

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 комбайна

---

Студент

И.В. Мусатов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент Н.Ю. Логинов

(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

Мусатов Иван Владимирович: Технологический процесс изготовления вала-шестерни комбайна.

Выпускная квалификационная работа состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части.

Расчетно-пояснительная записка содержит следующие разделы:

- 1) анализ исходных данных;
- 2) технологическая часть, где разрабатывается технологический процесс изготовления детали, проектируется заготовка, ведется определение припусков и режимов обработки;
- 3) проектирование специальных средств технологического оснащения, состоящих из станочной оснастки и режущего инструмента;
- 4) безопасность и экологичность технического объекта;
- 5) расчет экономической эффективности работы;
- 6) заключение.

Объем расчетно-пояснительной записки составляет 63 страницы, графическая часть составляет 7 листов формата А1.

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| Введение.....   | 7  |
| 1 Анализ исходных данных.....   | 8  |
| 1.1 Служебное назначение детали .....   | 8  |
| 1.2 Классификация поверхностей и анализ материала изделия ...   | 8  |
| 2 Разработка технологической части.....   | 11 |
| 2.1 Определение типа производства.....  | 11 |
| 2.2 Выбор метода получения заготовки.....   | 11 |
| 2.3 Выбор методов обработки поверхностей.....   | 13 |
| 2.4 Определение припусков.....  | 16 |
| 2.5 Расчет режимов резания.....   | 20 |
| 3 Проектирование специальных средств технологического<br>оснащения.....   | 28 |
| 3.1 Анализ исходных данных .....  | 29 |
| 3.2 Определение усилия зажима .....   | 31 |
| 4 Проектирование режущего инструмента.....  | 32 |
| 4.1 Исходные данные.....  | 32 |
| 4.2 Построение линии профилирования .....   | 32 |
| 4.3 Построение профиля зуба в нормальном сечении.....   | 34 |
| 4.4 Расчет параметров зуба фрезы .....  | 36 |
| 5 Безопасность и экологичность технического объекта.....  | 37 |
| 5.1 Конструктивно-технологическая и организационно-<br>техническая характеристика рассматриваемого технического объекта | 37 |
| 5.2 Идентификация профессиональных рисков.....  | 38 |
| 5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....   | 39 |
| 5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта...   | 40 |
| 5.5 Обеспечение экологической безопасности технического<br>объекта.....   | 42 |

|   |    |
|---|----|
| 5.6 Заключение по разделу.....            | 43 |
| 6 Экономическая эффективность работы..... | 44 |
| Заключение.....                           | 48 |
| Список используемых источников.....       | 49 |
| Приложения.....                           | 51 |

## **Введение**

Одной из ключевых задач сегодняшнего этапа экономического развития Российской Федерации является развитие сельскохозяйственного сектора машиностроения. Производство и модернизация сельскохозяйственной техники для увеличения производства продуктов питания является одним из ведущих направлений национальных проектов.

Комбайны являются ярким представителем сельскохозяйственной техники. От их производительности зависит сбор урожая злаковых культур сельского хозяйства, а это напрямую воздействует на производство хлебобулочных изделий в стране, а они в свою очередь являются товарами первой необходимости.

Модернизация технологии изготовления механизмов способствует уменьшению себестоимости производства техники, что отражается на себестоимости товаров народного потребления.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка технологического процесса изготовления вала-шестерни комбайна заданного качества с наименьшей себестоимостью.

# 1 Анализ исходных данных

## 1.1 Служебное назначение детали

Вал-шестерня предназначена воспринимать вращение малым шлицевым венцом и передавать вращение эвольвентными поверхностями зубчатого венца, а также большим шлицевым венцом.

## 1.2 Классификация поверхностей и анализ материала изделия

Выполним нумерацию всех поверхностей детали и сделаем их систематизацию по назначению (рисунок 1).

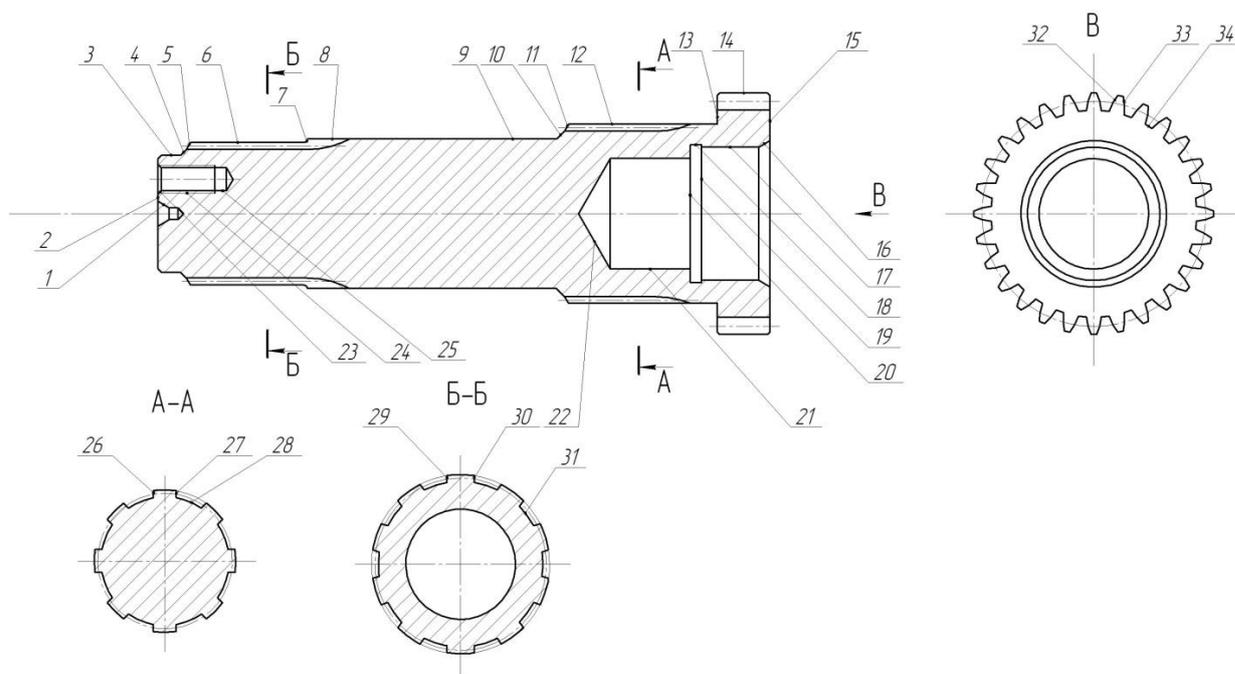


Рисунок 1 - Классификация поверхностей детали

Исполнительными поверхностями детали поверхности 26, 27, 29, 30, 32 и 33.

Основными конструкторскими базами детали являются поверхности 8, 12 и 15.

Вспомогательными конструкторскими базами детали являются поверхности 6 и 24.

«Конструкционные металлы имеют различные механические свойства, зависящие от их химического состава и структурного состояния. Сочетание таких характеристик, как химический состав, механические свойства и структурное состояние металла определяет его сопротивление обработке резанием. Обрабатываемость металла резанием находит свое проявление в общих закономерностях процессов стружкообразования, формирования новых поверхностей и качества обработанных поверхностей». [1]

Деталь изготовлена из конструкционной легированной стали 19ХГН ГОСТ 4543-71. [2]

Химические элементы, входящие в состав стали 19ХГН представлены в таблице 1. [2]

Таблица 1 - Химические элементы, входящие в состав стали 19ХГН [2]

| Химический элемент | Содержание, % |
|--------------------|---------------|
| Углерод            | 0,16...0,21   |
| Сера               | не более 0,04 |
| молибден           | не более 0,25 |
| фосфор             | не более 0,1  |
| кремний            | 0,17...0,37   |
| Никель             | не более 1,1  |
| хром               | 0,8...1,1     |
| Железо             | остальное     |

Основными физико-механическими свойствами стали 19ХГН являются:  $\sigma_B = 1180...1520$  МПа, твердость  $HB = 197...217$ . [3]

«В целях уменьшения расходов на материал, снижения трудоемкости и затрат на механообработку необходимо стремиться к тому, чтобы заготовка по своей форме и размерам в большей степени соответствовала параметрам готовой детали. Это особенно важно при проектировании автоматизированных технологических процессов и производств. Вместе с тем применение наиболее производительных, совершенных способов

получения точных заготовок связано со значительными затратами на специальное оборудование и приспособления». [4]

Заготовка для изготовления детали может быть получена прокатом или штамповкой.

«Прокатка является наиболее распространенным и экономичным способом обработки металлов давлением, при котором металл на прокатных станах обжимается вращающимися валками, пластически деформируется и приобретает нужную геометрическую форму». [4] В нашем случае этой формой является цилиндр.

«Горячую объёмную штамповку применяют для точных заготовок сложной геометрии, форма которых приближается к форме готовой детали. Припуски и допуски на поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые ковкой на прессах, регламентируются ГОСТ 7062-79». [4]

## 2 Разработка технологической части

### 2.1 Определение типа производства

«В зависимости от потребностей различные изделия машиностроительного производства изготавливают в разных количествах. Одни изделия на предприятии изготавливают в одном экземпляре, другие – сотнями тысяч штук. В зависимости от номенклатуры и объёма выпуска изделий различают три основных типа производства: единичное, серийное и массовое. Серийное производство делят на мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное». [5]

В нашем случае масса детали равна 6,5 кг, годовая программа выпуска равна 5000 шт. По этим критериям принимаем среднесерийное производство.

### 2.2 Выбор метода получения заготовки

«Производительность заготовительных процессов в большинстве случаев на порядок выше производительности техпроцессов механической обработки. Таким образом, перенос большей части процесса формообразования детали на заготовительное производство, на стадию получения точных заготовок позволяет значительно снизить расход материала и затраты на механическую обработку». [4]

Масса заготовки при штампованной заготовке  $m_{3ш} = 9,1$  кг, при заготовке-прокате  $m_{3п} = 19,9$  кг, а масса детали  $m = 6,5$  кг.

