

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 червяка  
манипулятора МП-12

Студент

Амерханов А.С.

(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**

Амерханов Альберт Сагидуллаевич: Технологический процесс изготовления червяка манипулятора МП-12.

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

Расчетно-пояснительная записка содержит анализ исходных данных; технологическую часть, где проектируется технологический процесс изготовления детали, проектируется заготовка, ведется расчет припусков и режимов обработки; проектирование специальных средств технологического оснащения, состоящих из станочной оснастки и режущего инструмента; раздел безопасности и экологичности технического объекта; расчет экономической эффективности работы; заключение, список используемой литературы и приложений, где располагается технологическая документация к техпроцессу.

Объем расчетно-пояснительной записки составляет 65 страниц, 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 материала изделия.....	8
2 Технологическая часть работы.....	14
2.1 Определение типа производства.....	14
2.2 Выбор метода получения заготовки.....	12
2.3 Выбор методов обработки поверхностей.....	14
2.4 Определение припусков.....	15
2.5 Расчет режимов резания.....	19
3 Проектирование специальных средств технологического оснащения.....	29
3.1 Анализ исходных данных.....	29
3.2 Определение точности закрепления заготовки .....	30
3.3 Определение моментов, возникающих при обработке, и сил резания .....	30
3.4 Определение зажимного усилия .....	30
3.5 Определение диаметра поршня привода.....	33
4 Проектирование режущего инструмента.....	35
4.1 Исходные данные.....	35
4.2 Выбор инструментального материала .....	36
4.3 Определение конструктивных элементов рабочей части фрезы .....	36
4.4 Патентный поиск.....	38
5 Безопасность и экологичность технического объекта.....	46
6 Экономическая эффективность работы.....	54

Заключение.....	58
Список используемых источников.....	59
Приложения.....	62

## Введение

Одной из важнейших отраслей отечественной промышленности является станкостроение. Так как от него зависит количество оборудования и станков, на которых могут производить продукцию, будь то сельскохозяйственная техника, легкая промышленность, машиностроение, пищевая промышленность и так далее.

Важной частью металлорежущего станка является приспособление. В него закрепляют обрабатываемую заготовку. От точности установки в приспособление зависит точность обработки заготовки, поэтому точность производства самого приспособления играет очень важную роль.

На фрезерных станках используют различные универсальные, специализированные и специальные приспособления. Представителем специализированного приспособления является поворотный стол. На нем закрепляется заготовка при помощи прижимов или тиски, также стол имеет возможность поворота, что увеличивает номенклатуру изделий, которые можно обрабатывать на станке.

Механизм поворотного стола имеет ручной привод, в состав которого входит червячная передача. Она состоит из двух компонентов: червяка и червячного колеса. Преимуществом этой передачи является его тихоходность. Это важно при установке заготовки, ведь если необходимо повернуть заготовку на малый угол с быстроходной передачей это будет выполнить сложно.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка технологического процесса изготовления червяка манипулятора МП-12 заданного качества с наименьшими затратами на производство.

# 1 Анализ исходных данных

## 1.1 Служебное назначение детали

Червяк входит в состав манипулятора МП-12. Он воспринимает вращающий момент боковыми стенками шпоночного паза и передает его боковыми сторонами модульной резьбы на червячное колесо.

## 1.2 Классификация поверхностей и материала изделия

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

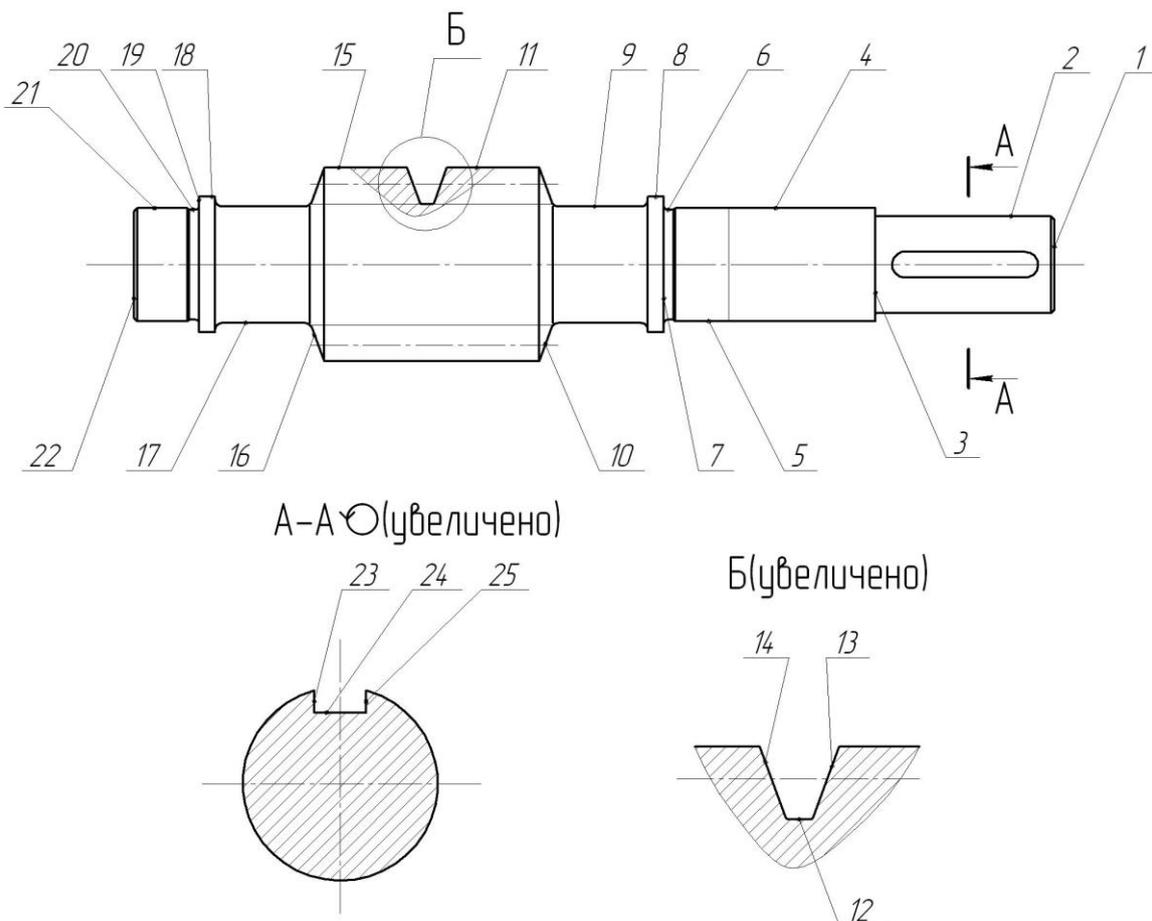


Рисунок 1 - Систематизация поверхностей

Исполнительными являются поверхности имеющейся у детали модульной резьбы 13 и 14, которыми она передает вращающий момент червячному колесу, а также поверхности паза для установки шпонки 23 и 25, которыми детали воспринимает вращающий момент от рукоятки приспособления.

