение

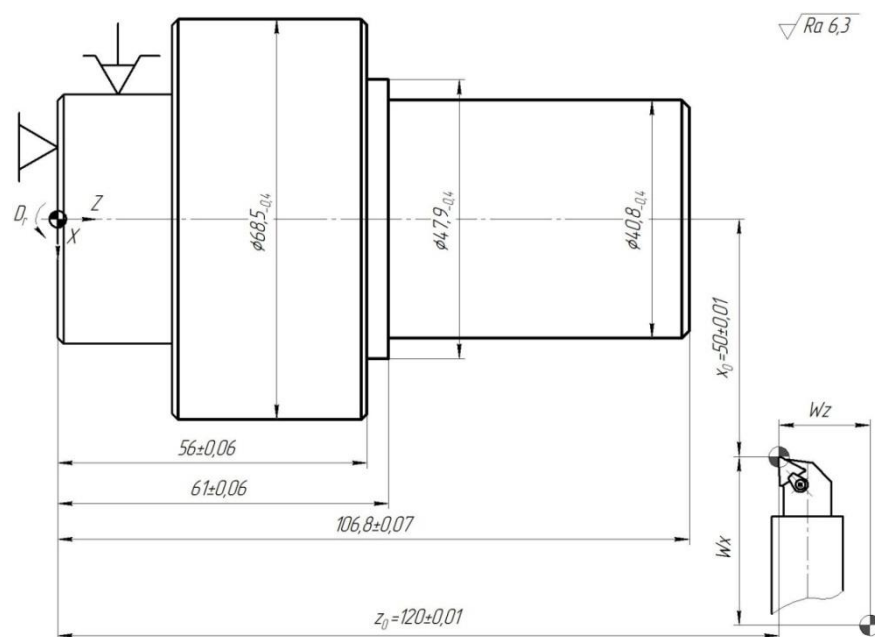


Рисунок 3 – Схема для расчета сил зажима на установе Б - точение

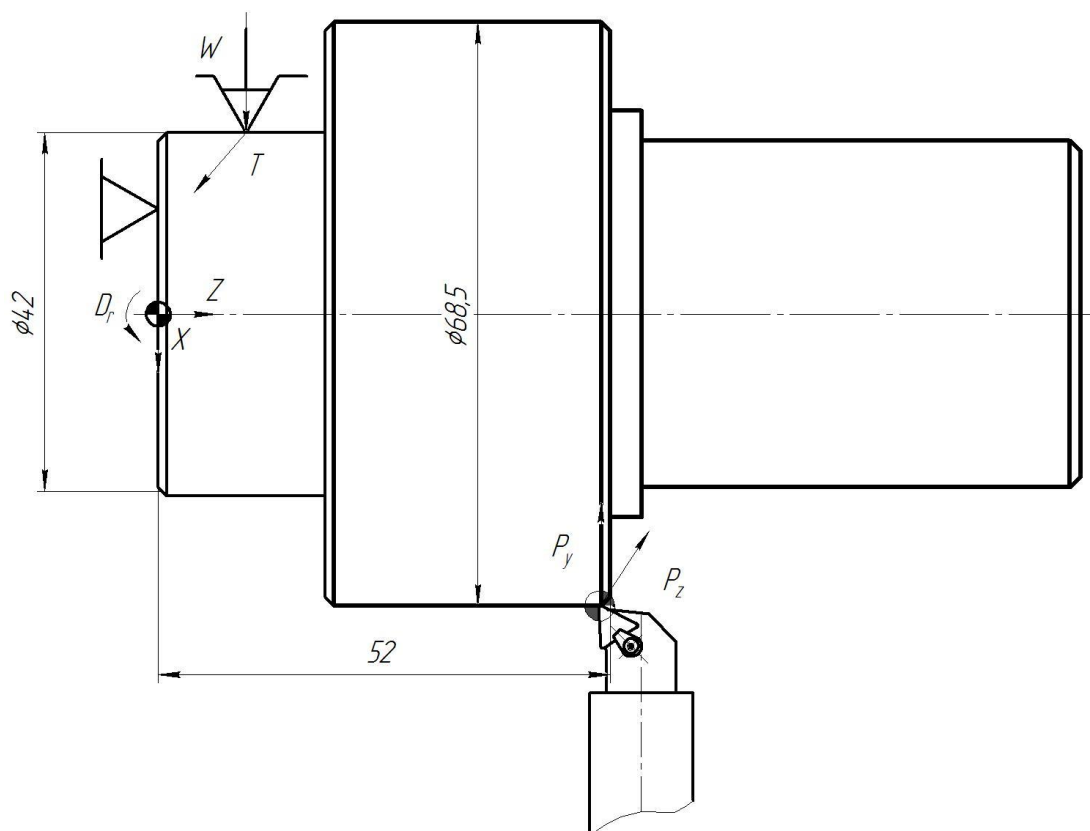


Рисунок 4 – Схема для расчета сил закрепления

Заготовка на установках А и Б оказывается в трех кулачках и осевая сила  $P_x$  прижимает заготовку, поэтому при расчете не учитываем.

Поэтому учитываем только тангенциальную и радиальную составляющие силы резания.