Найдем стоимость срезания одного килограмма стружки при механической обработке [6]

$$C_{мех} = C_c + E_n \cdot C_k, \quad (1)$$

где  $E_H = 0,15; C_C = 0,495; C_K = 1,085$ . [6]

Тогда

$$C_{\text{мех}} = 0,495 + 0,15 \cdot 1,085 = 0,6578 \text{ (руб/кг)}.$$

Найдем стоимость одного килограмма заготовки, полученной штамповкой [6]

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{ум}} \cdot k_m \cdot k_c \cdot k_g \cdot k_M \cdot k_n, \quad (2)$$

где  $C_{\text{шт}} = 0,15; k_T = 0,9; k_C = 0,84; k_B = 1,14; k_M = 1,0; k_{\text{П}} = 1,0$ . [6]

Тогда

$$C_{\text{заг}} = 0,315 \cdot 0,9 \cdot 0,84 \cdot 1,14 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,2715 \text{ (руб)}.$$

Найдем технологическую себестоимость изготовления детали, полученной штамповкой [6].

$$C_{\text{ми}} = C_{\text{заг}} \cdot Q_{\text{ум}} + C_{\text{мех}} (Q_{\text{ум}} - q) - C_{\text{отх}} (Q_{\text{ум}} - q), \quad (3)$$

где  $Q_{\text{шт}} = 9,1; q = 6,5; C_{\text{отх}} = 0,0144$ . [6]

Тогда

$$C_{\text{ми}} = 0,2715 \cdot 9,1 + 0,6578(9,1 - 6,5) - (9,1 - 6,5)0,0144 = 4,14 \text{ (руб)}.$$

Найдем технологическую себестоимость изготовления детали, полученную прокатом [6]

$$C_{\text{ми}} = C_{\text{заг}} \cdot Q_{\text{пр}} + C_{\text{мех}} (Q_{\text{пр}} - q) - C_{\text{отх}} (Q_{\text{пр}} - q), \quad (4)$$

где  $q = 6,5; Q_{\text{пр}} = 19,9; C_{\text{отх}} = 0,0144$ . [6]

Тогда

$$C_{\text{ми}} = 0,1219 \cdot 19,9 + 0,6578(19,9 - 6,5) - 0,0144(19,9 - 6,5) = 11,05 \text{ (руб)}.$$

Следовательно, наиболее экономичным является вариант изготовления детали из заготовки, полученной штамповкой.

### **2.3 Выбор методов обработки поверхностей**

«Достижение требуемой точности детали при ее изготовлении осуществляется путем последовательной механообработки исходной заготовки на соответствующих станках. В результате прохождения заготовки через соответствующую технологическую систему происходит ее уточнение по одному или по нескольким параметрам точности». [4]

Для оптимальной обработки поверхности 1 с параметрами  $R_a$  равно 1,6, IT равно 14 необходима следующая последовательность методов обработки: центровально-подрезная и центрошлифовальная операции.

Для оптимальной обработки поверхности 2 с параметрами  $R_a$  равно 6,3, IT равно 14 необходима следующая последовательность методов обработки: центровально-подрезная операция.

Для оптимальной обработки поверхности 3 с параметрами  $R_a$  равно 3,2, IT равно 11 необходима следующая последовательность методов обработки: черновое и чистовое точение.

Для оптимальной обработки поверхности 4 с параметрами  $R_a$  равно 6,3, IT равно 14 необходима следующая последовательность методов обработки: черновое и чистовое точение.

Для оптимальной обработки поверхности 5 с параметрами  $R_a$  равно 6,3, IT равно 14 необходима следующая последовательность методов обработки: черновое и чистовое точение.

Для оптимальной обработки поверхности 6 с параметрами  $R_a$  равно 1,6, IT равно 7 необходима следующая последовательность методов обработки: черновое и чистовое точение, шлифование.

Для оптимальной обработки поверхности 7 с параметрами Ra равно 6,3, IT равно 14 необходима следующая последовательность методов обработки: черновое и чистовое точение.

Для оптимальной обработки поверхности 8 с параметрами Ra равно 1,6, IT равно 6 необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое, шлифование черновое и чистовое.

Для оптимальной обработки поверхности 9 с параметрами Ra равно 6,3, IT равно 12 необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое.

Для оптимальной обработки поверхности 10 с параметрами Ra равно 6,3, IT равно 14 необходима следующая последовательность методов обработки: черновое и чистовое точение.

Для оптимальной обработки поверхности 11 с параметрами Ra равно 6,3, IT равно 14 необходима следующая последовательность методов обработки: черновое и чистовое точение.

Для оптимальной обработки поверхности 12 с параметрами Ra равно 1,6, IT равно 7 необходима следующая последовательность методов обработки: черновое и чистовое точение, шлифование.

Для оптимальной обработки поверхности 13 с параметрами Ra равно 6,3, IT равно 14 необходима следующая последовательность методов обработки: черновое и чистовое точение.

Для оптимальной обработки поверхности 14 с параметрами Ra равно 6,3, IT равно 11 необходима следующая последовательность методов обработки: черновое и чистовое точение.

Для оптимальной обработки поверхности 15 с параметрами Ra равно 3,2, IT равно 14 необходима следующая последовательность методов обработки: центровально-подрезная операция.

Для оптимальной обработки поверхности 16 с параметрами Ra равно 1,6, IT равно 14 необходима следующая последовательность методов обработки: центровально-подрезная и центрошлифовальная операции.

Для оптимальной обработки поверхности 17 с параметрами Ra равно 1,6, IT равно 7 необходима следующая последовательность методов обработки: черновое и чистовое точение, шлифование.

Для оптимальной обработки поверхности 18 с параметрами Ra равно 6,3, IT равно 14 необходима следующая последовательность методов обработки: черновое и чистовое точение.

Для оптимальной обработки поверхности 19 с параметрами Ra равно 6,3, IT равно 14 необходима следующая последовательность методов обработки: черновое и чистовое точение.

Для оптимальной обработки поверхности 20 с параметрами Ra равно 6,3, IT равно 14 необходима следующая последовательность методов обработки: черновое и чистовое точение.

Для оптимальной обработки поверхности 21 с параметрами Ra равно 6,3, IT равно 12 необходима следующая последовательность методов обработки: черновое и чистовое точение.

Для оптимальной обработки поверхности 22 с параметрами Ra равно 6,3, IT равно 14 необходима следующая последовательность методов обработки: черновое и чистовое точение.

Для оптимальной обработки поверхности 23 с параметрами Ra равно 6,3, IT равно 14 необходима следующая последовательность методов обработки: сверление.

Для оптимальной обработки поверхности 24 с параметрами Ra равно 6,3, IT равно 14 необходима следующая последовательность методов обработки: сверление.

Для оптимальной обработки поверхности 25 с параметрами Ra равно 6,3, IT равно 10 необходима следующая последовательность методов обработки: сверление.

Для оптимальной обработки поверхности 26 с параметрами Ra равно 3,2, IT равно 8 необходима следующая последовательность методов обработки: шлицефрезерная обработка.

Для оптимальной обработки поверхности 27 с параметрами Ra равно 3,2, IT равно 8 необходима следующая последовательность методов обработки: шлицефрезерная обработка.

Для оптимальной обработки поверхности 28 с параметрами Ra равно 3,2, IT равно 11 необходима следующая последовательность методов обработки: шлицефрезерная обработка.

Для оптимальной обработки поверхности 29 с параметрами Ra равно 3,2, IT равно 8 необходима следующая последовательность методов обработки: шлицефрезерная обработка.

Для оптимальной обработки поверхности 30 с параметрами Ra равно 3,2, IT равно 8 необходима следующая последовательность методов обработки: шлицефрезерная обработка.

Для оптимальной обработки поверхности 31 с параметрами Ra равно 3,2, IT равно 11 необходима следующая последовательность методов обработки: шлицефрезерная обработка.

Для оптимальной обработки поверхности 32 с параметрами Ra равно 1,6, IT равно 8 необходима следующая последовательность методов обработки: зубофрезерная и зубошлифовальная обработки.

Для оптимальной обработки поверхности 33 с параметрами Ra равно 1,6, IT равно 8 необходима следующая последовательность методов обработки: зубофрезерная и зубошлифовальная обработки.

Для оптимальной обработки поверхности 34 с параметрами Ra равно 6,3, IT равно 12 необходима следующая последовательность методов обработки: зубофрезерная обработка.

## **2.4 Определение припусков**

«Под припуском понимается слой материала, снимаемый с заготовки в результате выполнения одного или нескольких технологических переходов при обработке определенной поверхности. Размер, получаемый на детали

после удаления припуска на заданном переходе, называется межпереходным. В свою очередь, размер на детали, получаемый после удаления припуска на определенной операции, называется операционным». [4]

Определим припуски на обработку поверхности диаметром  $65k6^{+0,021}_{+0,002}$  мм.

Технологический маршрут изготовления этой поверхности состоит из: черного и чистового точения, термообработки, черного и чистового шлифования.

Исходные данные:  $D = 65k6^{+0,021}_{+0,002}$  мм;  $L = 40$  мм;  $Ra = 1,6$  мкм.

По ГОСТ 25347-82 определим допуски на каждый переход (мм).

$Td_0 = 2,0; Td_1 = 0,300; Td_2 = 0,074; Td_{TO} = 0,120; Td_3 = 0,046; Td_4 = 0,019$ . [7]

Определяем суммарное отклонение формы и расположения поверхностей после обработки (мм).

$$\Delta = 0,25 \cdot Td . [8] \quad (5)$$

$$\Delta_0 = 0,25 \cdot 2,0 = 0,500 .$$

$$\Delta_{01} = 0,25 \cdot 0,300 = 0,075 .$$

$$\Delta_{02} = 0,25 \cdot 0,074 = 0,019 .$$

$$\Delta_{TO} = 0,25 \cdot 0,120 = 0,030 .$$

$$\Delta_{03} = 0,25 \cdot 0,046 = 0,012 .$$

$$\Delta_{04} = 0,25 \cdot 0,019 = 0,005 .$$

Рассчитаем максимальные и минимальные значения припусков (мм).

$$Z_{\min} = a_{i-1} + \sqrt{(\Delta_{i-1})^2 + \varepsilon_i^2} . [8] \quad (6)$$

$$Z_{1\min} = a_0 + \sqrt{(\Delta_0)^2 + \varepsilon_1^2} = 0,4 + \sqrt{0,500^2 + 0,025^2} = 0,901 .$$

$$Z_{2\min} = a_1 + \sqrt{(\Delta_1)^2 + \varepsilon_2^2} = 0,2 + \sqrt{0,075^2 + 0} = 0,275 .$$

$$Z_{3\min} = a_2 + \sqrt{(\Delta_{\partial 0})^2 + \varepsilon_3^2} = 0,1 + \sqrt{0,030^2 + 0^2} = 0,130.$$

$$Z_{4\min} = a_3 + \sqrt{(\Delta_3)^2 + \varepsilon_4^2} = 0,03 + \sqrt{0,005^2 + 0} = 0,035.$$

$$Z_{i\max} = Z_{i\min} + 0,5(Td_{i-1} + Td_i). \quad [8] \quad (7)$$

$$Z_{1\max} = Z_{1\min} + 0,5(Td_0 + Td_1) = 0,901 + 0,5(2,000 + 0,300) = 2,051.$$

$$Z_{2\max} = Z_{2\min} + 0,5(Td_1 + Td_2) = 0,275 + 0,5(0,300 + 0,074) = 0,462.$$

$$Z_{3\max} = Z_{3\min} + 0,5(Td_2 + Td_3) = 0,130 + 0,5(0,074 + 0,046) = 0,190.$$

$$Z_{4\max} = Z_{4\min} + 0,5(Td_3 + Td_4) = 0,035 + 0,5(0,046 + 0,019) = 0,068.$$