Основными конструкторскими базами являются цилиндрические поверхности 5 и 21, а также торцовая поверхность 6, которыми деталь базируется в подшипниковые узлы.

Вспомогательными конструкторскими базами детали являются еще одна торцовая поверхность 19, а также поверхность шпоночного паза 24, на которой располагается шпонка.

Деталь работает в условиях действия относительно низких скоростей и переменной нагрузки. Такие условия работы червяка определяют требования к его изготовлению: шероховатости и точности поверхностей, а также их прочности.

Материалом детали является сталь 45 ГОСТ 1050-88. [1]

Основными физико-механическими свойствами материала сталь 45 являются:  $\sigma_B = 600...820$  МПа, твердость  $HV180...250$ . [2]

«Червячные передачи – это зубчато-винтовые передачи, движение в которых осуществляется по принципу винтовых передач скольжения. Угол между проекциями на параллельную плоскость скрещивающихся осей червячных передач обычно составляет  $90^\circ$ ». [3]

«Для шлифования архимедовых червяков требуются специальные шлифовальные круги с криволинейным профилем, что усложняет обработку. Шлифование червяков с высокой твердостью поверхности при  $H \geq 45$  HRC существенно увеличивает долговечность передачи, так как в противном случае шероховатый червяк как напильником сточит рабочий профиль

червячного колеса. Поэтому для червяков из высокотвердых шлифованных сталей используют эвольвентный профиль резьбы. Такие эвольвентные червяки поддоны эвольвентным зубчатым колесам с очень малым числом зубьев, равным числу заходов резьбы червяка, а стало быть, с очень высоким значением угла  $\beta$ . Это дает возможность шлифования эвольвентных витков червяка шлиской стороной шлифовального круга на червячно шлифовальных станках». [3]

Исходя из анализа исходных данных, разработаем технологическую часть, где спроектируем технологический процесс.

## 2 Разработка технологической части

### 2.1 Определение типа производства

«Технологический процесс изготовления деталей и сборки машин должен в первую очередь обеспечить получение изделий в заданных количествах при стабильно высоком их качестве в полном соответствии с требованиями и техническими условиями. При этом должны быть обеспечены безопасность работы и нормальные условия труда для рабочих. Выполнение этих требований в условиях современного производства может быть достигнуто при различных вариантах технологического процесса. Из них необходимо выбрать тот, который обеспечивает оптимальные технико-экономические показатели. Выбор вариантов следует осуществлять на основе технико-экономических расчетов». [4]

Выбор типа производства в нашем случае будем осуществлять в зависимости от двух показателей: годовой программы выпуска и массы изделия. В задании обозначена годовая программа  $N_r = 5000$  штук, а масса детали  $m = 3,0$  кг.

Исходя из вышеуказанных показателей, принимаем тип производства – среднесерийный. [4]

«В серийном производстве детали изготавливают партиями, а изделия – сериями, повторяющимися через определенные промежутки времени. Серийное производство характеризуется применением как универсального, так и специального оборудования, приспособлений, режущего и измерительного инструмента. Оборудование (общего назначения) обладает широкими технологическими возможностями. Оно позволяет выполнять разнообразные операции, присущие его типу, на самых различных деталях, приемлемым по габаритным размерам. Из металлорежущих станков в эту

группу входят токарно-винторезные, вертикально- и горизонтально-фрезерные, вертикально- и радиально-сверлильные, круглошлифовальные и другие». [4]

«На предприятиях серийного производства широко используют универсально-наладочные и сборные приспособления, станки с числовым программным управлением (ЧПУ), что позволяет ускорить технологическую подготовку производства, снизить трудоемкость и себестоимость изделий. В условиях серийного производства оборудование располагают как по типам станков, так и в последовательности технологического процесса; возможно также применение переменного-поточной формы организации работ, когда согласуются время обработки заготовок на отдельных станках и тем самым осуществляется непрерывное движение заготовок данной партии в порядке последовательности технологического процесса. Для перехода к обработке партий других деталей переналаживают оборудование и технологическую оснастку (приспособления и инструмент)». [4]

## 2.2 Выбор метода получения заготовки

Масса заготовки при штампованной заготовке  $m_{3Ш} = 5,53$  кг, при заготовке-прокате  $m_{3П} = 9,81$  кг, а масса детали  $m = 3,0$  кг.

Рассчитаем стоимость срезания одного килограмма стружки при механической обработке [5].

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

где  $E_H = 0,15$ ;  $C_c = 0,495$ ;  $C_k = 1,085$ . [5]

Тогда

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

Рассчитаем стоимость одного килограмма заготовки, полученной штамповкой [5].

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

где  $C_{\text{шт}} = 0,15$ ;  $k_T = 0,9$ ;  $k_C = 0,84$ ;  $k_B = 1,14$ ;  $k_M = 1,0$ ;  $k_n = 1,0$ . [5]

Тогда

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

Рассчитаем технологическую себестоимость изготовления детали, полученной штамповкой [5].

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

где  $Q_{\text{шт}} = 5,53$ ;  $q = 3,0$ ;  $C_{\text{отх}} = 0,0144$ . [5]

Тогда

$$C_{\text{шт}} = 0,2715 \cdot 5,53 + 0,6578(5,53 - 3,0) - (5,53 - 3,0)0,0144 = 3,13 \text{ (руб)}.$$

Рассчитаем технологическую себестоимость изготовления детали, полученную прокатом [5].

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

где  $Q_{\text{пр}} = 9,81$ ;  $q = 3,0$ ;  $C_{\text{отх}} = 0,0144$ . [5]

Тогда

$$C_{m} = 0,1219 \cdot 9,81 + 0,6578(9,81 - 3,0) - 0,0144(9,81 - 3,0) = 5,58 \text{ (руб)}.$$

Наиболее экономичным является вариант изготовления детали из заготовки, полученной штамповкой.

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

Для обеспечения заданного конструкцией качества изготовления поверхностей 1 и 22 с параметрами Ra=10, IT=14 необходима следующая последовательность методов обработки: центральная операция.

Для обеспечения заданного конструкцией качества изготовления поверхностей 3, 6, 8, 9, 10, 12, 16, 17, 18, 20 с параметрами Ra=10, IT=14 необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое.

Для обеспечения заданного конструкцией качества изготовления поверхности 2 с параметрами Ra=2,5, IT=8 необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое.

Для обеспечения заданного конструкцией качества изготовления поверхности 4 с параметрами Ra=10, IT=9 необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое.

Для обеспечения заданного конструкцией качества изготовления поверхностей 5, 21 с параметрами Ra=0,32, IT=6 необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое, шлифование черновое и чистовое, полирование.