Для расчета силы закрепления составим уравнение равновесия сил. Уравнение [22]

$$K(P_y L_1) = W \cdot f(L_3), \quad (34)$$

$$K(P_z L_2) = W \cdot f(d_3/2), \quad (35)$$

где  $P_z$ ,  $P_y$  – тангенциальная и радиальные составляющие силы резания, Н;

$L_1$ ,  $L_2$  – плечи действия сил резания, мм;

$d_3$  – диаметр закрепления мм;

$W$  – сила зажима, Н;

$f$  – коэффициент трения в контакте кулачок – заготовка;

$K$  – коэффициент безопасности определяется как:

$$K = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5; \quad (36)$$

«где  $k_0$  – минимальный по безопасности коэффициент,  $k_0 = 1,5$ ;

$k_1$  – параметр, учитывающий неравномерность сил резания при черновой обработке,  $k_1 = 1,2$ ;

$k_2$  – параметр, учитывающий износ инструмента,  $k_2 = 1,2$ ;

$k_3$  – параметр, учитывающий прерывистое резание (для фрезерования),  $k_3 = 1,2$ » [16];

$k_4$  – параметр, учитывающий механизацию зажима,  $k_4 = 1,0$ ;

$k_5$  – коэффициент для механизированного зажима,  $k_5 = 1,0$  [21, 24].

$$k = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 = 2,59.$$

Тогда сила закрепления для точения на установке А будет

$$W = \frac{K(P_y L_1)}{f(L_3)} = \frac{2,5 \cdot 1148 \cdot 0,052}{0,2 \cdot 0,01} = 74620 \text{ Н,}$$

$$W = \frac{K(P_z L_2)}{f(d_3/2)} = 2 \frac{2,5 \cdot 2669 \cdot 0,034}{0,2 \cdot 0,042} = 54015 \text{ Н.}$$

Выбираем максимальное значение 74620 Н, которое уточняем с учетом потерь от трения в направляющих.

$$W_1 = \frac{W}{1 - \left( \frac{3 \cdot l_k}{H_k} \cdot f_1 \right)} \quad (37)$$

где  $l_k$  – вылет кулачков, мм;



$H_k$  – длина направляющей, мм;

$f_l$  - коэффициент трения смазанных поверхностей,  $f_l=0,07$ .

$$W_1 = \frac{74620}{1 - \left( \frac{3 \cdot 20}{100} \cdot 0,07 \right)} = 74934 \text{ Н.}$$

### 3.3 Расчет зажимного механизма

Сила  $Q$  на механизированном приводе увеличивается за счет использования клинового зажима [23]:

$$Q = \frac{W_1}{i_c} \quad (38)$$

где  $i_c$  – усиливающий коэффициент, который определяется по отношению плеч рычага, которое равно 2,8.[21].

$$Q = \frac{W_1}{i_c} = \frac{74934}{2,8} = 26762 \text{ Н.}$$

Диаметр корпуса патрона  $D_{II}$ , мм:

$$D_{II} = d_3 + 2 \cdot H_k = 80 + 2 \cdot 100 = 280 \text{ мм.} \quad (39)$$

Принимаем конструктивно 330 мм.

### 3.4 Расчет силового привода

У станка привод зажима расположен с обратного конца шпинделя. Для максимального усилия используется гидравлический привод. Найдем диаметр его поршня:

$$D = 1.13 \cdot \sqrt{\frac{Q}{P}}, \quad (40)$$

где  $P$  – давление среды, МПа. Принимаем  $P=5$  МПа.

$$D = 1.13 \cdot \sqrt{\frac{Q}{P}} = 1.13 \cdot \sqrt{\frac{26672}{5}} = 83 \text{ мм.}$$

Полученный размер поршня  $D < 120$  мм. Для закрепления-раскрепления заготовки найдем ход поршня:

$$S_Q = \frac{S_W}{i_{II}}, \quad (41)$$

где  $S_W$  – минимум смещения кулачков для беспрепятственной установки заготовки,  $S_W = 4$  мм;

$i_{II} = \operatorname{ctg} \alpha$  - передаточный параметр

$$i_{II} = \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} 7^\circ = 0,122;$$

$$S_Q = \frac{S_W}{i_{II}} = \frac{4}{0,122} = 32,8 \text{ мм.}$$

Принимаем  $S_Q = 40$  мм.

### 3.5 Точность установки в патроне

Точность определяется погрешностью перехода предварительного растачивания перед обработкой кулачков. Погрешность не должна быть более:

$$\varepsilon_v = 0,3 \cdot Td = 0,3 \cdot 400 = 120 \text{ мкм}, \quad (42)$$

где  $Td$  – технологический допуск на самый точный преход, мм.

### 3.6 Описание работы патрона

Трехкулачковый патрон предназначен для консольного зажима вала шестерни на токарных операциях на черновых и чистовых переходах.

Состоит из корпуса 11, который крепится на шпинделе станка через три ступенчатых отверстия при помощи винтов (на листе не показаны). Передняя часть корпуса 11 закрывается крышкой 12, которая обеспечивает защиту внутренней полости патрона от попадания смазки, стружки, грязи. Для манипуляций внутри патрона используется технологическое отверстие в крышке 12, которая заглушается пробкой 13. Внутри патрона 3 в радиальных пазах на осях 14 установлены поворачивающиеся рычаги 5. Одним концом рычаг 5 зацепляется с центровиком 9, который установлен на штоке 8. Он зацепляется с ним при помощи фланца головки с одной стороны, с другой стороны центровик поджимается гайкой 6, внутри которой установлен подпружиненный стопор. Шток 8 переходит в поршень (на листе не показан) гидравлического привода зажима 1. На конце фланца он имеет муфту 10 для подвода давления рабочей среды. В радиальных пазах корпуса 11 перемещаются постоянные кулачки 4 по Т-образным пазам, которые в контакте с промежуточной вставкой 5. Она крепится к постоянным кулачкам 4 через промежуточную шпонку вставку 8. В контакте сменные кулачки 2, который при помощи двух винтов 15 закрепляются на промежуточной вставке 8.

Приспособление работает следующим образом. После подачи давления в правую полость гидравлического привода 1 происходят перемещение штока 8 влево. Он тянет центровик 9 влево, который поворачивает рычаг 5 по часовой стрелке. Один из выступов этого рычага толкает постоянный

кулачок 4. Происходит закрепление заготовки. Для раскрепления, давление подается в левую полость гидравлического привода зажима. Шток перемещается вправо, толкая гайкой 6 центровик, соответственно, туда же. Рычаг поворачивается 5 против часовой стрелки. Происходит перемещение постоянного кулачка от оси патрона с раскреплением заготовки.