Рассчитаем максимальный и минимальный диаметры на каждый переход (мм).

$$d_{4\min} = 65,002.$$

$$d_{4\max} = 65,021.$$

$$d_{3\min} = d_{4\max} + 2Z_{4\min} = 65,021 + 2 \cdot 0,013 = 65,091.$$

$$d_{3\max} = d_{3\min} + Td_4 = 65,091 + 0,019 = 65,110.$$

$$d_{TO\min} = d_{3\max} + 2Z_{3\min} = 65,110 + 2 \cdot 0,130 = 65,370.$$

$$d_{TO\max} = d_{TO\min} + Td_{TO} = 65,370 + 0,120 = 65,490.$$

$$d_{2\min} = d_{TO\min} \cdot 0,999 = 65,490 \cdot 0,999 = 65,425.$$

$$d_{2\max} = d_{2\min} + Td_2 = 65,425 + 0,074 = 65,499.$$

$$d_{1\min} = d_{2\max} + 2Z_{2\min} = 65,499 + 2 \cdot 0,275 = 66,049.$$

$$d_{1\max} = d_{1\min} + Td_1 = 66,049 + 0,300 = 66,349.$$

$$d_{0\min} = d_{1\max} + 2Z_{1\min} = 66,349 + 2 \cdot 0,901 = 68,151.$$

$$d_{0\max} = d_{0\min} + Td_0 = 68,151 + 2,000 = 70,151.$$

Рассчитаем средние значения размеров (мм).

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

$$d_{cp0} = 0,5(d_{0\max} + d_{0\min}) = 0,5(70,151 + 68,151) = 69,151.$$

$$d_{cp1} = 0,5(d_{1\max} + d_{1\min}) = 0,5(66,349 + 66,049) = 66,199.$$

$$d_{cp2} = 0,5(d_{2\max} + d_{2\min}) = 0,5(65,499 + 65,425) = 65,462.$$

$$d_{cpTO} = 0,5(d_{TO\max} + d_{TO\min}) = 0,5(65,490 + 65,370) = 65,430.$$

$$d_{cp3} = 0,5(d_{3\max} + d_{3\min}) = 0,5(65,110 + 65,091) = 65,101.$$

$$d_{cp4} = 0,5(d_{4\max} + d_{4\min}) = 0,5(65,021 + 65,002) = 65,012.$$

Рассчитаем общий припуск на обработку (мм).

$$2Z_{\min} = d_{0\min} - d_{4\max} \cdot [8] \quad (9)$$

$$2Z_{\min} = 68,151 - 65,021 = 3,130.$$

$$2Z_{\max} = 2Z_{\min} + Td_0 + Td_4 \cdot [8] \quad (10)$$

$$2Z_{\max} = 3,130 + 2,000 + 0,019 = 5,149.$$

$$2Z_{cp} = 0,5(2Z_{\min} + 2Z_{\max}) \cdot [8] \quad (11)$$

$$2Z_{cp} = 0,5(3,130 + 5,149) = 4,140.$$

Графическое изображение полей допусков приведено на рисунке 2.

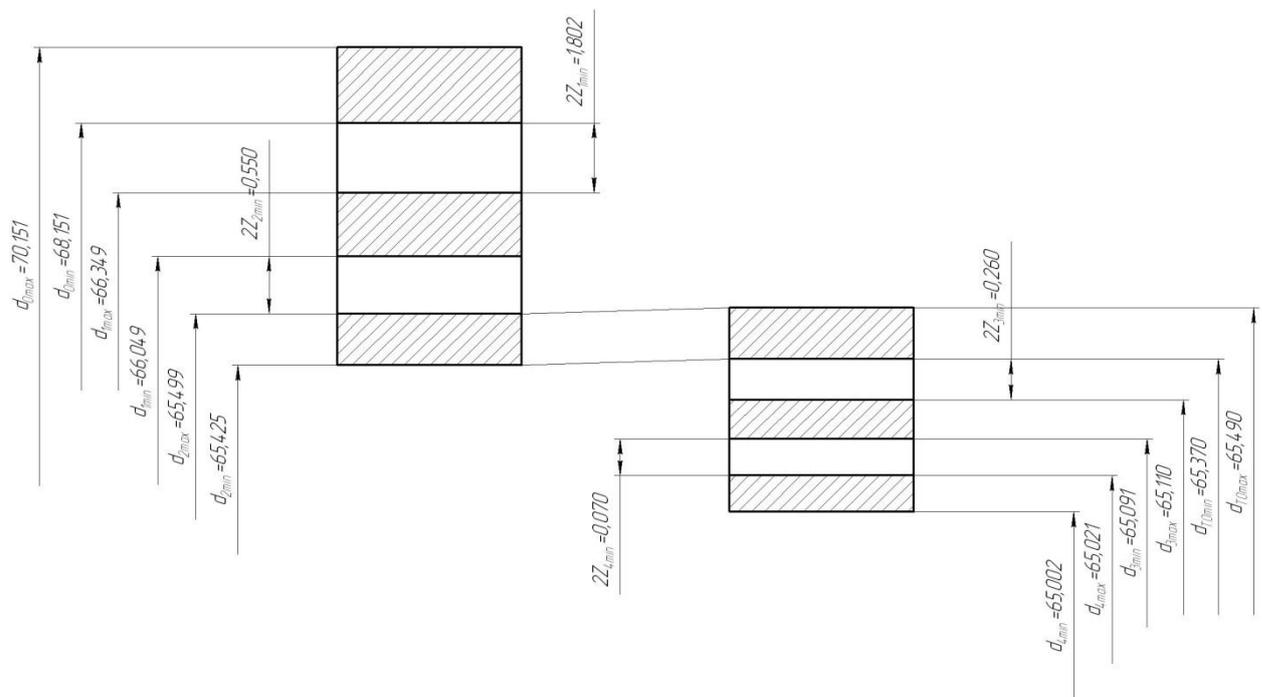


Рисунок 2 - Схема расположения припусков и полей допусков на поверхность диаметром 65k6(+0,021/+0,002).

## 2.5 Расчет режимов резания

2.5.1 Расчет режимов резания на операцию 005 Центровально-подрезная.

1 технологический переход.

«Глубина резания»  $t = 2,5$  мм. [9]

«Подача»  $S_0 = 0,3$  мм/об. [9]

«Скорость резания»  $V_0 = 180$  м/мин. [9]

$$V = V_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (12)$$

где  $K_1 = 1; K_2 = 1,0; K_3 = 1,0; K_4 = 1,0$ .

Тогда  $V = 180 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 180$  м/мин.

«Частота вращения» [9]

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 180}{3,14 \cdot 105,3} = 544 \text{ мин}^{-1}. \quad (13)$$

$$n_{\phi} = 500 \text{ мин}^{-1}.$$

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 105,3 \cdot 500}{1000} = 165,3 \text{ м/мин.}$$

«Минутная подача»[9]

$$S = S_0 \cdot n = 0,3 \cdot 500 = 150 \text{ мм/мин.} \quad (14)$$

«Основное время»[9]

$$T_0 = \frac{L_{\text{рх}}}{S} = \frac{50}{150} = 0,33 \text{ мин.} \quad (15)$$

2 технологический переход.

Длина рабочего хода инструмента [9]

$$L = L_p + L_{\text{п}} + L_d, \quad (16)$$

где  $L_{\text{п}} = 1 \text{ мм}$ ;  $L_d = 0 \text{ мм}$ .

Тогда

$$L = 10 + 1 + 0 = 11, \text{ мм.}$$

«Стойкость инструмента»[9]

$$T_p = T_M \cdot \lambda, \quad (17)$$

где  $T_M = 60 \text{ мин.}$

Тогда

$$T_p = 60 \cdot 1 = 60, \text{ мин.}$$

«Подача»  $S_0 = 0,2$  мм/об. [9]

«Скорость резания» [9]

$$V = V_{TA} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (18)$$

где  $V_{TA} = 15$ ;  $K_1 = 0,75$ ;  $K_2 = 1,0$ ;  $K_3 = 0,95$ . [9]

Тогда

$$V = 15 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 0,95 = 10,7, \text{ м/мин.}$$

«Частота вращения» [9]

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 10,7}{3,14 \cdot 10,6} = 321, \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_{\phi} = 315 \text{ мин}^{-1}.$$

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 10,6 \cdot 500}{1000} = 16,6, \text{ м/мин.}$$

«Минутная подача» [9]

$$S_M = S_0 \cdot n = 0,2 \cdot 500 = 100, \text{ мм/мин.}$$

«Основное время» [9]

$$T_0 = \frac{L_{PX}}{S_M} = \frac{11}{100} = 0,11, \text{ мин.}$$

## 2.5.2 Расчет режимов резания на операцию 025 Токарная чистовая.

1 технологический переход.

«Глубина резания»  $t = 0,30$  мм. [9]

«Подача»  $S_0 = 0,2$  мм/об. [9]

«Скорость резания»  $V_0 = 180$  м/мин. [9]

$$V = V_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4,$$

где  $K_1 = 1$ ;  $K_2 = 1,0$ ;  $K_3 = 1,0$ ;  $K_4 = 1,0$ .

Тогда  $V = 180 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 180$  м/мин.

«Частота вращения» [9]

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 180}{3,14 \cdot 150} = 382 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_{\phi} = 350 \text{ мин}^{-1}.$$

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 105 \cdot 350}{1000} = 115,4 \text{ м/мин.}$$

«Минутная подача»[9]

$$S = S_0 \cdot n = 0,2 \cdot 350 = 70 \text{ мм/мин.}$$

«Основное время»[9]

$$T_0 = \frac{L_{PX}}{S} = \frac{26}{70} = 0,37 \text{ мин.}$$

2 технологический переход.

«Частота вращения» [9]

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 45}{3,14 \cdot 60} = 239 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_{\phi} = 200 \text{ мин}^{-1}.$$

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 200}{1000} = 37,7 \text{ м/мин.}$$

«Минутная подача»[9]

$$S = S_0 \cdot n = 0,2 \cdot 200 = 40 \text{ мм/мин.}$$

«Основное время» [9]

$$T_0 = \frac{L_{PX}}{S} = \frac{3}{40} = 0,08 \text{ мин.}$$

3 технологический переход.