Для обеспечения заданного конструкцией качества изготовления поверхности 7, 19 с параметрами Ra=5, IT=14 необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое.

Для обеспечения заданного конструкцией качества изготовления поверхности 11, 15 с параметрами  $Ra=2,5$ ,  $IT=9$  необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое.

Для обеспечения заданного конструкцией качества изготовления поверхностей 13, 14 с параметрами  $Ra=0,63$ ,  $IT=7$  необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое, шлифование.

Для обеспечения заданного конструкцией качества изготовления поверхности 19 с параметрами  $Ra=5$ ,  $IT=14$  необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое.

Для обеспечения заданного конструкцией качества изготовления поверхности 23 с параметрами  $Ra=5$ ,  $IT=9$  необходима следующая последовательность методов обработки: фрезерование.

Для обеспечения заданного конструкцией качества изготовления поверхности 24 с параметрами  $Ra=10$ ,  $IT=11$  необходима следующая последовательность методов обработки: фрезерование.

Для обеспечения заданного конструкцией качества изготовления поверхности 25 с параметрами  $Ra=5$ ,  $IT=9$  необходима следующая последовательность методов обработки: фрезерование.

## **2.4 Определение припусков**

Расчетно-аналитическим методом определим припуски на обработку поверхности диаметром  $35k6^{(+0,018)}_{(+0,002)}$  мм. [6]

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

Исходные данные:  $D = 35^{(+0,018}_{+0,002)}$  мм;  $L = 16,5$  мм;  $Ra = 0,32$  мкм.

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

$$\Delta_0 = 0,25 \cdot 0,9 = 0,225 \text{ мм.}$$

$$\Delta_{01} = 0,25 \cdot 0,25 = 0,063 \text{ мм.}$$

$$\Delta_{02} = 0,25 \cdot 0,062 = 0,016 \text{ мм.}$$

$$\Delta_{T0} = 0,25 \cdot 0,100 = 0,025 \text{ мм.}$$

$$\Delta_{03} = 0,25 \cdot 0,039 = 0,010 \text{ мм.}$$

$$\Delta_{04} = 0,25 \cdot 0,025 = 0,008 \text{ мм.}$$

$$\Delta_{05} = 0,25 \cdot 0,016 = 0,004 \text{ мм.}$$

Рассчитаем максимальные и минимальные значения припусков (мм).

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

$$Z_{1\min} = a_0 + \sqrt{(\Delta_0)^2 + \varepsilon_1^2} = 0,4 + \sqrt{0,225^2 + 0,025^2} = 0,626 .$$

$$Z_{2\min} = a_1 + \sqrt{(\Delta_1)^2 + \varepsilon_2^2} = 0,2 + \sqrt{0,063^2 + 0} = 0,263 .$$

$$Z_{3\min} = a_2 + \sqrt{(\Delta_{T0})^2 + \varepsilon_3^2} = 0,1 + \sqrt{0,025^2 + 0^2} = 0,125 .$$

$$Z_{4\min} = a_3 + \sqrt{(\Delta_3)^2 + \varepsilon_4^2} = 0,03 + \sqrt{0,010^2 + 0^2} = 0,040 .$$

$$Z_{5\min} = a_4 + \sqrt{(\Delta_4)^2 + \varepsilon_5^2} = 0,01 + \sqrt{0,008^2 + 0^2} = 0,018$$

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

$$Z_{1\max} = Z_{1\min} + 0,5(Td_0 + Td_1) = 0,626 + 0,5(0,9 + 0,25) = 1,201.$$

$$Z_{2\max} = Z_{2\min} + 0,5(Td_1 + Td_2) = 0,263 + 0,5(0,250 + 0,062) = 0,419.$$

$$Z_{3\max} = Z_{3\min} + 0,5(Td_2 + Td_3) = 0,125 + 0,5(0,062 + 0,039) = 0,176.$$

$$Z_{4\max} = Z_{4\min} + 0,5(Td_3 + Td_4) = 0,040 + 0,5(0,039 + 0,025) = 0,072.$$

$$Z_{5\max} = Z_{5\min} + 0,5(Td_4 + Td_5) = 0,018 + 0,5(0,025 + 0,016) = 0,039.$$

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

$$d_{5\min} = 35,002.$$

$$d_{5\max} = 35,018.$$

$$d_{4\min} = d_{5\max} + 2Z_{5\min} = 35,018 + 2 \cdot 0,018 = 35,054.$$

$$d_{4\max} = d_{4\min} + Td_5 = 35,054 + 0,016 = 35,070.$$

$$d_{3\min} = d_{4\max} + 2Z_{4\min} = 35,070 + 2 \cdot 0,040 = 35,150.$$

$$d_{3\max} = d_{3\min} + Td_4 = 35,150 + 0,025 = 35,175.$$

$$d_{TO\min} = d_{3\max} + 2Z_{3\min} = 35,175 + 2 \cdot 0,125 = 35,425.$$

$$d_{TO\max} = d_{TO\min} + Td_{TO} = 35,425 + 0,100 = 35,525.$$

$$d_{2\min} = d_{TO\min} \cdot 0,999 = 35,525 \cdot 0,999 = 35,489.$$

$$d_{2\max} = d_{2\min} + Td_2 = 35,489 + 0,062 = 35,551.$$

$$d_{1\min} = d_{2\max} + 2Z_{2\min} = 35,551 + 2 \cdot 0,263 = 36,077.$$

$$d_{1\max} = d_{1\min} + Td_1 = 36,077 + 0,250 = 36,327.$$

$$d_{0\min} = d_{1\max} + 2Z_{1\min} = 36,327 + 2 \cdot 0,626 = 36,953.$$

$$d_{0\max} = d_{0\min} + Td_0 = 36,953 + 0,900 = 37,853.$$

Рассчитаем средние значения размеров (мм).

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

$$d_{cp0} = 0,5(d_{0\max} + d_{0\min}) = 0,5(37,853 + 36,953) = 37,403.$$

$$d_{cp1} = 0,5(d_{1\max} + d_{1\min}) = 0,5(36,327 + 36,077) = 36,202.$$

$$d_{cp2} = 0,5(d_{2\max} + d_{2\min}) = 0,5(35,551 + 35,489) = 35,520.$$

$$d_{cpTO} = 0,5(d_{TO\max} + d_{TO\min}) = 0,5(35,525 + 35,425) = 35,475.$$

$$d_{cp3} = 0,5(d_{3\max} + d_{3\min}) = 0,5(35,175 + 35,150) = 35,163.$$

$$d_{cp4} = 0,5(d_{4\max} + d_{4\min}) = 0,5(35,070 + 35,054) = 35,062.$$

$$d_{cp5} = 0,5(d_{5\max} + d_{5\min}) = 0,5(35,018 + 35,002) = 35,010.$$

Рассчитаем общий припуск на обработку (мм).

$$2Z_{\min} = d_{0\min} - d_{5\max}. \quad (9)$$

$$2Z_{\max} = 2Z_{\min} + Td_0 + Td_5. \quad (10)$$

$$2Z_{cp} = 0,5(2Z_{\min} + 2Z_{\max}). \quad (11)$$

$$2Z_{\min} = 36,953 - 35,018 = 1,935.$$

$$2Z_{\max} = 1,935 + 0,900 + 0,016 = 2,851.$$

$$2Z_{cp} = 0,5(1,935 + 2,851) = 2,393.$$

## 2.5 Расчет режимов резания

2.5.1 Расчет режимов обработки на центrovально-подрезную операцию 005.