### 3.7 Проектирование режущего инструмента

На операции 010 токарной обрабатывается паз шириной  $B=16$  мм и глубиной  $H=10,25$  мм в заготовке кронштейна из чугуна СЧ12, твердостью 160...180 НВ на многооперационном токарном станке Multus U3000 с ЧПУ.

Для фрезерования пазов необходима концевая винтовая фреза твердосплавными пластинами Т15К6.

Порядок следующий по [17].

1) Определяем диаметр фрезы.

Диаметр фрезы  $d_a=10h_6$ .

2) Число зубьев фрезы 2.

3) Определяем направление зуба. В соответствии с рекомендациями [15] выбираем направление зуба, совпадающее с направлением резания. Направление зуба – правое.

4) Определяем шаг зубьев  $180^\circ$ .

5) Определяем диаметр стружечного витка фрезы по формуле

$$d_c = 2\sqrt{BSz} , \quad (43)$$

где  $B=20$  мм,  $Sz=0,019$  мм/зуб - подача на зуб;

$$d_c = 2\sqrt{20 \cdot 0,019} = 1,2 \text{ мм} .$$

6) Определяем задний угол по формуле

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{0,13}{a^{0,3}}\right), \quad (44)$$

где  $\alpha = 0,019 \cdot \sin 90^\circ = 0,019 \text{ мм}$ ;  $\alpha = \arcsin\left(\frac{0,13}{0,019^{0,3}}\right) = \arcsin 0,2773 = 20^\circ$ .

Фрезу проектируем в соответствии с указаниями [15, 17].

- 1) Главный угол в плане  $\varphi = 90^\circ$
- 2) Вспомогательный угол в плане  $\varphi_1 = 1...2^\circ$
- 3) Передний угол  $\gamma = +4^\circ$  - для легированной стали с  $\sigma_B < 750 \text{ МПа}$
- 4) Угол наклона винтовых пластинок  $\omega = 16^\circ$ .
- 5) Наличие фаски. Для обработки легированной стали с  $\sigma_B > 750 \text{ МПа}$  фаска равна 0,31 мм.
- 6) Общая длина фрезы  $L = 85 \text{ мм}$ .
- 7) Длина режущей части  $\ell = 18 \text{ мм}$ .
- 8) Хвостовик конический, конус Морзе 4 с длиной  $l_{XB} = 45 \text{ мм}$ .

### **Выводы по разделу**

Спроектированы приспособление и инструмент. Спецификация на приспособление приведена в приложении Б.

## 4 Безопасность и экологичность технического объекта

Задача раздела – проектирование технологии изготовления вала-шестерни с учетом требований стандартов по безопасности труда.

### 4.1 Характеристика объекта

В таблице 12 приведены данные по выбранной операции [2].

Таблица 12 - Паспорт технического объекта

Объект технологии изготовления	Технологическая операция	Наименование должности работника на операции	Оборудование, техническое устройство	Материалы и вещества
Вал шестерня	Токарная операция	Оператор станков с ЧПУ, наладчик станков	Токарный обрабатывающий центр Multus U3000, патрон самоцентрирующийся	Сталь 40ХН, ветошь, СОЖ, смазки
	Шлифование	Шлифовщик	Круглошлифовальный полуавтомат КШ-3СNC Зубошлифовальный полуавтомат Gear Spect SBO 340 CNC, Патрон цанговый серия QCRS 80, люнет и	Сталь 40ХН, ветошь, СОЖ, смазки

### 4.2 Идентификация профессиональных рисков

В таблице 13 рассматриваются риски. В подразделе приводится систематизация производственно-технологических и эксплуатационных рисков, к которым относят вредные и опасные производственные факторы, источником которых являются оборудование и материалы, используемые при изготовлении вала-шестерни.

Таблица 13 - Определение рисков

Технологическая операция	Опасный и/или вредный производственный фактор (ОВПФ)	Источник ОВПФ
1	2	3
Токарная, точение черновое, чистовое, Фрезерование, сверление, растачивание, нарезание резьбы; шлифование шеек и зубьев	<p>Факторы физического воздействия:                      Неподвижные части колющие, режущие, обдирающие части твердых объектов                      Движущиеся твердые объекты                      ОВПФ, связанные с чрезмерным высоким уровнем температуры объектов                      ОВПФ, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания</p>	<p>Станок Multus U3000                      Круглошлифовальный полуавтомат КШ-3СNC                      Зубошлифовальный полуавтомат Gear Spect SBO 340 CNC, зона резания, зажимные кулачки патрона, резцы, фрезы, сверла, СОЖ, стружка</p>
	<p>ОВПФ, связанные с механическими колебаниями твердых тел                      ОВПФ, связанные с акустическими колебаниями твердых тел</p> <p>ОВПФ, связанные с электрическим током                      ОВПФ, связанные с электромагнитными полями</p> <p>Факторы химического воздействия:                      токсического, раздражающего (через органы дыхания)</p> <p>Факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия:                      Статическая нагрузка                      Перенапряжение анализаторов</p>	<p>Заготовка, инструмент                      Зона резания</p> <p>органы управления станком</p> <p>СОЖ, смазки</p> <p>Выполнение операций, контроль</p>

### 4.3 Методы и технические средства снижения рисков

В разделе выбраны методы и средства снижения профессиональных рисков, которые необходимо использовать для защиты, или частичного снижения или полного устранения вредного и/или опасного фактора при изготовлении вала-шестерни. Снижение рисков обеспечивается мерами в таблице 14.