«Частота вращения» [9]

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 180}{3,14 \cdot 57,8} = 992 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_{\phi} = 800 \text{ мин}^{-1}.$$

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 57,8 \cdot 800}{1000} = 145,2 \text{ м/мин.}$$

«Минутная подача» [9]

$$S = S_0 \cdot n = 0,2 \cdot 800 = 160 \text{ мм/мин.}$$

«Основное время» [9]

$$T_0 = \frac{L_{\text{рх}}}{S} = \frac{26}{160} = 0,16 \text{ мин.}$$

$$T_0 = \sum T_{0i} = 0,37 + 0,08 + 0,16 = 0,61, \text{ мин.}$$

### 2.5.2 Расчет режимов резания на операцию 040 Шлицефрезерная.

Выбираем в качестве материала режущей части червячной фрезы быстрорежущую сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73. [10]

«Радиальная подача» [9]

$$S_p = S_{p,TA} \cdot K_1,$$

где  $S_{p,TA} = 0,6; K_1 = 0,9$ . [9]

Тогда

$$S_p = 0,6 \cdot 0,9 = 0,54, \text{ мм/об.}$$

«Скорость резания» [9]

$$V = V_{TA} \cdot K_1 \cdot K_2,$$

где  $V_{TA} = 26; K_1 = 0,9; K_2 = 1,0$ .

Тогда

$$V = 26 \cdot 0,9 \cdot 1 = 23,4, \text{ м/мин.}$$

«Частота вращения» [9]

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 23,4}{3,14 \cdot 80} = 93,2, \text{ мин}^{-1}.$$

$$n = 63, \text{ мин}^{-1}.$$

$$V_\phi = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 80}{1000} = 20,1, \text{ м/мин.}$$

«Основное время» [9]

$$T_0 = \frac{54 \cdot 10}{80 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 1} = 0,68, \text{ мин.}$$

### 2.5.5 Расчет режимов резания на операцию 070 Зубошлифовальная.

«Скорость резания»  $V = 35$  м/с. [9]

«Скорость вращения заготовки»  $V_3 = 35$  м/мин. [9]

«Частота вращения заготовки» [9]

$$n_3 = \frac{1000V_3}{\pi D_3} = \frac{1000 \cdot 35}{3,14 \cdot 105} = 106,2, \text{ об/мин.}$$

«Основное время» [9]

$$T_0 = \frac{L_{УСК}}{S_{УСК}} + \sum \frac{L_{Pi}}{S_{Pi}} + T_{ВЫХ},$$

где  $T_{ВЫХ} = 0,05$  мин. [9]

Тогда

$$T_0 = \frac{8 \cdot 28}{500} + \frac{23 \cdot 28}{100} + 0,05 \cdot 28 = 8,29, \text{ мин.}$$

Для осуществления шлифования зубьев заготовки предлагается применять следующее устройство, представленное на рисунке 3

Устройство для шлифования эвольвентных зубчатых колес, выполненное в виде корпуса с установленными в нем с возможностью вращения опорными, натяжным и приводным роликами и охватывающей их замкнутой абразивной лентой, образующей во взаимодействии с опорными роликами ременный исходный профиль, снабжено дополнительными опорными роликами, установленными вдоль ременного исходного профиля с внутренней стороны замкнутой абразивной ленты и подпружиненными относительно нее с возможностью ограниченного исходным профилем смещения в нормальном относительно ленты направлении при ее отклонении от исходного профиля под действием обрабатываемых зубчатых колес.

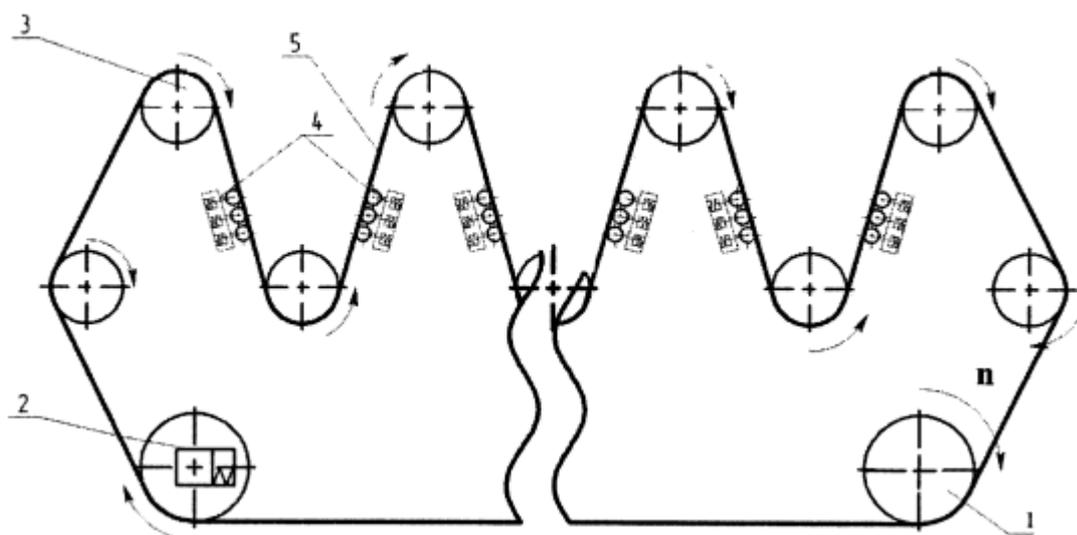


Рисунок 3 – Схема работы приспособления

Устройство для шлифования эвольвентных зубчатых колес (рисунок 3) включает корпус 7 с установленными в нем с возможностью вращения опорными 3, натяжным 2 и приводным 1 роликами и охватывающей их замкнутой абразивной лентой 5, образующей во взаимодействии с опорными роликами 3 ременный исходный профиль. Устройство снабжено дополнительными опорными роликами 4, установленными вдоль ременного исходного профиля с внутренней стороны замкнутой абразивной ленты 5 и пружиненными относительно нее с возможностью ограниченного исходным профилем смещения в нормальном относительно ленты 5 направлении при отклонении последней от исходного профиля под действием обрабатываемых зубчатых колес.

Схема обработки идентична присущей прототипу (рисунок 3). Корпус 7 устройства для шлифования эвольвентных зубчатых колес устанавливается на исполнительном органе станка (например, каретке с приводом продольного перемещения), обеспечивающем подачу  $S$ . Обрабатываемое зубчатое колесо устанавливается на исполнительном органе станка (например, оправке с приводом вращения), обеспечивающем согласованное с подачей вращение  $w$ . Согласованным относительным перемещением

вышеуказанных исполнительных органов обрабатываемое зубчатое колесо вводится в зацепление с образуемым абразивной лентой и опорными роликами реечным исходным профилем и осуществляется «обкат зубчатого колеса по рейке». При этом абразивная лента получает рабочее перемещение по замкнутому контуру от, например, автономного привода (не показан) через приводной ролик 1. Поскольку дополнительные опорные ролики 4 подпружинены с возможностью ограниченного исходным профилем смещения в нормальном относительно абразивной ленты направлении при ее отклонении от исходного профиля под действием обрабатываемых зубчатых колес, дополнительное прижимное давление от роликов на абразивную ленту возникает только в тех местах/случаях, где имеет место отклонение формы/размера зубчатых колес от идеального, в этих местах происходит более интенсивный съем материала зубчатых колес и отклонение формы/размера зубчатых колес от идеального уменьшается.

### **3 Проектирование специальных средств технологического оснащения**

«Конструирование приспособлений тесно связано с разработкой технологического процесса изготовления данной детали. В задачи технолога входят: выбор заготовки, способ ее получения; выбор технологических баз; установление маршрута обработки; уточнение содержания технологических операций с разработкой эскизов обработки, дающих представление об установке заготовки; определение промежуточных размеров по всем операциям и допусков на них; установление режимов резания; определение штучного времени на операцию; выбор типа и модели станка. В задачи конструктора входят: конкретизация принятой технологом схемы установки; выбор конструкции и размеров установочных элементов приспособления; определение необходимой силы закрепления; уточнение схемы и размеров зажимного устройства; определение размеров направляющих деталей приспособления; общая компоновка приспособления с установлением допусков на изготовление деталей и сборку приспособления». [11]

«В качестве исходных данных конструктор должен иметь: чертежи заготовки и детали с техническими требованиями их приемки; операционный чертеж на предшествующую и выполняемую операции; операционные карты технологического процесса обработки данной детали. Из них выявляют последовательность и содержание операций, принятую схему базирования, используемое оборудование и инструменты, режимы резания, а также запроектированную производительность с учетом времени на установку и снятия обрабатываемой детали. Конструктору необходимы стандарты на станочных приспособлений, а также альбомы нормализованных конструкций. Полезно ознакомиться с аналогичными приспособлениями по литературным источникам и патентным материалам». [11]

### 3.1 Анализ исходных данных

В спроектированном технологическом процессе на операции 030 Сверлильная ведется обработка трех отверстий (рисунок 4).