Переход 1.

Глубина резания  $t = 2,5$  мм. [7]

Подача  $S_0 = 0,3$  мм/об. [7]

Скорость резания  $V_0 = 180$  м/мин. [7]

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

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

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 180}{3,14 \cdot 36} = 1592 \quad (13)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 180}{3,14 \cdot 36} = 1592 \text{ мин}^{-1}.$$

$n_\phi = 630 \text{ мин}^{-1}$ , так как принимаем частоту при сверлении.

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 36 \cdot 630}{1000} = 71,2 \text{ м/мин.}$$

$$S = S_0 \cdot n = 0,3 \cdot 630 = 189 \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{PX}}{S} \quad (14)$$

$$T_0 = \frac{18}{189} = 0,10 \text{ мин.}$$

Переход 2.

Длина рабочего хода инструмента

$$L = L_P + L_{II} + L_D, [7] \quad (15)$$

где  $L_{II} = 1 \text{ мм}$ ;  $L_D = 0 \text{ мм}$ .

Тогда  $L = 10 + 1 + 0 = 11, \text{ мм}$ .

Стойкость

$$T_P = T_M \cdot \lambda, \quad (16)$$

где  $\lambda = \frac{L_P}{L_{P.X}} \approx 1$ ;  $T_M = 60 \text{ мин}$ .

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

Подача  $S_0 = 0,2 \text{ мм/об}$ . [7]

Скорость резания

$$V = V_{TAB} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (17)$$

где  $V_{TAB} = 15; K_1 = 0,75; K_2 = 1,0; K_3 = 0,95$ . [7]

Тогда

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

Частота вращения

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

Примем инструмент с износостойким покрытием TiN, тогда  $n = 630$  мин<sup>-1</sup>.

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 10,6 \cdot 630}{1000} = 21, \text{ м/мин.}$$

$$S_M = S_0 \cdot n = 0,2 \cdot 630 = 126, \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{P.X}}{S_M} = \frac{11}{126} = 0,09, \text{ мин.}$$

Переход 3.

Глубина резания  $t = 2,0$  мм. [7]

Подача  $S_0 = 0,3$  мм/об. [7]

Скорость резания

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

где  $K_1 = 1; K_2 = 1,0; K_3 = 1,0; K_4 = 1,0; V_0 = 180$  м/мин. [7]

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

Частота вращения

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 180}{3,14 \cdot 30,3} = 1891, \text{ мин}^{-1}.$$

$n_\phi = 630 \text{ мин}^{-1}$ , так как принимаем частоту при сверлении.

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 30,3 \cdot 630}{1000} = 59,9, \text{ м/мин.}$$

$$S = S_0 \cdot n = 0,3 \cdot 630 = 189, \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{px}}{S} = \frac{30}{189} = 0,16, \text{ мин.}$$

$$T_0 = \sum T_{0i} = 0,10 + 0,09 + 0,16 = 0,35, \text{ мин.}$$

Аналогично рассчитаем режимы резания на 010, 015 и 020 операции.

Результаты сведем в таблицу 1.

Таблица 1 – Режимы резания на токарные операции 010, 015, 020 и 025

Глубина резания t, мм	Подача S, мм/об	Скорость резания V, м/мин	Частота вращения n, мин <sup>-1</sup>	минутная подача S, мм/мин.	Основное время T <sub>0</sub> , мин.
1	2	3	4	5	6
Операция 010					
2,0	0,3	151	800	240	0,69

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Операция 015					
2,0	0,3	151	800	240	0,77
Операция 020, переход 1					
0,3	0,3	151	800	240	0,72
Операция 020, переход 2					
0,3	0,3	165	800	375	0,04
Операция 020, переход 3					
0,75	0,3	88	800	240	0,01

Операция 025, переход 1					
0,3	0,3	151	800	240	0,70
Операция 025, переход 2					
0,3	0,3	151	800	240	0,06
Операция 025, переход 3					
0,75	0,3	88	800	240	0,01

2.5.2 Расчет режимов обработки на шпоночно-фрезерную операцию 030.

Глубина резания  $t = 4,0$  мм. [7]

Подача  $S_z = 0,025$  мм/зуб. [7]

Найдем подачу на оборот шпинделя

$$S_0 = S_z \cdot z,$$

где  $z = 4$  – число зубьев фрезы.

Тогда  $S_0 = 0,025 \cdot 4 = 0,10$ , мм/об.

Скорость резания

$$V = \frac{C_v D^q K_v}{T^m t^x S_0^y},$$

где  $D = 8; t = 4,0; S_0 = 0,1; C_v = 7,0; q = 0,4; x = 0; y = 0,7; m = 0,2; T = 30$  мин. [7]

$$K_v = K_{MV} K_{UV} K_{LV},$$

где  $K_{MV} = 1,0; K_{UV} = 1,0; K_{LV} = 1,0$ . [8]

Отсюда  $K_v = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,0$ .

Тогда

$$V = \frac{7,0 \cdot 8^{0,4}}{30^{0,2} \cdot 4^0 \cdot 0,1^{0,7}} \cdot 1,0 = 40,8, \text{ м/мин.}$$

Частота вращения

$$n = \frac{1000 \cdot 40,8}{3,14 \cdot 8} = 1648, \text{ мин}^{-1}.$$

$$n = 1500 \text{ мин}^{-1}.$$

$$\text{Тогда } V_\phi = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 8 \cdot 1500}{1000} = 37,7, \text{ м/мин.}$$

$$S = S_0 \cdot n = 0,1 \cdot 1500 = 150, \text{ мм/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{n_{\text{отв}} \cdot L_{\text{рх}}}{S}, \quad (18)$$

где  $n_{\text{отв}} = 1; L_{\text{рх}} = 50 \text{ мм.}$

Тогда

$$T_0 = \frac{1 \cdot 50}{150} = 0,33 \text{ мин.}$$

### 2.5.3 Выбор режимов обработки на резьбофрезерную операцию 035.

Скорость резания и подача на зуб фрезы

$$V = 30 \text{ м/мин}; S_z = 0,05 \text{ мм/зуб. [7]}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{1,2}{n_3} = 1,2 \frac{\pi \cdot d_H}{S_z \cdot z \cdot n}. \quad (19)$$