Таблица 14 – Мероприятия, связанные со снижением уровня ОВПФ

ОВПФ	Технические средства, организационно-технические методы	Средства индивидуальной защиты (СИЗ)
Неподвижные части колющие, режущие, обдирающие части твердых объектов Движущиеся твердые объекты ОВПФ, связанные с чрезмерным высоким уровнем температуры объектов	Защитный кожух на станке, ограждения Инструктажи по охране труда	Костюм для защиты от загрязнений, перчатки с полимерным покрытием, ботинки кожаные, очки защитные
Факторы химического воздействия: токсического, раздражающего (через органы дыхания)	Организация вентиляции Инструктажи по охране труда	-
ОВПФ, связанные с механическими колебаниями твердых тел	Виброгасящие опоры снизить время контакта с поверхностью подверженной вибрации Инструктажи по охране труда	Резиновые виброгасящие покрытия
ОВПФ, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания	Организация вентиляции Инструктажи по охране труда	-
ОВПФ, связанные с акустическими колебаниями твердых тел	Использование звукопоглощающих Материалов Инструктажи по охране труда	Применение противозумных вкладышей
ОВПФ, связанные с электрическим током ОВПФ, связанные с электромагнитными полями	Заземление станка изоляция токоведущих частей применение предохранителей Инструктажи по охране труда Соблюдение периодичности и продолжительности регламентированных перерывов	Резиновые напольные покрытия, перчатки с полимерным покрытием
Статическая нагрузка Перенапряжение анализаторов	Организация освещения Инструктажи по охране труда	-



#### 4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

В таблицах 15 – 17 информация по обеспечению пожарной безопасности.

Таблица 15 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок	Используемое оборудование	Номер пожара	Опасные факторы при пожаре	Сопутствующие факторы при пожаре
Участок обработки валов	Токарный обрабатывающий центр Multus U3000, Круглошлифовальный полуавтомат КШ-3СNC Зубошлифовальный полуавтомат Gear Spect SBO 340 CNC	Пожары класса В и Е	Неисправность электропроводки; пламя и искры; возгорание промасленной ветоши	Вынос высокого напряжения на токопроводящие части станка Части разрушившегося оборудования, изделий и иного имущества; воздействие огнетушащих веществ

Таблица 16 – Выбор средств пожаротушения

Средства пожаротушения				Оборудование
первичные	мобильные	стационарные	автоматики	
ящики с песком, пожарные гидранты, огнетушители	Пожарные автомобили	Пенная система тушения	Технические средства по оповещению и управлению эвакуацией	Напорные пожарные рукава

Таблица 16 (продолжение) – Выбор средств пожаротушения

СИЗ	Инструмент	Сигнализация
Веревки пожарные карабины пожарные противогазы, респираторы	Лопаты, багры, Ломы и топоры ЩП-Б	Автоматические извещатели

Таблица 17 – Средства обеспечения пожарной безопасности

Процесс, оборудование	Организационно-технические меры	Нормативные требования
Технология изготовления вала шестерни, токарный обрабатывающий центр Multus U3000, Круглошлифовальный полуавтомат КШ-3СNC Зубошлифовальный полуавтомат Gear Spect SBO 340 CNC	Хранение ветоши в негоряемых ящиках Применение смазочно-охлаждающих жидкостей на базе негорючих составов Общее руководство и контроль за состоянием пожарной безопасности на предприятии.	Наличие пожарной сигнализации, автоматической системы пожаротушения, первичных средств пожаротушения, проведение пожарных инструктажей

#### 4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

Результаты анализа в таблицах 18 и 19. Мероприятия направлены на защиту гидросферы, атмосферы и литосферы.

Таблица 18 – Определение экологически опасных факторов объекта

Производственный технологический процесс	Структурные элементы технологического процесса	Опасные и вредные выбросы в воздух	Сточные воды	Воздействие объекта на литосферу
Технологический процесс изготовления вала шестерни	Токарный обрабатывающий центр Multus U3000, Круглошлифовальный полуавтомат КШ-3СNC Зубошлифовальный полуавтомат Gear Spect SBO 340 CNC	Стружка металлическая Токсические испарения Масляный туман	Взвешенные вещества и нефтепродукты Охлаждающие среды	Отходы стружки Промасленная ветошь Растворы жидкостей

Таблица 19 – Разработанные мероприятия для снижения антропогенного негативного воздействия

Воздействие	Технология изготовления вала-шестерни
на атмосферу	Фильтрационные системы для системы вентиляции участка
на гидросферу	Локальная многоступенчатая очистка сточных вод
на литосферу	Разделение, сортировка, утилизация на полигонах отходов

### Выводы по разделу

В разделе дается анализ проектируемого процесса изготовления вала-шестерни. Рассматривается токарная операция на обрабатывающем центре, которая охватывает все переходы лезвийной обработки заготовки и шлифовальные операции. На данных операциях задействованы оператор станков с ЧПУ и шлифовщик.

Приспособление - патрон. Инструмент - резцы, сверла, концевая фреза и метчики, червячная фреза круг шлифовальный. Применяются: 40ХН, СОЖ-эмульсия, ветошь (таблица 12).

Идентификация профессиональных рисков выполнена для токарной и шлифовальной операций, что позволило определить ОВПФ. Это неподвижные колющие, режущие, обдирающие части твердых объектов, движущиеся твердые объекты, ОВПФ, связанные с чрезмерным высоким уровнем температуры объектов, чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания, механическими колебаниями твердых тел, акустическими колебаниями твердых тел, электрическим током и электромагнитными полями, токсического, раздражающего воздействия (через органы дыхания), статической нагрузкой и перенапряжением анализаторов (таблица 13).