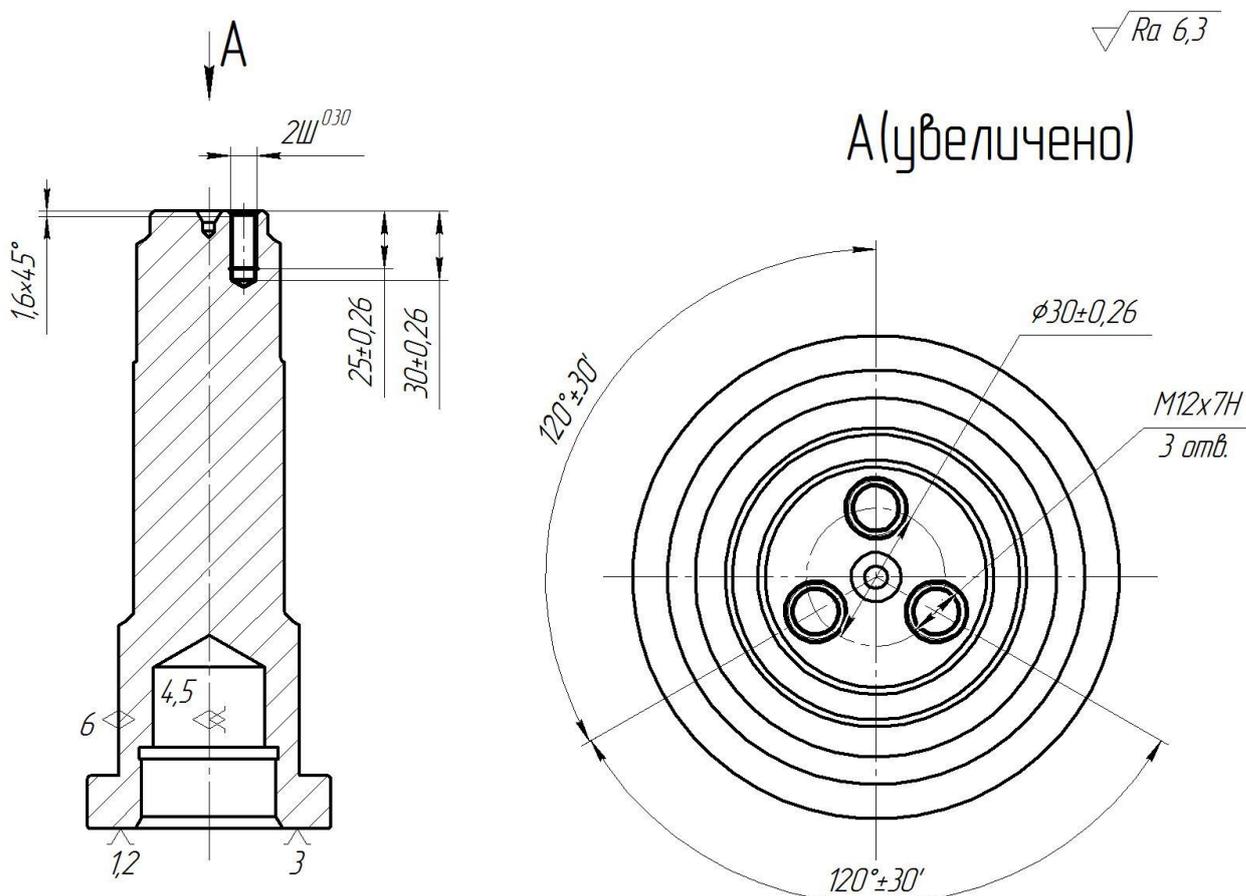


Рисунок 4 -Эскиз операции 030

Для автоматизации приспособления необходимо чтобы какой-то механизм выполнял необходимую работу. Этим механизмом является силовой привод. Силовой привод предназначен для выполнения силы тяги, необходимой для закрепления заготовки. Привод может быть механическим, гидравлическим, пневматическим или комбинированным.

«Гидравлический привод – самостоятельная установка, состоящая из электродвигателя, насоса для подачи масла, рабочего цилиндра, бака для масла, аппаратуры управления и регулирования и трубопроводов. В зависимости от назначения и мощности гидравлический привод может

обслуживать одно приспособление, группу из трех-пяти приспособлений на нескольких станках или группу из 25-35 приспособлений, установленных на различных станках». [11]

В нашем случае гидравлический привод будет индивидуальным, то есть он будет обслуживать одно приспособление.

«При выборе структуры стремятся к уменьшению штучного времени. Уменьшение штучного времени достигается технологическими мероприятиями и мерами по совершенствованию конструкций приспособлений (например, повышенная жесткость приспособления, возможна обработка на более производительных режимах резания), вспомогательное время уменьшают, применяя быстродействующие зажимные устройства и совмещая вспомогательное время с основным путем использования поворотных приспособлений с отдельной позицией загрузки и снятия заготовки». [11]

«Ускорение темпов технического прогресса вызывает необходимость частой замены выпускаемых машин более совершенными. При этом почти вся специальная оснастка списывается, так как проектируется и изготавливается новая. Это влечет за собой большой объем трудовых и денежных затрат на производство приспособлений, что, в свою очередь отражается, на сроках технологической подготовки производства и себестоимости выпускаемой продукции. Большая часть всех трудовых затрат в технологической подготовке производства приходится на изготовление приспособлений и оснастки. Поэтому проблема сокращения цикла и затрат на подготовку производства становится особенно актуальной. Уменьшение сроков конструирования и изготовления приспособлений, позволяющих в короткий срок перестраивать производство на выпуск новой продукции, способствует решению этой проблемы. В условиях серийного и мелкосерийного производства особенно важно наличие гибкой переналаживаемой высокомеханизированной системы приспособлений. Эффективными методами, ускоряющими и удешевляющими проектирование

и изготовление приспособлений, являются унификация; нормализация и стандартизация деталей и элементов приспособлений на основе научных достижений и передового опыта». [11]

### 3.2 Определение усилия зажима

Крутящий момент от сил резания стремится повернуть заготовку, зафиксированную в призмах относительно их опорной поверхности. Этому моменту противостоят силы трения, возникающие на поверхностях призм. Следовательно, усилие закрепления определим из выражения

$$Q = \frac{M_K \cdot K \cdot \sin \alpha / 2}{D \cdot f} \quad (20)$$

где  $D = 13,2$  мм – диаметр обработки;  $\alpha = 90^\circ$  – угол пазов призм;  $M_K = 122$  Н м – крутящий момент;  $f = 0,1$  – коэффициент трения;  $K$  – коэффициент запаса

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (21)$$

Для нашего случая

$$K_0 = 1; K_1 = 1,0; K_2 = 1,7; K_3 = 1,2; K_4 = 1,0; K_5 = 1,0; K_6 = 1,5. \quad [11]$$

Тогда

$$K = 1,5 \cdot 1 \cdot 1,7 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1,5 = 4,59.$$

Подставляя в выражение (20), получим

$$Q = \frac{122 \cdot 4,59 \cdot \sin \frac{90}{2}}{13,2 \cdot 0,1} = 299,97, \text{ Н.}$$

Приспособление – тиски с гидрозажимным приводом представлено в графической части работы.

## 4 Проектирование режущего инструмента

На 045 шлицефрезерной операции ведется обработка наружных шлиц, в этом разделе спроектируем червячную фрезу для нарезания шлицевого валика с параметрами  $D-8 \times 56h11 \times 62h7 \times 10k8$ .

### 4.1 Исходные данные

Наружный диаметр валика  $D = 62h7_{(-0,03)}$  мм.

Внутренний диаметр валика  $d = 56h11_{(-0,19)}$  мм.

Переходный диаметр валика  $d_1 = 59$  мм.

Ширина шлица  $b = 10k8^{(+0,021)}_{(+0,002)}$  мм.

Максимальный размер фаски  $c_{\min} = 0,5$  мм.

Число шлицев  $z = 8$  штук.

Способ центрирования – по наружному диаметру.

### 4.2 Построение линии профилирования

«Определение расчетные размеры шлицевого вала» [12]:

- наружный диаметр

$$D_{расч} = D_{\max} - 2c_{\min} = 61,970 - 2 \cdot 0,5 = 60,970, \text{ мм};$$

- внутренний диаметр

$$d_{расч} = d_{\min} + 0,25Td = 55,810 + 0,25 \cdot 0,019 = 55,815, \text{ мм};$$

- ширина шлица

$$b_{расч} = b_{\min} + 0,25Tb = 10,002 + 0,25 \cdot 0,019 = 10,007, \text{ мм}.$$

Из условия

$$0,25\sqrt{4D_{расч}^2 - 3b_{расч}^2} \leq r_y \leq 0,5D_{расч}$$
$$30,175 \leq r_y \leq 30,485$$

принимаем  $r_y = 30,3, \text{ мм}$

«Определение координаты экстремальной точки линии профилирования с точностью до 0,0001 мм» [12]:

$$x_o = -\frac{b_{расч}}{4} \sqrt{1 - \left(\frac{b_{расч}}{4r_u}\right)^2} = -\frac{10,007}{4} \sqrt{1 - \left(\frac{10,007}{4 \cdot 30,3}\right)^2} = -2,4932, \text{ мм};$$

$$y_o = -\frac{b_{расч}^3}{16r_u} = -\frac{10,007^3}{16 \cdot 30,3} = -2,0670, \text{ мм}.$$

«Расчет угла поворота вала, соответствующего экстремальной точке».

[12]

$$\mu_o = \arcsin\left(\frac{b_{расч}}{4r_u}\right) = \arcsin\left(\frac{10,007}{4 \cdot 30,3}\right) = 0,08266 \text{ рад} = 4,7361^\circ.$$

«Расчет угла, соответствующего началу переходной кривой» [12]:

$$\mu_i = 90^\circ - \arcsin\left(\frac{\sqrt{d_{\delta\delta\bar{n}\bar{z}}^2 - b_{\delta\delta\bar{n}\bar{z}}^2}}{2r_{\delta}}\right) = 90^\circ - \arcsin\left(\frac{\sqrt{55,815^2 - 10,007^2}}{2 \cdot 30,3}\right) = 25,0282^\circ.$$

Принимают, что углу  $\mu_o$  соответствует точка 0 линии профилирования, а углу  $\mu_n$  - точка 5, и задаются углами  $\mu_i$  с точностью до  $1^\circ$  три промежуточные точки. Рассчитывают координаты точек 1-5 по формулам:

$$x_i = (r_u \sin \mu_i - 0,5b_{расч}) \cos \mu_i;$$

$$x_0 = (30,3 \cdot \sin 4,7361^\circ - 0,5 \cdot 10,007) \cos 4,7361^\circ = -2,4932;$$

$$x_1 = (30,3 \cdot \sin 10^\circ - 0,5 \cdot 10,007) \cos 10^\circ = 0,2541;$$

$$x_2 = (30,3 \cdot \sin 15^\circ - 0,5 \cdot 10,007) \cos 15^\circ = 2,7420;$$

$$x_3 = (30,3 \cdot \sin 20^\circ - 0,5 \cdot 10,007) \cos 20^\circ = 5,0365;$$

$$x_4 = (30,3 \cdot \sin 25^\circ - 0,5 \cdot 10,007) \cos 25^\circ = 7,0707;$$

$$x_5 = (30,3 \cdot \sin 25,0282^\circ - 0,5 \cdot 10,007) \cos 25,0282^\circ = 7,0815;$$

$$y_i = (r_u \sin \mu_i - 0,5b_{расч}) \sin \mu_i;$$

$$y_0 = (30,3 \cdot \sin 4,7361^\circ - 0,5 \cdot 10,007) \sin 4,7361^\circ = -0,2066;$$

$$y_1 = (30,3 \cdot \sin 10^\circ - 0,5 \cdot 10,007) \sin 10^\circ = 0,0448;$$

$$y_2 = (30,3 \cdot \sin 15^\circ - 0,5 \cdot 10,007) \sin 15^\circ = 0,7347;$$

$$y_3 = (30,3 \cdot \sin 20^\circ - 0,5 \cdot 10,007) \sin 20^\circ = 1,8331;$$

$$y_4 = (30,3 \cdot \sin 25^\circ - 0,5 \cdot 10,007) \sin 25^\circ = 3,2972;$$

$$y_5 = (30,3 \cdot \sin 25,0282^\circ - 0,5 \cdot 10,007) \sin 25,0282^\circ = 3,3064.$$