Частота вращения

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 30}{3,14 \cdot 100} = 95,5, \text{ мин}^{-1}.$$

$$n = 80 \text{ мин}^{-1}.$$

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 80}{1000} = 25,1, \text{ м/мин.}$$

Тогда

$$T_0 = 1,2 \frac{3,14 \cdot 60}{0,05 \cdot 18 \cdot 80} = 3,1, \text{ мин.}$$

#### 2.5.4 Расчет режимов обработки на резьбофрезерную операцию 040.

Скорость резания и подача на зуб фрезы

$$V = 30 \text{ м/мин}; S_z = 0,05 \text{ мм/зуб. [7]}$$

Частота вращения

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 30}{3,14 \cdot 100} = 95,5, \text{ мин}^{-1}.$$

$$n = 80 \text{ мин}^{-1}.$$

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 80}{1000} = 25,1, \text{ м/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = 1,2 \frac{3,14 \cdot 60}{0,05 \cdot 18 \cdot 80} = 3,1, \text{ мин.}$$

#### 2.5.5 Расчет режимов обработки на центрошлифовальную операцию 050.

Скорость резания  $V = 35 \text{ м/с. [7]}$

Частота вращения заготовки

$$n_3 = \frac{1000V_3}{\pi D_3} = \frac{1000 \cdot 35}{3,14 \cdot 10,6} = 1051, \text{ об/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{L_{УСК}}{S_{УСК}} + \sum \frac{L_{Pi}}{S_{Pi}} + T_{ВЫХ}, \quad (20)$$

где  $T_{ВЫХ} = 0,05$  мин. [7]

Тогда

$$T_0 = \frac{8}{500} + \frac{5}{100} + 0,05 = 0,12, \text{ мин.}$$

### 2.5.6 Расчет режимов обработки на круглошлифовальную операцию 055.

Скорость резания  $V = 35$  м/с. [7]

Частота вращения заготовки

$$n_3 = \frac{1000V_3}{\pi D_3} = \frac{1000 \cdot 35}{3,14 \cdot 35,07} = 318, \text{ об/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{15,5}{500} + \frac{5}{100} + 0,05 = 0,08, \text{ мин.}$$

Аналогично рассчитаем режимы резания на 060, 065 и 070 операции. Результаты сведем в таблицу 2.

Таблица 2 – Режимы резания на шлифовальные операции 060, 065, 070

Скорость резания $V$ , м/с	Частота вращения заготовки $n_3$ , мин <sup>-1</sup>	Основное время $T_0$ , мин
1	2	3
Операция 060		
35	318	0,08
Операция 065		

35	318	0,13
Операция 070		
35	318	0,13

2.5.10 Расчет режимов обработки на резьбошлифовальную операцию 075.

Скорость резания  $V = 35$  м/с. [7]

Частота вращения заготовки

$$n_3 = \frac{1000V_3}{\pi D_3} = \frac{1000 \cdot 35}{3,14 \cdot 60} = 186, \text{ об/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = \frac{90}{500} + \frac{5}{100} + 0,05 = 0,28, \text{ мин.}$$

2.5.11 Расчет режимов обработки на полировальную операцию 080.

Скорость резания  $V = 35$  м/с. [7]

Частота вращения заготовки

$$n_3 = \frac{1000V_3}{\pi D_3} = \frac{1000 \cdot 25}{3,14 \cdot 35} = 227, \text{ об/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = 10^{-2} \cdot \frac{F}{T} K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (21)$$

где  $K_1 = 1,0; K_2 = 0,36; K_3 = 0,82$ . [7]

$$F = \pi \cdot d \cdot l = 3,14 \cdot 35 \cdot 15,5 = 1703, \text{ мм}^2.$$

Тогда

$$T_0 = 10^{-2} \frac{1703}{63} 1 \cdot 0,36 \cdot 0,82 = 0,08, \text{ мин.}$$

2.5.12 Расчет режимов обработки на полировальную операцию 085.

Скорость резания  $V = 35$  м/с. [7]

Частота вращения заготовки

$$n_3 = \frac{1000V_3}{\pi D_3} = \frac{1000 \cdot 25}{3,14 \cdot 35} = 227, \text{ об/мин.}$$

Основное время

$$T_0 = 10^{-2} \frac{1813}{63} 1 \cdot 0,36 \cdot 0,82 = 0,08, \text{ мин.}$$

### 3 Проектирование специальных средств технологического оснащения

#### 3.1 Анализ исходных данных

На операции 030 Шпоночно-фрезерная проводится обработка шпоночного паза детали. Для базирования заготовки на станке спроектируем автоматизированное зажимное приспособление для этой операции.

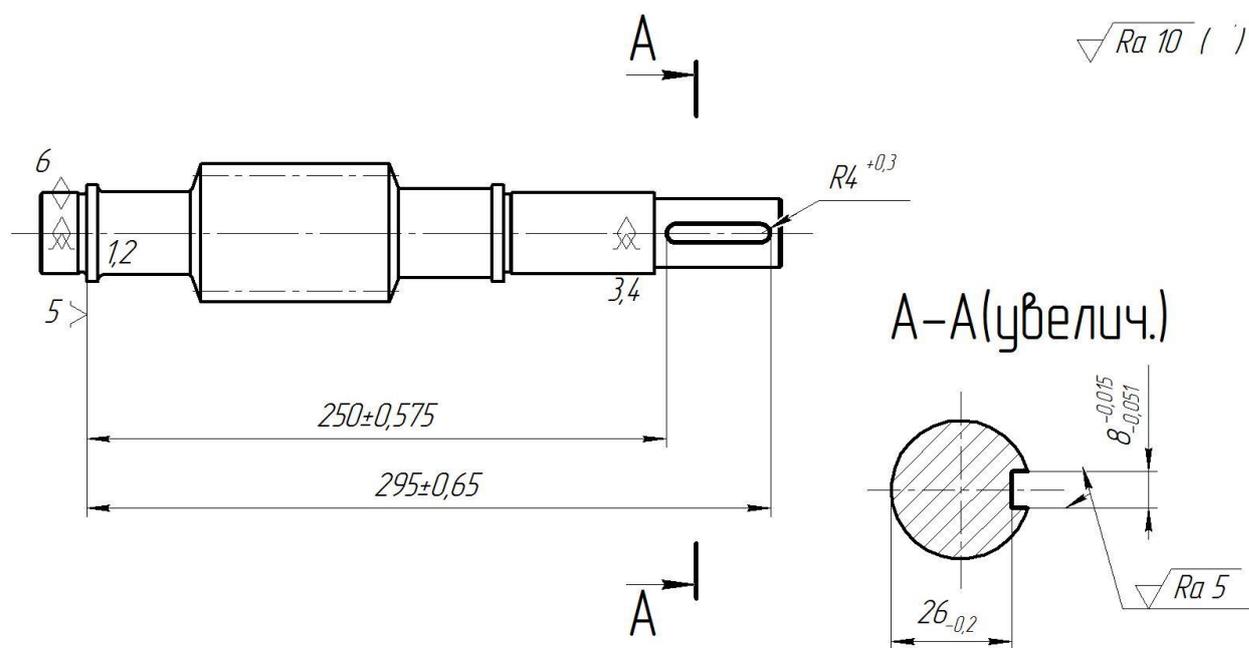


Рисунок 2 -Эскиз операции

Конструкцией зажимного приспособления являются тиски, автоматизированные пневмоприводом.