Для их устранения и снижения негативного воздействия применяются такие методы и средства, как защитный кожух и ограждение, демпфирующие опоры станка, снижение времени контакта с вибрирующими поверхностями,

покрытие звукопоглощающими материалами, заземление станка и изоляция токоведущих частей, соблюдение регламентированных перерывов на отдых, а также инструктажи по охране труда, (таблица 14).

Выполнена идентификация класса и опасных факторов пожара для механообрабатывающего участка для вала шестерни (таблица 15). Проводится выбор средств пожаротушения (таблица 16), мероприятий по обеспечению пожарной безопасности процесса изготовления вала шестерни (таблица 17).

Определены негативные факторы воздействия технологии на окружающую среду (таблица 18). Организационно-технические мероприятия по снижению вредного антропогенного влияния технологии на экологию: атмосферы – оснащение фильтрующими элементами системы производственной вентиляции, гидросферы – использованием системы многоступенчатой очистки сточных вод; литосферы – сортировкой отходов и их утилизацией на специальных полигонах (таблица 19).

Выявив и проанализировав технологию изготовления вала шестерни, ее воздействие на среду, делаем вывод, что данная технология удовлетворяет нормам по защите здоровья человека и окружающей среде.

## 5 Экономическая эффективность работы

Цель раздела – рассчитать технико-экономические показатели проектируемого технологического процесса и произвести сравнительный анализ с показателями базового варианта, определить экономический эффект от предложенных в проекте технических решений.

В предыдущих разделах был описан технологический процесс изготовления вала-шестерни редуктора. На одной из операций предлагается применить фрезу диаметром 10 мм с твердосплавными пластинами из Т5К10 вместо фрезы концевой из быстрорежущей стали Р6М5.

Учитывая описанные изменения, возникает необходимость осуществить обоснование целесообразности такого предложения по совершенствованию технологического процесса. Для этого, в рамках достижения основной цели раздела, необходимо определить основные экономические параметры, которые позволят сделать соответствующие выводы, а именно:

- рассчитать полную себестоимость выполнения анализируемой операции по вариантам;
- определить капитальные вложения в проектируемый технологический процесс;
- и произвести расчеты показателей экономической эффективности предложений по совершенствованию процесса.

Все перечисленные параметры определяются по соответствующим методикам, представленным в учебно-методическом пособии по выполнению экономического раздела выпускной квалификационной работы [6], с применением программного обеспечения Microsoft Excel.

На величину полной себестоимости оказывают влияние такие параметры как: технологическая себестоимость, цеховые, заводские и внепроизводственные расходы. Максимальное влияние на конечный результат, из перечисленных параметров, оказывает технологическая

себестоимость, поэтому на рисунке 5 показаны элементы, из которых формируется эта себестоимость.

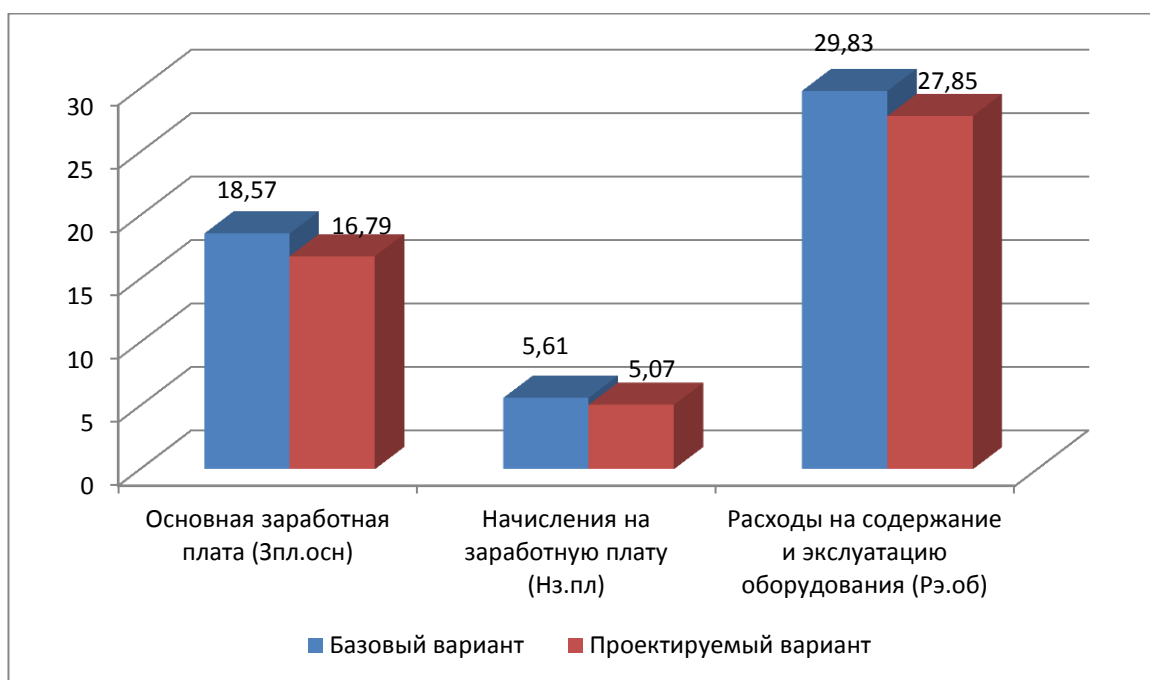


Рисунок 5 – Элементы технологической себестоимости одной операции, сравниваемых вариантов технологического процесса, руб.

Из рисунка 5 видно, что все показатели: основная заработная плата, начисления на заработную плату и расходы на содержание и эксплуатацию оборудования, имеют тенденция к снижению. Максимальную долю в общем объеме технологической себестоимости составляют расходы на содержание и эксплуатацию оборудования, в базовой варианте эта доля составляет 55,23%, а в проектном – 56,02%. Это связано с тем, что имеются весомые расходы на такие статьи как:

- расходы на площадь, по причине значительных габаритов применяемого оборудования;
- и расходы на восстановление и эксплуатацию управляющей программы, из-за сложной программы перемещения инструментов.