Таблица 2 – «Координаты точек линии профилирования и профиля зуба фрезы» [12]

| Номер точки $i$ | 5       | 4      | 3      | 2      | 1       | 0       |
|-----------------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|
| $\mu_i$         | 25,0282 | 25     | 20     | 15     | 10      | 4,7361  |
| $x_i$           | 7,0815  | 7,0707 | 5,0365 | 2,7420 | 0,2541  | -2,4932 |
| $y_i, Y_i$      | 3,3064  | 3,2972 | 1,8331 | 0,7347 | 0,0448  | -0,2066 |
| $X_i$           | 1,3936  | 0,4838 | 0,2806 | 0,0600 | -0,0333 | -0,0558 |

### 4.3 Построение профиля зуба в нормальном сечении

«Для углов  $\mu_i$ , внесенных в таблицу 2, рассчитывают координаты  $X_i$  точек профиля зуба фрезы». [12]

$$X_i = r_{\delta} \left( \frac{\pi}{180} \mu_i - \arcsin \frac{b_{\delta \hat{a} \hat{n} \hat{z}}}{2r_{\delta}} \right) - \left( r_{\delta} \sin \mu_i - \frac{b_{\delta \hat{a} \hat{n} \hat{z}}}{2} \right) \cos \mu_i;$$

$$X_0 = 30,3 \left( \frac{\pi}{180} 4,7580^{\circ} - \arcsin \frac{10,007}{2 \cdot 30,3} \right) - \left( 18,4 \cdot \sin 4,7361^{\circ} - \frac{10,007}{2} \right) \cos 4,7580^{\circ} = -0,0558;$$

$$X_1 = 30,3 \left( \frac{\pi}{180} 10^{\circ} - \arcsin \frac{10,007}{2 \cdot 30,3} \right) - \left( 18,4 \cdot \sin 10^{\circ} - \frac{10,007}{2} \right) \cos 10^{\circ} = -0,0333;$$

$$X_2 = 30,3 \left( \frac{\pi}{180} 15^{\circ} - \arcsin \frac{10,007}{2 \cdot 30,3} \right) - \left( 18,4 \cdot \sin 15^{\circ} - \frac{10,007}{2} \right) \cos 15^{\circ} = 0,0600;$$

$$X_3 = 30,3 \left( \frac{\pi}{180} 20^{\circ} - \arcsin \frac{10,007}{2 \cdot 30,3} \right) - \left( 18,4 \cdot \sin 20^{\circ} - \frac{10,007}{2} \right) \cos 20^{\circ} = 0,2806;$$

$$X_4 = 30,3 \left( \frac{\pi}{180} 25^{\circ} - \arcsin \frac{10,007}{2 \cdot 30,3} \right) - \left( 18,4 \cdot \sin 25^{\circ} - \frac{10,007}{2} \right) \cos 25^{\circ} = 0,4838;$$

$$X_5 = 30,3 \left( \frac{\pi}{180} 31,3274^{\circ} - \arcsin \frac{10,007}{2 \cdot 30,3} \right) - \left( 18,4 \cdot \sin 25,0282^{\circ} - \frac{10,007}{2} \right) \cos 31,3274^{\circ} = 1,3936.$$

«Смещают систему координат таким образом, чтобы ее начало находилось в точке 0». [12]

$$\begin{aligned}
\bar{X}_i &= X_i - X_0; \\
\bar{X}_1 &= 0,1560 - (-1,4872) = 1,6432; \\
\bar{X}_2 &= 1,6503 + 1,4872 = 3,1375; \\
\bar{X}_3 &= 3,0284 + 1,4872 = 4,5156; \\
\bar{X}_4 &= 4,2503 + 1,4872 = 5,7375; \\
\bar{X}_5 &= 5,5188 + 1,4872 = 7,0006; \\
\bar{Y}_i &= Y_i - Y_0; \\
\bar{Y}_1 &= 0,0275 - (-0,1229) = 0,1504 \\
\bar{Y}_2 &= 0,4422 + 0,1229 = 0,5651 \\
\bar{Y}_3 &= 1,1023 + 0,1229 = 1,2252 \\
\bar{Y}_4 &= 1,9819 + 0,1229 = 2,1048 \\
\bar{Y}_5 &= 3,3591 + 0,1229 = 3,4820.
\end{aligned}$$

Таблица 3 – «Скорректированные координаты точек профиля, мм» [12]

| $i$         | 5      | 4      | 3      | 2      | 1      | 0 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
| $\bar{X}_i$ | 7,0006 | 5,7375 | 4,5156 | 3,1375 | 1,6432 | 0 |
| $\bar{Y}_i$ | 3,4820 | 2,1048 | 1,2252 | 0,5651 | 0,1504 | 0 |

$$\begin{cases}
(0 - x_c)^2 + (0 - y_c)^2 = \rho^2 \\
(3,1375 - x_c)^2 + (0,5651 - y_c)^2 = \rho^2 \\
(5,7375 - x_c)^2 + (2,1048 - y_c)^2 = \rho^2 \\
x_c^2 + y_c^2 = \rho^2 \\
0,262^2 - 2 \cdot 0,262 \cdot x_c + 1,1212^2 - 2 \cdot 1,1212 \cdot y_c = 0 \\
1,6638^2 - 2 \cdot 1,6638 \cdot x_c + 4,6335^2 - 2 \cdot 4,6335 \cdot y_c = 0 \\
x_c^2 + y_c^2 = \rho^2 \\
0,2836 - 2,1678 \cdot x_c + 5,1951 - 9,267 \cdot y_c = 0 \\
-9,7588 + 1,1598 \cdot x_c = 0
\end{cases}$$

$$\begin{aligned}
x_c &= 8,1742 \\
y_c &= -2,1924 \\
\rho &= 8,4862
\end{aligned}$$

«Проверка попадания точек 1 и 3 профиля зуба на эту же дугу окружности». [12]

$$\left| \sqrt{(0,0523 - 16,1742)^2 + (0,3291 + 3,1924)^2} - 16,4862 \right| = 0,0141$$

$$\left| \sqrt{(0,7238 - 16,1742)^2 + (2,4943 + 3,1924)^2} - 16,4862 \right| = 0,0242$$

#### 4.4 Расчет параметров зуба фрезы

«Расчет высоты ножки зуба». [12]

$$H_f = 0,5D_{расч} - r_y + q = 0,5 \cdot 60,970 - 30,3 + 0,1 = 0,285, \text{ мм.}$$

«При центрировании шлицевого соединения по наружному диаметру рассчитывают высоту головки зуба». [12]

$$H_a = (r_y \sin \mu_n - 0,5b_{расч}) \sin \mu_n = (30,3 \cdot \sin 25,0282^\circ - 0,5 \cdot 10,007) \cdot \sin 25,0282^\circ = 3,3064, \text{ мм.}$$

«Расчет полной высоты зуба фрезы». [12]

$$H = H_a + H_f = 3,3064 + 0,285 = 3,5914, \text{ мм.}$$

«Расчет толщины зуба по линии центроиды фрезы в нормальном сечении». [12]

$$S_n = \frac{2\pi}{z} r_y - b_{расч} = \frac{2\pi}{8} 30,3 - 10,007 = 13,7899, \text{ мм.}$$

$$S_x = S_n - 2(x_c - \rho \cos \beta_x)$$

$$S_{x1} = 8,44 - 2(8,1724 - 8,4862 \cdot \cos 28,7507^\circ) = 6,9753, \text{ мм}$$

$$S_{x2} = 8,44 - 2(8,1724 - 8,4862 \cdot \cos 23,3908^\circ) = 7,6729, \text{ мм}$$

«Расчет нормального шага профиля зубьев». [12]

$$t_n = \frac{2\pi \cdot r_o}{z} = \frac{2\pi \cdot 30,3}{8} = 23,7969, \text{ мм.}$$

В графической части работы представлен чертеж фрезы.

## 5 Безопасность и экологичность технического объекта

В данном разделе проводится оценка экологичности и безопасности технологического процесса изготовления детали вал-шестерня. Оценку будем вести согласно методике [17].

### 5.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристика рассматриваемого технического объекта

Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристика производственного процесса изготовления детали вал-шестерня заключается в представлении основных характеристик усовершенствованных операций технологического процесса. Эти характеристики включают в себя вид выполняемых работ, применяемые средства технического оснащения, должность работников, которые выполняют операции, а так же все необходимые материалы и вещества. Результаты анализа характеристик технического объекта собраны в таблицу 4.

Таблица 4 – «Технологический паспорт технического объекта» [17]

| «Технологический процесс» [17] | «Технологическая операция, вид выполняемых работ» [17] | «Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию» [17] | «Оборудование, техническое устройство, приспособление» [17] | «Материалы, вещества» [17]                 |
|--------------------------------|--|---|---|--|
| Точение                        | Токарная операция                                      | Оператор станка с ЧПУ   | Станок токарный 16Б16Т1С1 с ЧПУ                             | Сталь 19ХГН<br>ГОСТ 4543-71<br>СОЖ - Литол |
| Фрезерование                   | Шлицефрезерная операция                                | Оператор станка с ЧПУ   | Шлицефрезерный станок 5А352ПФ2 с ЧПУ                        | Сталь 19ХГН<br>ГОСТ 4543-71<br>СОЖ - Литол |

## 5.2 Идентификация профессиональных рисков

В данном разделе приводится идентификация профессиональных рисков – производственно-технологических и эксплуатационных рисков. Это вредные и опасные производственные факторы, источником которых могут служить материалы, оборудование и вещества, используемые при изготовлении детали вал-шестерня. Результаты исследования этих факторов приведены в таблице 5.

Таблица 5 – «Идентификация профессиональных рисков» [17]

| «Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ» [17] | «Опасный и/или вредный производственный фактор» [17]  | «Источник опасного и/или вредного производственного фактора» [17] |
|--|---|---|
| 1  | 2   | 3   |
| Токарная операция  | Движущиеся части производственного оборудования; оборудование, перемещающее заготовки, изделия; токсичные раздражающие вещества (СОЖ); высокий уровень шума на рабочем месте; монотонность труда. | Станок токарный 16Б16Т1С1 с ЧПУ                                   |
| Фрезерная операция   | Движущиеся части производственного оборудования; оборудование, перемещающее заготовки, изделия; токсичные раздражающие вещества (СОЖ); высокий уровень шума на рабочем месте; монотонность труда. | Шлицефрезерный станок 5А352ПФ2 с ЧПУ                              |

### 5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

В данном разделе подобраны методы и средства снижения профессиональных рисков, которые необходимо использовать для защиты, частичного снижения или полного устранения вредного и/или опасного фактора при изготовлении детали вал-шестерня. Некоторые из требований, такие как инструктаж и обучение по технике безопасности при работе с промышленным оборудованием, и инструктажи по охране труда – актуальны на каждом этапе технологического процесса. Другие, например, такие как использование предупреждающей разметки или использование местной вытяжки – применяются на конкретных операциях, где их использование необходимо. Все средства индивидуальной защиты работников подобраны с учётом выполняемых ими операций. Результаты анализа методов и средств снижения профессиональных рисков приведены в таблице 6.