### 3.2 Определение точности закрепления заготовки

При закреплении вала в призмах измерительными базами могут являться следующие поверхности для размера  $h$ .

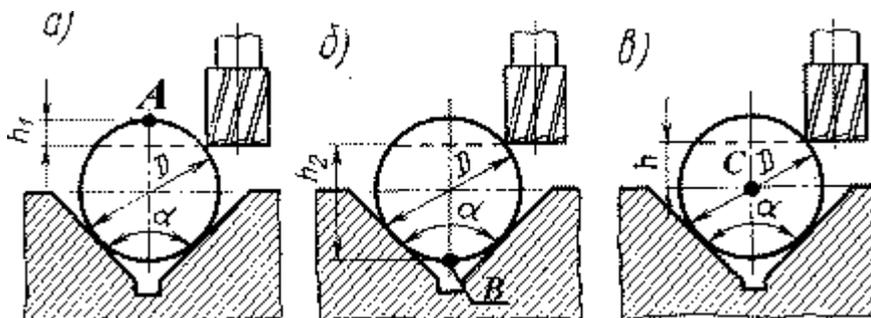


Рисунок 3 –Схема закрепления вала в призмах

На рисунке 3 показана схема установки вала в призму для обработки в размер  $h(h_1; h_2; h_3)$ .

В нашей призме угол базирования заготовки равен 90 градусов. Это соответствует схеме измерения (б), поэтому погрешность базирования определим так:

$$\varepsilon_{\delta} = \delta_{\text{д}} \frac{\left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)}{2}. \quad (22)$$

$$\varepsilon_{\delta} = 0,62 \cdot \frac{\left( \frac{1}{\sin 45^{\circ}} - 1 \right)}{2} = 0,013$$

### 3.3 Определение моментов, возникающих при обработке, и сил резания

Окружная сила резания при обработке фрезерованием рассчитывается по формуле:

$$P_x = C_p t^{x_p} s^{y_p} B^z D^q, \quad (23)$$

где  $t = 4; C_p = 68; s = 0,05; B = 8; D = 8; x = 0,86; y = 0,74; q_p = -0,86$ . [8]

Тогда

$$P_x = 68 \cdot 4^{0,86} \cdot 0,05^{0,74} \cdot 8^1 \cdot 8^{-0,86} = 32,7 \text{ Н.}$$

При врезании сила резания рассчитывается по формуле:

$$P_z = C_p t^{x_p} s^{y_p} B^z D^q, \quad (24)$$

где  $t = 4; C_p = 68; s = 0,025; B = 8; D = 8; x = 0,86; y = 0,74$ . [8]

Тогда

$$P_z = 68 \cdot 4^{0,86} \cdot 0,025^{0,74} \cdot 8^1 \cdot 8^{-0,86} = 32,7, \text{ Н}$$

Найдем суммарную величину сил резания.

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}. \quad (25)$$

$$P = \sqrt{32,7^2 + 32,7^2} = 46,2, \text{ Н.}$$

### 3.4 Определение зажимного усилия

Для составления расчетной схемы установим направления вероятного поворота или перемещения детали под воздействием моментов резания и сил резания и определим величины проекций этих сил на вектор направления перемещения.

$$\begin{aligned} \Sigma x &= 0; \Sigma M_x = 0 \\ \Sigma y &= 0; \Sigma M_y = 0 \\ \Sigma z &= 0; \Sigma M_z = 0 \end{aligned} \quad (26)$$

Увеличим эту силу, применив коэффициент надежности.

Рассчитаем силу зажима при данной схеме.

$$P_3 = \frac{K \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{f} P \cdot \quad (27)$$

Перемещение заготовки возможно лишь под действием силы, превышающей  $P_3$ .

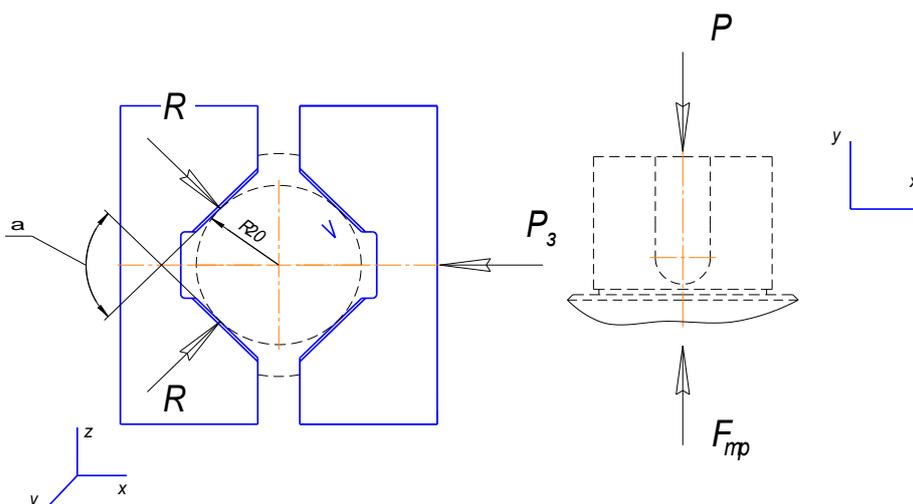


Рисунок 4 - Воздействие сил на деталь при фрезеровании

Рассчитаем коэффициент надежности закрепления.

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (28)$$

где  $K_1 = 1,0; K_2 = 1,15; K_3 = 1,2; K_4 = 1,0; K_5 = 1,2; K_6 = 1,5$  [9],

подбираемые исходя из условий обработки.

Тогда

$$K = 1 \cdot 1,15 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,5 = 2,7.$$

Тогда:

$$P_3 = \frac{2,7 \cdot \sin 45^\circ}{0,1} \cdot 46,2 = 882, \text{ Н.}$$

Схема зажима заготовки в проектируемом приспособлении представлена на рисунке 5.