Представленное на рисунке 5 значение основной заработной платы является основой для определения описанных выше расходов (цеховых и

заводских). Учитывая тот факт, что основная заработная плата имеет тенденция к снижению в проектируемом варианте, уменьшение составило 9,6%, то можно говорить о снижении этих расходов, сравнивая их значения по вариантам технологического процесса. Соответственно произойдет и снижение цеховой, заводской и полной себестоимостей.

На рисунке 6 показаны величины всех видов себестоимостей, при выполнении анализируемой операции.

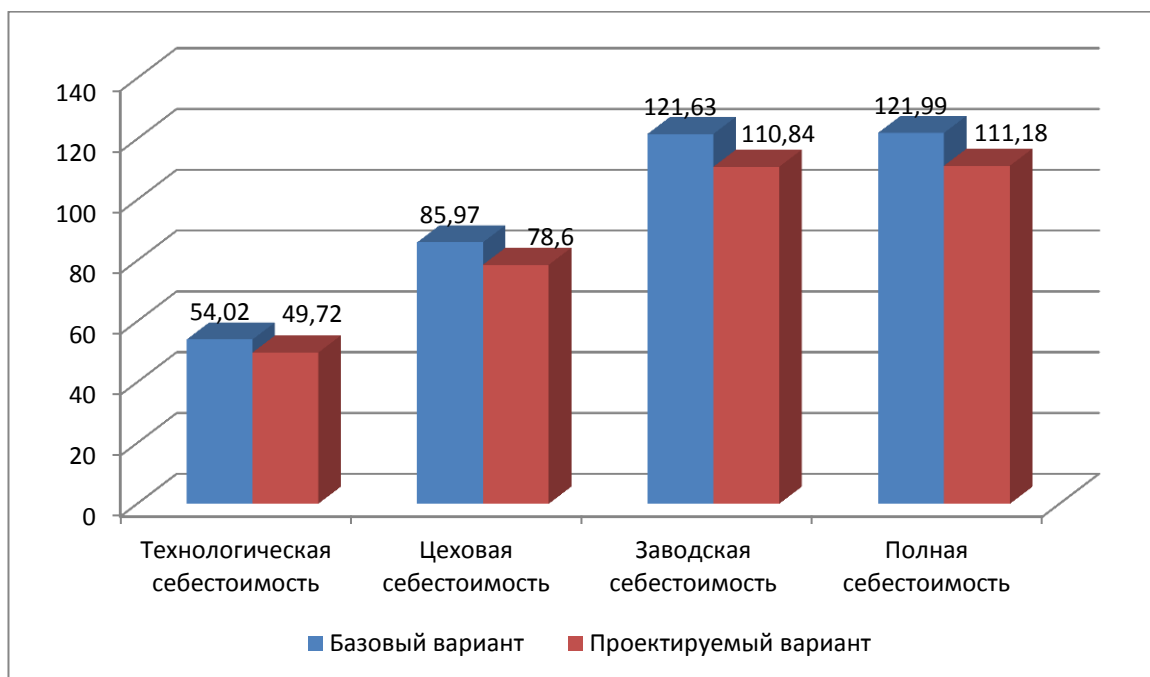


Рисунок 6 – Виды себестоимости и их значения по вариантам технологического процесса, руб.

Из рисунка 6, видно, что в проектируемом варианте, все указанные виды себестоимости также имеют тенденцию к снижению, в среднем себестоимость сократилась на 8,61%, а величина полной себестоимости изменилась на 12,14% в меньшую сторону.

Чтобы принять решение об эффективности предложенных мероприятий, необходимо знание величины капитальных вложений в проект. Учитывая то, что совершенствования касаются только инструмента, то капитальные вложения будут складываться из суммы затрат на

проектирование, инструмент и оборотные средства в незавершенном производстве. Доля всех перечисленных параметров, в общем объеме капитальных вложений, которые составляют 17862,95 руб., представлена на рисунке 7.



Рисунок 7 – Доля затрат в общем объеме капитальных вложений, %

Представленные на рисунке 7 значения, позволяют сделать вывод о том, что наибольшее влияние на величину капитальных вложений оказывают затраты на проектирование, с долей 95,6% от общего объема.

Имея значения величины капитальных вложений и полной себестоимости можно провести экономическое обоснование целесообразности внедрения предложенных изменений в технологический процесс.

Для проведения таких расчетов необходимо последовательно определить следующие значения:

- ожидаемую и чистую прибыль,



- срок окупаемости финансовых вложений,
- общий дисконтированный доход и экономический эффект от внедрения.

### **Выводы по разделу**

Согласно проведенным расчетам по определению указанных значений можно сделать вывод об эффективности предлагаемых мероприятий, так как экономический эффект составит 2706,5 руб., что является положительной величиной данной величины, и это обязательное условие для признания проекта эффективным. Вторым весомым значением при определении эффективности является срок окупаемости, который составляет 2 года, что отвечает условию, быть менее 4 лет. Основываясь на этих двух показателях можно делать итоговый вывод, что предложенные мероприятия по замене инструмента являются эффективными.