Таблица 6 – «Методы и средства снижения и/или устранения опасных и/или вредных производственных факторов» [17]

| «Опасный и/или вредный производственный фактор» [17]   | «Организационно-технические методы и технические средства защиты частичного снижения, полного устранения опасного и/или вредного производственного фактора» [17]                   | «Средства индивидуальной защиты работника» [17]                                   |
|--|--|---|
| 1  | 2  | 3   |
| Повышенная температура поверхностей материалов   | Инструктаж и обучение по технике безопасности при работе с промышленным оборудованием; инструктаж по охране труда; использование технических средств защиты                        | Костюм огнеупорный; огнеупорные ботинки; краги для металлургов; огнеупорный щиток |
| Движущиеся части производственного оборудования; Оборудование, перемещающее заготовки, изделия | Инструктаж и обучение по технике безопасности при работе с промышленным оборудованием; инструктаж по охране труда; ограждение оборудования; использование предупреждающей разметки | Костюм для защиты от загрязнений; каска защитная; очки защитные                   |
| Токсические раздражающие вещества (СОЖ)  | Инструктаж и обучение по технике безопасности при работе с промышленным оборудованием;   | костюм для защиты от загрязнений; каска защитная; очки                            |

Продолжение таблицы 6

| 1  | 2  | 3  |
|--|--|--|
|  | инструктаж по охране труда;<br>использование местной вытяжки;<br>ограждение оборудования<br>защитными экранами   | защитные;<br>полумаска фильтрующая;<br>перчатки с точечным или<br>полимерным покрытием |
| Высокий уровень шума<br>и повышенный уровень<br>вибрации | инструктаж и обучение по технике<br>безопасности при работе с<br>промышленным оборудованием;<br>инструктаж по охране труда;<br>использование различных<br>технических средств устранения<br>шума;<br>увеличение жёсткости<br>оборудования для уменьшения<br>колебаний; Использование<br>материалов, способных поглощать<br>колебания | Вкладыши<br>противошумные,<br>наушники, резиновый<br>коврик                            |

#### 5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

В данном разделе приводится идентификация потенциального класса возникновения пожара и выявление опасных факторов его воспламенения. Анализ классов пожара и опасных факторов пожара, воздействующих на людей и материальное имущество, а так же сопутствующих проявлений опасных факторов пожара проведён по методике [17]. Результаты анализа представлены в таблице 7.

Таблица 7 – «Идентификация классов и опасных факторов пожара» [17]

| Участок, подразделение      | Оборудование   | Класс пожара  | Опасные факторы пожара  | Сопутствующие проявления факторов пожара     |
|-----------------------------|--|---|---|--|
| 1                           | 2  | 3   | 4   | 5  |
| Участок лезвийной обработки | Токарный станок 16Б16Т1С1 с ЧПУ;<br>Шлицефрезерный станок 5А352ПФ2 с ЧПУ | Пожары, связанные с воспламенением и горением плавящихся твёрдых материалов и веществ (В) | Пламя, искры, огонь, тепловой поток, высокая температура, повышенная концентрация токсичных веществ в воздухе, низкая видимость | Замыкание высокого электрического напряжения |

Для обеспечения пожарной безопасности в ходе изготовления детали вал-шестерня были выбраны организационно-технические мероприятия и технические средства обеспечения пожарной безопасности. Все они соответствуют нормативным документам в области пожарной безопасности, таким как Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 N 123-ФЗ. Все собранные данные анализа представлены в таблицах 8 и 9.

Таблица 8 – «Технические средства обеспечения пожарной безопасности» [17]

| Первичные средства пожаротушения    | Мобильные средства пожаротушения   | Стационарные установки системы пожаротушения | Средства пожарной автоматики                            | Пожарное оборудование                                  | Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре | Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)          | Пожарные сигнализация, связь и оповещение. |
|-------------------------------------|------------------------------------|--|---|--|--|--|--|
| 1                                   | 2                                  | 3  | 4   | 5  | 6  | 7  | 8  |
| Огнетушители ручные, ящики с песком | Пожарные машины, пожарные лестницы | Оборудование автоматического тушения пожара  | технические средства оповещения и управления эвакуацией | Пожарные рукава, рукавные разветвления, ящики с песком | Респираторы, противогазы, пожарные карабины                | Пожарные лопаты, багры, ломы, топоры, ведра, комплекты электрические | Автоматические оповещатели                 |

Таблица 9 – «Организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности» [17]

| Наименование технологического процесса, используемого оборудования в составе технического объекта | Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий  | Предъявляемые нормативные требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты |
|---|--|--|
| 1   | 2  | 3  |
| Технологический процесс изготовления детали вала-шестерни   | Инструктаж и обучение правилам пожарной безопасности на участках; обучение действиям при | Проведение противопожарных инструктажей, наличие автоматической системы пожаротушения, наличие |

| 1 | 2   | 3  |
|---|---|--|
|   | возникновении пожара и правильной эвакуации; контроль за правильной эксплуатацией оборудования; содержание оборудования в исправном состоянии | пожарной сигнализации, наличие первичных средств для тушения пожаров |

### 5.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

В данном разделе представлена оценка мер по обеспечению экологической безопасности технологического процесса изготовления детали вал-шестерня. Выявлены и проанализированы негативные экологические факторы реализуемого технического процесса, а так же меры по их снижению и/или устранению. Все данные анализа соответствуют нормативным документам РФ. Результаты анализа представлены в таблицах 10 и 11.

Таблица 10 – «Идентификация негативных экологических факторов технического объекта» [17]

| «Наименование технического объекта, производственно-технологического процесса» [17] | «Структурные составляющие технического объекта, производственно-технологического процесса (производственного здания или сооружения по функциональному назначению, технологических операций, технического оборудования), энергетической установки, транспортного средства и т.п.» [17] | «Негативное экологическое воздействие технического объекта на атмосферу (выбросы в воздушную окружающую среду)» [17] | «Негативное экологическое воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)» [17] | «Негативное экологическое воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра, образование отходов, выемка плодородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязнение растительного покрова и т.д.)» [17] |
|---|---|--|--|---|
| 1   | 2   | 3  | 4  | 5   |
| Технологический процесс изготовления детали вал-шестерня                            | Станок токарный 16Б16Т1С1 с ЧПУ; Шлицефрезерный станок 5А352ПФ2 с ЧПУ   | Стальная пыль; частицы стружки; туман от СОЖ   | Технические жидкости и масла; стружка; производственная пыль   | Металлические отходы, технические масла и жидкости, ветошь, СОЖ   |

Таблица 11 – «Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия заданного технического объекта на окружающую среду». [17]

| Наименование технического объекта  | Технологический процесс изготовления детали вал-шестерня  |
|--|---|
| Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу  | Использование для очистки воздуха циклоны-осадители с тангенциальным входом, с осевым входом, с групповым входом; мультициклоны параллельные, последовательные; пылеуловители |
| Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу | Использование замкнутых и оборотных систем промышленного водопользования; многоступенчатая очистка воды   |
| Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу  | Использование системы сортировки отходов; соблюдение правил хранения отходов и периодичности их вывоза; переработка металлических отходов                                     |

## 5.6 Заключение по разделу

В ходе выполнения работы нами проанализирована безопасность и экологичность внесенных изменений в технологический процесс изготовления детали «вал-шестерня».

Проведена идентификация профессиональных рисков, которые могут возникнуть в ходе реализации модернизированного технологического процесса, предложены методы и средства необходимые для снижения этих рисков, предложены мероприятия по пожарной и экологической безопасности на участке механической обработки детали, разработанны организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия заданного технического объекта на окружающую среду.

## **6 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.

Основанием для определения экономической эффективности служат предложенные изменения в технологическом процессе изготовления детали «Вал-шестерня». Эти изменения касаются токарной операции. На ней предложено в качестве оснастки использовать автоматизированное зажимное приспособление, вместо универсального.

Используя данное описание изменений, рассчитаем, необходимые для определения эффективности, параметры, такие как: себестоимость, капитальные вложения, прибыль, срок окупаемости и экономический эффект. Чтобы получить значения указанных параметров воспользуемся соответствующим учебно-методическим пособием [18] и программным обеспечением Microsoft Excel.

Для определения себестоимости, в частности технологической себестоимости, необходимы последовательно определить основную заработную плату, социальные отчисления и расходы на содержание и эксплуатацию оборудования. Значения этих параметров, по сравниваемым вариантам выполнения описанных операций показано на рисунке 5.

Как видно из рисунка 5, все параметры имеют тенденцию к снижению, то есть проектируемый вариант предполагает снижение технологической себестоимости изготовления детали «Вал-шестерня» на 8,35 руб., что составит 8,2 %.

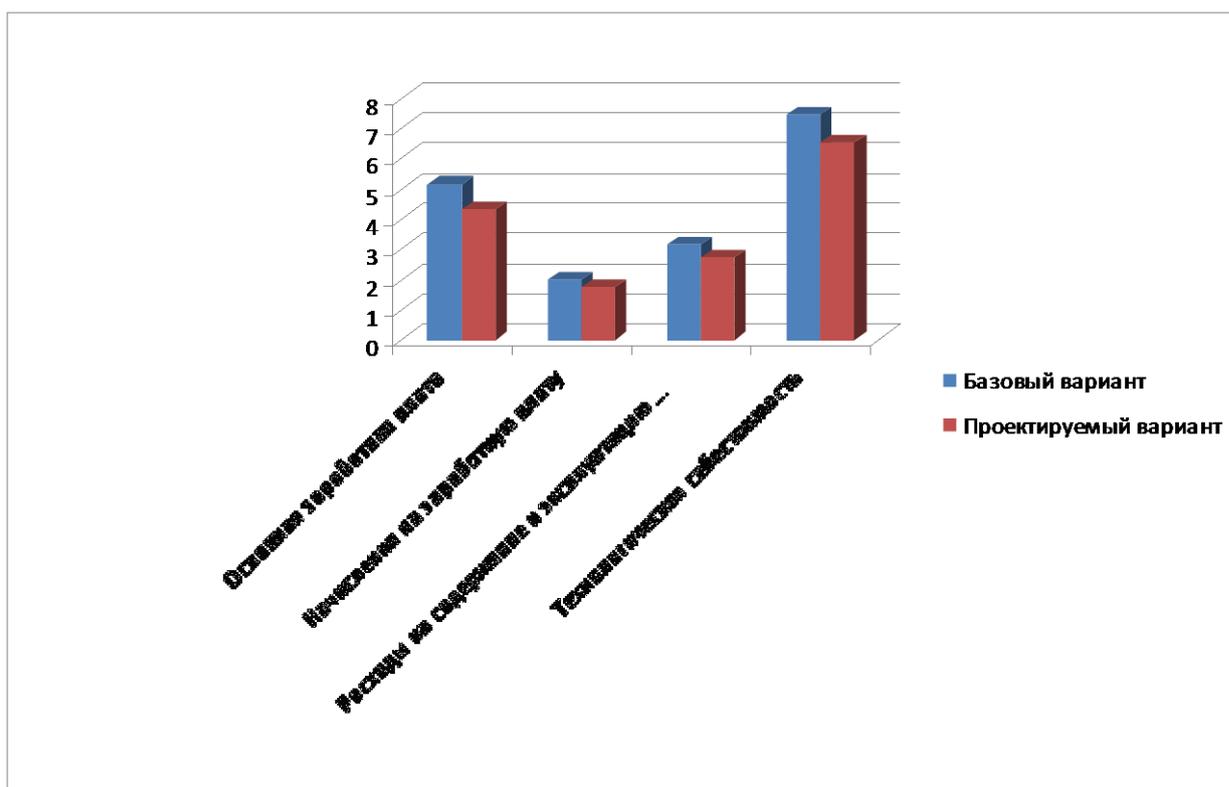


Рисунок 5 – Сравнительная характеристика параметров технологической себестоимости по вариантам, руб.