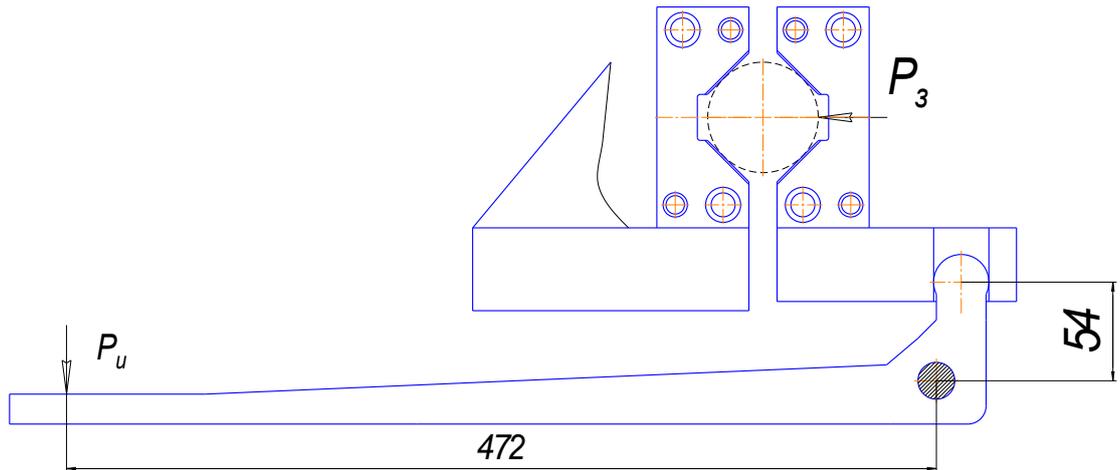


Рисунок 5 - Схема закрепления

Исходя из равенства моментов найдем  $P_u$ .

$$P_u \cdot L_1 = P_3 \cdot L_2. \quad (29)$$

Тогда

$$P_u = \frac{P_3 L_2}{L_1} = \frac{882 \cdot 0,054}{0,472} = 101, \text{ Н.}$$

### 3.5 Определение диаметра поршня привода

Для пневмоцилиндра

$$P_u = \frac{\pi \cdot (D+d)^2}{16} \cdot p. \quad (30)$$

Тогда

$$D = \sqrt{\frac{16P_u}{\pi p}} - d. \quad (31)$$

Подставляя исходные значения, получим

$$D = \sqrt{\frac{16 \cdot 101}{3,14 \cdot 0,4}} - 20 = 172, \text{ мм.}$$

Для унификации приспособления принимаем диаметр поршня цилиндра  $D = 250$  мм.

Рассчитаем усилие на штоке.

$$P_u = \frac{3,14 \cdot (0,25 + 0,02)^2}{16} \cdot 0,4 = 580, \text{ Н.}$$

Полученные данные вносим в конструкцию привода приспособления.

## 4 Проектирование режущего инструмента

### 4.1 Исходные данные

На шпоночно-фрезерной операции 030 ведется обработка шпоночного паза фрезой концевой. На рисунке 6 представлен эскиз операции.

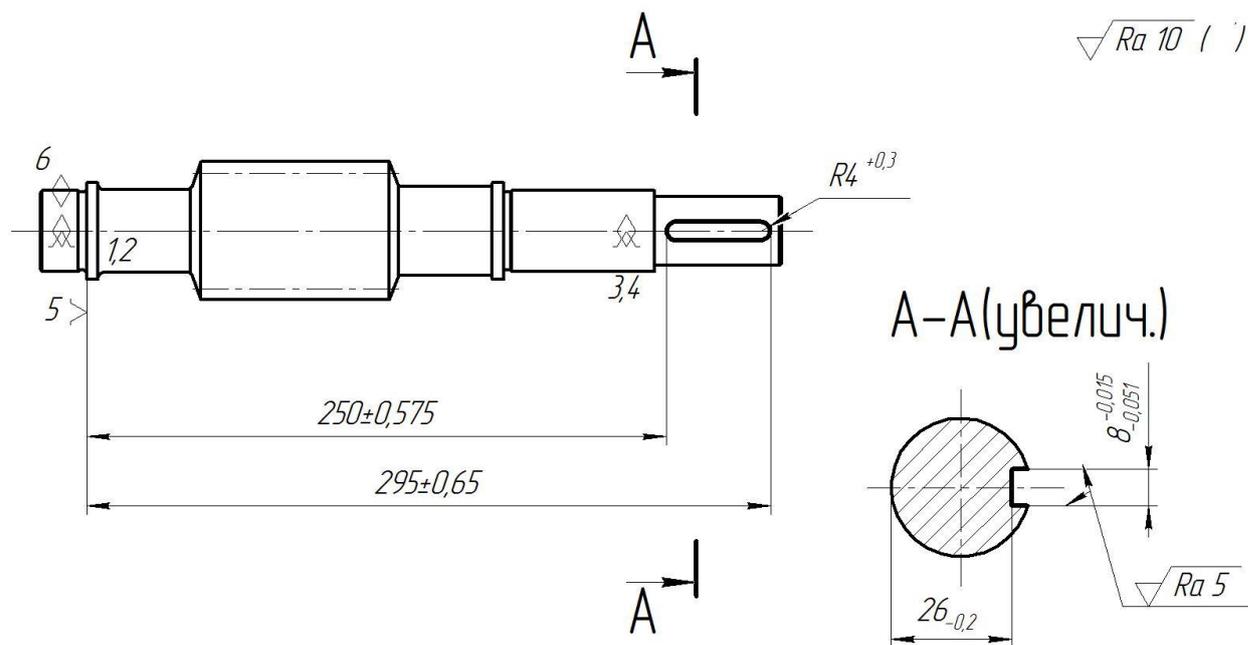


Рисунок 6 -Эскиз операции 030

«Концевые фрезы – это инструменты с широкими технологическими возможностями. Ими обрабатывают глубокие пазы, уступы, взаимно перпендикулярные плоскости, выполняют контурную обработку наружных и внутренних поверхностей сложного профиля. Концевые фрезы являются основными инструментами, применяемыми на станках с ЧПУ. В машиностроении используются концевые фрезы различного технологического назначения и конструктивных форм». [10]

## 4.2 Выбор инструментального материала

Для разрабатываемой фрезы концевой при фрезеровании детали из стали 45 с  $\sigma_B = 180$  МПа в качестве инструментального материала принимаем твёрдый сплав Т5К10. [11]

## 4.3 Определение конструктивных элементов рабочей части фрезы

Исходя из радиуса скругления отверстия и ширины шпоночного паза принимаем диаметр фрезы  $d = 8$  мм.

«В концевой фрезе различают крепежную часть (хвостовик), шейку и рабочую часть». [10]

Длину фрезы определим по формуле

$$L = l_1 + l + l_2. \quad (32)$$

При проектировании фрез с диаметром  $d = 10 \dots 30$  мм длину режущей части рассчитывают по формуле

$$l_1 = 4 \cdot d. \quad (33)$$

$$l_1 = 4 \cdot 8 = 32, \text{ мм.}$$

Длину шейки фрезы рассчитывают по формуле:

$$l = 4 \cdot \left( \sqrt[4]{d} + \frac{12}{d} \right). \quad (34)$$

$$l = 4 \cdot \left( \sqrt[4]{8} + \frac{12}{8} \right) = 12,7, \text{ мм.}$$

Принимаем  $l = 12$  мм.