## Заключение

В представленной работе рассмотрен технологический процесс изготовления вала - шестерни. В первом разделе был выполнен анализ исходных данных. Он включал в себя анализ технических требований, которые необходимо представить на чертеже детали. Далее деталь проанализирована с точки зрения назначения каждой поверхности и с учетом этого на каждую из них были назначены соответствующие квалитет точности, размеров и шероховатости, дополнительные технические требования. Во второй части, посвященной проектированию технологии изготовления этой детали, выбран тип производства - среднесерийный. С учетом типа производства, формы вал – шестерни, материала, выбрана исходная заготовка. В качестве такой заготовки принят прокат. После этого спроектирован технологический маршрут. Сначала на каждую поверхность выбраны технологические переходы, из которых затем, на основе типового технологического процесса изготовления, скомпонован технологический процессы изготовления данной конкретной детали. Эта технология включает в себя токарную операцию, черновую и чистовую. Особенность технологического процесса том, что две эти операции выполняются на программном обрабатывающем центре, который обеспечивает возможность формирования всех поверхностей. Нашей стороне. Это несмотря на наличие сложно обрабатываемых поверхностях, таких, как паз, внутреннее глухое, ступенчатое отверстие, зубчатую поверхность. Для установки заготовки на данной операции спроектирован трех кулачковый рычажный самоцентрирующий патрон с гидравлическим приводом зажима. Он обеспечивает точную и надежную фиксацию вала-шестерни на операции. Затем термообработка, необходимая для обеспечения твердости. Далее группа шлифовальных операций. Первая группа - круглошлифовальные для обработки цилиндрических шеек и прилегающих буртиков. Вторая группа

операций - это окончательная зубообработка зубчатого венца на зубошлифовальном станке.

Также спроектирован режущий инструмент - концевая фреза для обработки. Эта фреза имеет вставки из твердосплавных пластин, закрепленные в корпусе из углеродистой стали. Она обеспечивает высокопроизводительную обработку и высокую стойкость.

Раздел по безопасности и экологичности работы включает анализ трудоемкой токарной операции, выполняемой на автоматизированном оборудовании с точки зрения возникновения опасных и вредных факторов. Также предлагаются меры по их устранению, снижение степени их влияния на здоровье работников и экологию. Последний раздел включает в себя технико - экономическое обоснование выбранных технических решений.

## Список используемых источников

1. Боровский Г. В. Справочник инструментальщика [Текст] / Г. В. Боровский, С. Н. Григорьев, А. Р. Маслов ; под общ. ред. А. Р. Маслова. - Москва : Машиностроение, 2005. - 463 с. : ил. - Библиогр.: с. 460-463. - ISBN 5-217-03284-7 : 553-64.
2. Водяник В. И. Безопасность жизнедеятельности [Текст] : учеб. пособие / В. И. Водяник ; Сочинск. гос. ун-т туризма и курортного дела. - Изд. 2-е, перераб. и доп. ; ВУЗ/изд. - Сочи : ГУП "СПП", 2002. - 284 с. : ил. - Библиогр.: с. 283-284 (13назв.). - 220-00.
3. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве [Текст] : учеб. пособие / Л. Н. Горина. - Гриф УМО. - Тольятти : ТолПИ, 2000. - 79 с. : ил. - Библиогр.: с. 79. - 1-00.
4. Горохов, В. А. Проектирование и расчет приспособлений : учебник для вузов / В. А. Горохов, А. Г. Схиртладзе. - Гриф УМО. - Старый Оскол : ТНТ, 2008. - 301 с.
5. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – Введ. 1990-01-07. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 83 с.
6. Зубарев Ю. М. Специальные методы обработки заготовок в машиностроении [Текст] : учеб. пособие для студентов машиностр. вузов / Ю. М. Зубарев. - Гриф УМО. - Санкт-Петербург : Лань, 2015. - 400 с. : ил. - (Учебник для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 392-395. - ISBN 978-5-8114-1856-5 : 1091-00.
7. Зубкова Н.В. Методическое указание к экономическому обоснованию курсовых и дипломных работ по совершенствованию технологических процессов механической обработки деталей (для студентов специальностей 120100 / Н.В. Зубкова, – Тольятти : ТГУ, 2015. - 46 с.

8. Косов Н. П. Технологическая оснастка [Текст] : вопросы и ответы : учеб. пособие для вузов / Н. П. Косов, А. Н. Исаев, А. Г. Схиртладзе. - Гриф МО. - Москва : Машиностроение, 2005. - 303 с. : ил. - (Для вузов). - Библиогр.: с. 295. - Прил.: с. 296-302. - ISBN 5-217-03242-1 : 550-00.

9. Марочник сталей и сплавов [Текст] / сост. А. С. Зубченко [и др.] ; под ред. А. С. Зубченко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 2003. - 782 с. : ил. - Библиогр.: с. 773-782. - Прил.: с. 585-772. - ISBN 5-217-03177-8 : 6230-35.

10. Назначение рациональных режимов резания при механической обработке : учебное пособие / В. М. Кишуров, М. В. Кишуров, П. П. Черников, Н. В. Юрасова. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 216 с. — ISBN 978-5-8114-4521-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/121986> (дата обращения: 17.05.2020)

11. Обработка металлов резанием [Текст] : справочник технолога / А. А. Панов [и др.] ; под общ. ред. А. А. Панова. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 2004. - 784 с. : ил. - Библиогр. в конце гл. - Прил.: с. 764-779. - Предм. указ.: с. 780-784. - ISBN 5-94275-049-1 : 1242-91. - 1000-00.

12. Расторгуев Д. А. Разработка плана изготовления деталей машин [Текст] : учеб.-метод. пособие / Д. А. Расторгуев ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2013. - 51 с. : ил. - Библиогр.: с. 50. - 28-58.

13. 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. : ил. - Библиогр.: с. 55-56. - Прил. : с. 57-140. - ISBN 978-5-8259-0817-5 : 1-00.

14. Расторгуев Д. А. Технологическая часть выпускной квалификационной работы машиностроительного направления

[Электронный ресурс] : электронное учеб.-метод. пособие / Д. А. Расторгуев ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2017. - 34 с. : ил. - Библиогр.: с. 31-34. - ISBN 978-5-8259-1145-8.