Полученные значения основной заработной платы и технологической себестоимости по сравниваемым вариантам служат необходимыми данными для определения такого параметра как полная себестоимость. В результате проведенных расчетов полная себестоимость для базового варианта составит 98,23 рублей, а для проектируемого – 92,29 рублей. По полученным значениям можно сделать вывод о том, что полная себестоимость проектируемом варианте меньше, чем в базовом. Эта разница составляет 6,05% или 5,94 рублей.

Используя полученную разницу и годовую программу выпуска детали, определяем сначала ожидаемую прибыль, а затем, с учетом налоговой ставки для юридических лиц, чистую прибыль от внесенных изменений в технологический процесс, которая составит 29631 рубль.

Чтобы определить будут ли эффективны предложенные изменения, необходимо рассчитать инвестиции или капитальные вложение в проект. Учитывая то, что изменения технологического процесса изготовления детали

«Вал-шестерня» затрагивают замену инструмента и оснастки, то капитальные вложения будут складываться из затрат на инструмент, приспособление и затрат на проектирование нового технологического процесса, поэтому общая сумма инвестиций составит 59252,29 рублей. На рисунке 6 представлена структура капитальных вложений в долевом соотношении.

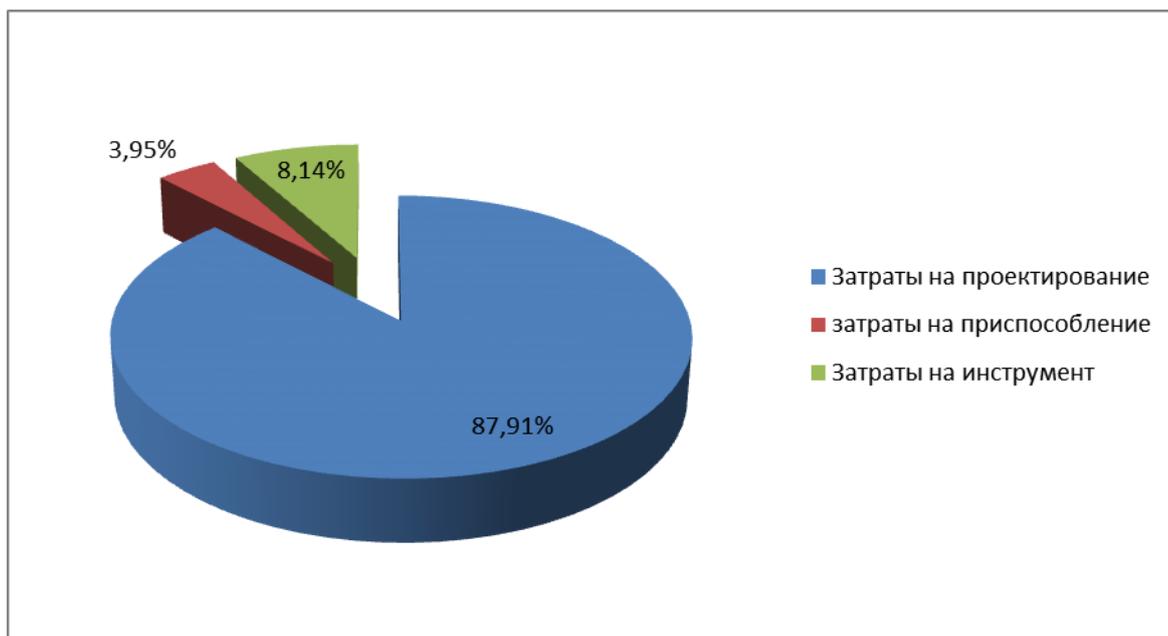


Рисунок 6 – Структура капитальных вложений в долях к общей величине

Анализируя структуру параметров инвестиций, представленную на рисунке 6, видно, что затраты на проектирование составляют большую долю в общей величине капитальных вложений, их величина равна 87,91 %.

Имея все необходимые параметры, можно обосновать эффективность предложенных изменений. Для этого необходимо определить: срок окупаемости, общий дисконтируемый доход, интегральный экономический эффект и в зависимости от величины эффекта либо индекс доходности, либо доход на капитал. Полученные значения всех перечисленных параметров представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Показатели экономической эффективности проекта

| Наименование параметра                  | Величина параметра |
|---|--------------------|
| Срок окупаемости, года                  | 3                  |
| Общий дисконтируемый доход, руб.        | 42895,25           |
| Интегральный экономический эффект, руб. | 3899,659           |
| Индекс доходности, руб. / руб.          | 1,14               |

Анализируя, представленные в таблице 10, данные можно сделать вывод о том, что проект является эффективным, так как интегральный экономический эффект является положительной величиной и составляет 3899,65 рублей, что является обязательным условием для экономического обоснования мероприятий. Так как эффект больше нуля, поэтому определяется индекс доходности, а не доход на капитал. Данный показатель дает понимание, какую прибыль может получить производитель с каждого вложенного в проект рубля, в нашем случае эта прибыль составит 0,14 рублей, что может обеспечить рентабельность в размере 14 %.

## Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы нами спроектирован технологический процесс изготовления вала-шестерни комбайна.

В ходе проектирования нами были проанализированы исходные данные и методом экономического сравнения выбран способ получения заготовки – штамповка. Исходя из годовой программы выпуска деталей и массы вала-шестерни, выбран среднесерийный тип производства. Далее по форме и, исходя из необходимого качества обработки, выбраны методы обработки поверхностей детали. Опираясь на эти методы, разработаны технологический маршрут и составлен план изготовления детали.

Для базирования заготовки на 025 токарной операции разработана конструкция автоматического токарного патрона. Внедрение этого приспособления взамен приспособления с ручным зажимом дает сокращение вспомогательного времени операции.

Для использования в качестве инструмента на шлицефрезерной операции 035 разработана конструкция червячной фрезы. Червячная фреза является сложнопрофильным инструментом, поэтому ее необходимо проектировать для каждого типа шлиц.

В работе выполнен анализ безопасности и экономичности. Экономический расчет выполненных мероприятий показал положительный эффект.

## Список используемой литературы

1. Зубарев Ю.М. Основы резания материалов и режущий инструмент : учебное пособие / Ю.М. Зубарев, Р.Н. Битюков. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 228 с.
2. ГОСТ 4543-71. Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия. – 40 с.
3. Жуков В.А. Конструктивная прочность. Конструкционные стали и сплавы: учеб.пособие / В.А. Жуков. – М. : ИНФРА-М, 2019. - 264 с.
4. Мнацаканян В.У. Основы технологии машиностроения : учеб. пособие / В.У. Мнацаканян. – М. : Изд. Дом НИТУ «МИСиС», 2018. – 221 с.
5. Скворцов В.Ф. Основы технологии машиностроения : учеб. пособие / В.Ф. Скворцов. – 2-е изд. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 330 с.
6. Козлов А.А. Разработка технологических процессов изготовления деталей машин: учеб.-метод. пособие по выполнению курсовых проектов по дисциплине «Основы технологии машиностроения» для студентов спец. 151001 «Технология машиностроения» / сост. А.А. Козлов, И.В. Кузьмич. – Тольятти: ТГУ, 2008. – 152 с.
7. ГОСТ 25347-82. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки. – 53 с.
8. Вереина Л. И. Металлообработка [Электронный ресурс] : справочник / Л. И. Вереина, М. М. Краснов, Е. И. Фрадкин ; под общ. ред. Л. И. Вереиной. - Москва : ИНФРА-М, 2013. - 320 с. - (Высшее образование. Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-004952-6.
9. Режимы резания металлов: Справочник / Ю.В.Барановский, Л.А.Брахман, А.И. Гадалевич и др. – М.: НИИТавтопром, 1995. – 456 с.
10. ГОСТ 19265-73. Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия. – 21 с.

11. Тарабарин О.И. Проектирование технологической оснастки в машиностроении : учебное пособие / О.И.Тарабарин, А.П. Абызов, В.Б. Ступко. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : Издательство «Лань», 2013. – 304 с.
12. Резников Л. А. Проектирование сложнопрофильного режущего инструмента [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Л. А. Резников ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". - Тольятти : ТГУ, 2014. - 207 с. : ил. - Библиогр.: с. 202-203. - Прил.: с. 204-207. - ISBN 978-5-8259-0768-0.
13. Шрубченко И.В. Основы технологии сборки в машиностроении : учеб. пособие / И.В. Шрубченко, Т.А. Дуюн, А.А. Погонин [и др.]. - М.: ИНФРА-М, 2019. – 235 с.
14. Погонин А.А. Технология машиностроения : учебник / А.А. Погонин, А.А. Афанасьев, И.В. Шрубченко. – 3-е изд. доп. - М.: ИНФРА-М, 2018. – 530 с.
15. Солоненко В.Г. Резание металлов и режущие инструменты : учеб. пособие / В.Г. Солоненко, А.А. Рыжкин. - М.: ИНФРА-М, 2019. – 415 с.
16. ГОСТ Р 52781-2007. Круги шлифовальные и заточные. Технические условия. – 30 с.
17. Горина Л.Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта» : электрон. учеб.-метод. пособие / Л.Н. Горина, М.И. Фесина. - Тольятти : Изд-во ТГУ, 2018. – 41 с.
18. Краснопевцева И.В. Экономика и управление машиностроительным производством : электронное учеб.-методическое пособие / И.В.Краснопевцева, Н.В. Зубкова. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2014. – 183 с.
19. ГОСТ 2.001-2013. Единая системы конструкторской документации. Общие положения. – 47 с.
20. Чекмарев А.А. Справочник по машиностроительному черчению : справочник / А.А. Чекмарев, В.К. Осипов. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 494 с.