15. Расчет режимов резания при точении и фрезеровании [Текст] : метод. пособие к курс. работе по дисциплине "Технол. процессы машиностроит. пр-ва" для заоч. формы обучения спец. 12 01 00, 12 02 00, 15 01 00, 150200 / ТГУ ; Каф. "Технология машиностроения". - Тольятти : ТГУ, 2002. - 59 с. : ил.

16. Режущий инструмент [Текст] : учеб. для вузов / Д. В. Кожевников [и др.] ; под ред. С. В. Кирсанова. - Гриф УМО. - Москва : Машиностроение, 2004. - 511 с. : ил. - Библиогр.: с. 510-511. - ISBN 5-217-03250-2 : 312-00.

17. Строителев В. Н. Методы и средства измерений, испытаний и контроля [Текст] : учеб. для вузов / В. Н. Строителев ; [редкол.: В. Н. Азаров (председ.) и др.]. - Москва : Европ. центр по качеству, 2002. - 150 с. : ил. - (Управление качеством). - Библиогр.: с. 150. - Прил.: с. 115-149. - ISBN 5-94768-023-8 : 180-00.

18. Справочник конструктора-инструментальщика [Текст] / 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. : ил. - (Библиотека конструктора). - Библиогр.: с. 540-541. - ISBN 5-217-03353-3 : 450-00.

19. Станочные приспособления [Текст] : учеб. пособие для студентов вузов, обуч. по направлениям подготовки 15.03.05 (151900) "Конструкторско-технол. обеспечение машиностроит. пр-в", "Автоматизация технол. процессов и пр-в (машиностроение)" / В. В. Клепиков [и др.]. - Гриф УМО. - Москва : Форум, 2016. - 318 с. : ил. - Библиогр.: с. 314. - Прил.: с. 254-313. - ISBN 978-5-00091-121-1. - 639-82.

20. Справочник технолога-машиностроителя [Текст] . 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. : ил. - Библиогр. в конце гл. - Предм. указ.: с. 902-910. - ISBN 5-217-03083-6 : 2147-73. - 2200-00. - 1500-00.

21. Справочник технолога-машиностроителя [Текст] . 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. : ил. - Библиогр. в конце гл. - Предм. указ.: с. 928-941. - ISBN 5-217-03083-6 : 2147-73. - 2200-00. - 1500-00.

22. Схиртладзе А. Г. Станочные приспособления [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Г. Схиртладзе, В. Ю. Новиков. - Гриф МО. - Москва : Высш. шк., 2001. - 110 с. : ил. - ISBN 5-06-003988-9 : 110-00.

23. Схиртладзе А. Г. Технологическая оснастка машиностроительных производств [Текст] : учеб. пособие. Т. 1 / А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискин. - Гриф УМО. - Старый Оскол : ТНТ, 2008. - 547 с. : ил. - Библиогр.: с. 531-544. - ISBN 978-5-94178-160-7 : 463-50.

24. Схиртладзе А. Г. Технологическая оснастка машиностроительных производств [Текст] : учеб. пособие. Т. 2 / А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискин. - Гриф УМО. - Старый Оскол : ТНТ, 2008. - 518 с. : ил. - Библиогр.: с. 502-515. - ISBN 978-5-94178-122-5 : 463-50.

# Приложение А

## Технологическая документация

ГОСТ 3.1118-82 Форма 1														
Дуопл.														
Взам														
Глоупл.														
									3	1				
Разрабо.	Цыганов М.Б.													
Проверил	Расторгуев Д.А.													
Утвердил	Логинов Н.Ю.													
Н. контр.	Расторгуев Д.А.													
Вал шестерня														
M 01														
	Код	ЕВ	МД	ЕН	Н. расх.	КИМ	Код заготовки	Профиль и размеры	КД	МЗ				
M 02		ке	163,4	1			Круг		1					
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код. наименование операции					Обозначение документа				
Б	Код. наименование оборудования		СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Глз.	Тшт.	
A03	005 Штамповка заготовительная													
B04	Пресс К8542													
A05	07	2	010	4221	Горизонтально-расточная							1	1	1
B06	2A622Ф1-1													
A07	07	2	015	4114	Токарно-винторезная		ИОТ Т5, С6					1	1	1
B08	Тгауб TNL 12K													
A09	020 5000 Термическая обработка													
B10														
A11	07	2	025	0200	Контроль							1	1	1
B12														
O13	1. Контролировать деталь. Проверить размеры детали под термообработку. Присвоить номера и отметить в журнале разрешение на п													
O14	заводские номера на деталях маркером черного цвета.													
T15	Линейка ГОСТ 427-75													
T16	Линейка ГОСТ 427-75													
МК	Маршрутная карта													



Продолжение приложения А

ГОСТ 3.1118-82										Форма									
Друл.																			
Взам.																			
Табл.												2							
А	Цех	Уч.	РМ	Юлер	Код. наименование операции	СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Тшт.	Тшт.	Н. расх.		
Б	Код. наименование оборудования																		
К/М	Наименование детали, со. единицы или материала																		
Т01	Линейка ГОСТ 427-75																		
А02	030 5000 Термическая обработка																		
Б03	1 1 1 1																		
А04	035 4143 Центрошлифовальная																		
Б05	Бесцентровый специальный полуавтомат СШ64																		
А06	07	2	040	Круглошлифовальная													1	1	1
Б07	3Б161																		
А08	07	2	045	Круглошлифовальная													1	1	1
Б09	3Б161																		
А10	050 4151 Зубошлифовальная																		
Б11	Зубошлифовальный полуавтомат для обработки концеси																		
Б12	зубьями 5А872В																		
А13	07	2	055	Промыка													4	1	1
Б14	Моечная машина																		
А15	07	2	060	0200 Контроль													1	1	1
Б16	Стол																		
О17	1. Проверить внешним осмотром отсутствие заусенцев, острых кромок и шероховатость поверхностей																		
МК	Маршрутная карта																		