Величину диаметра шейки фрезы принимаем равную величине диаметра режущей части фрезы, поэтому  $d_{ш} = 8$  мм.

Тогда по формуле (32)

$$L = 32 + 12 + 60 = 112, \text{ мм.}$$

Твердосплавные концевые фрезы диаметра режущей части не более 10 мм изготавливаются с цилиндрическим хвостовиком.

Определим число зубьев фрезы.

$$z = (0,1 \dots 1,3)d, \quad (35)$$

$$z = (0,1 \dots 1,3) \cdot 8 = 0,8 \dots 10,4.$$

Принимаем  $z = 4$ .

Для выполнения равномерной обработки на цилиндрической части зубья должны иметь стружечную канавку наклоном  $\omega = 30 \dots 45^\circ$ . Принимаем  $\omega = 30^\circ$ .

«Стружка, поднимаясь вверх по винтовым канавкам, удаляется из обрабатываемого паза. Направление канавок не должно совпадать с направлением вращения шпинделя станка при обработке пазов и уступов – это обеспечивает лучший отвод стружки». [10]

Для обработки стальных заготовок передний угол назначается равным  $\gamma = 15 \dots 30^\circ$ . Принимаем  $\gamma = 15^\circ$ .

#### 4.4 Патентный поиск

Технический результат, на решение которого направлено изобретение [15], является создание способа формирования износостойкого покрытия на поверхности изделий из стали, позволяющего образование переходного слоя толщиной до 300 мкм с постепенно нарастающей твердостью между основным материалом изделия и последующим сверхтвердым покрытием из нитрида титана и приводящего к хорошей адгезии покрытия к подложке, и в следствие, к улучшению эксплуатационных характеристик изделия при больших механических нагрузках.

Технический результат достигается тем, что способ [15] формирования износостойкого покрытия на поверхности изделий из стали, включает в себя размещение образца в вакуумной камере, создание вакуума, напуск в вакуумную камеру реактивного газа, подачу на изделие отрицательного напряжения смещения относительно заземленной рабочей камеры, азотирование в плазме разряда, напуск в вакуумную камеру реактивного газа, нанесение TiN на изделие при одновременной работе генератора газоразрядной плазмы, причем азотирование и нанесение нитрида титана осуществляют в одной вакуумной камере в едином цикле, отличается тем, в качестве реактивного газа напускают смесь водорода с азотом при этом содержание азота в смеси от 5 до 50%, затем проводят азотирование поверхности изделия в плазме индукционного высокочастотного разряда при давлении 0,01-1,0 Па и отрицательном напряжении смещения на изделии в диапазоне 100-1000 В и температуре образца 400-600°C в течение 0,5-10,0 часов, после чего наносят покрытие TiN в вакууме в смеси аргона с азотом при давлении 0,01-1,0 Па путем импульсного

магнетронного распыления мишени-катода при одновременной работе индукционного высокочастотного разряда в качестве генератора газоразрядной плазмы, затем осуществляют подачу в вакуумную камеру аргона до давления не выше 130 Па и охлаждают образец до комнатной температуры в атмосфере аргона.

Технический результат достигается благодаря следующему.

Во время азотирования и ассистирования процесса нанесения покрытия используется индукционный высокочастотный разряд частотой 13,56 МГц и мощностью до 1,5 кВт. Особенностью такого разряда, возбуждаемого плоской магнитной антенной, является отсутствие распыления и возможность получения однородной плазмы с высокой степенью ионизации во всем объеме вакуумной камеры, что способствует улучшенному проникновению химически активного азота вглубь поверхности образца, а подбор мощности высокочастотного генератора в процессе ассистирования способствует интенсификации процесса нанесения покрытия и улучшения его адгезионных свойств за счет механизмов радиационного стимулирования, не прибегая при этом к подаче на изделие дополнительного напряжения смещения.

Нанесение покрытия TiN в импульсном магнетронном разряде приводит к быстрому и эффективному образованию покрытия из нитрида титана, обладающего улучшенными прочностными характеристиками, повышенной твердостью и хорошей адгезией покрытия к подложке.

Режимы обработки выбраны исходя из следующего.

Азотирование поверхности изделия осуществлялось в плазме индукционного высокочастотного разряда в смеси водорода с азотом, при чем содержание азота по отношению к водороду должно быть в соотношении 5-50%, при общем давлении 0,01-1,0 Па при отрицательном напряжении смещения на изделии в диапазоне 100-1000 В в течение 0,5-6,0 ч. Температура образца в процессе азотирования

составляет 400-600°C и достигается подбором мощностных режимов работы высокочастотного генератора и подбором напряжения смещения на образец.

При проведении азотирования при содержании азота в смеси менее 5% снижается эффективность азотирования в следствие недостатка азота, а проведение азотирования при содержании азота более 50% приводит к чрезмерному увеличению толщины компаунд слоя нитридов и существенному уменьшению толщины поддерживающей его диффузионной зоны, а следовательно, к сокращению ширины переходного слоя с постепенно нарастающей твердостью. При давлении рабочего газа менее 0,01 Па и более 1,0 Па высокочастотный индукционный разряд не зажигается.

При температуре образца менее 400°C процесс азотирования неэффективен, так как при таких температурах уменьшается диффузия азота вглубь поверхности, при температурах выше 600°C в стали происходят структурные превращения и осуществляется перестройка кристаллической решетки. При напряжении смещения меньше 100 В не достигается необходимая температура образца для проведения эффективного процесса азотирования, при напряжении смещения свыше 1000 В происходит нагрев поверхности образца свыше 600°C.

При азотировании менее 0,5 часов на поверхности образца формируется малая толщина диффузионной зоны либо диффузионная зона вовсе не образуется, при азотировании свыше 10 часов снижается эффективность азотирования.

Нанесение покрытия TiN осуществлялось в плазме импульсного магнетронного разряда [15] при одновременной работе индукционного высокочастотного разряда частотой 13,56 МГц мощностью до 1,5 кВт в смеси аргона с азотом при давлении 0,01-1,0 Па. Импульсный магнетронный разряд зажигался при напряжении 300-700 В, токе разряда 1-100 А, длительности импульса 1-20 мс. Импульсная скорость

нанесения покрытия нитрида титана была до 6 мкм/мин. Количество импульсов тока разряда варьировалось от 50 до 300. Толщина покрытия TiN составляла величину 1-5 мкм.

При толщине покрытия меньше 1 мкм снижалась износостойкость и твердость покрытия. При толщинах более 5 мкм покрытие обладало неудовлетворительной адгезией.

При давлении менее 0,01 Па и более 1,0 Па высокочастотный индукционный разряд и импульсный магнетронный разряд одновременно не зажигаются.

При напряжении импульсного магнетронного разряда меньше 400 В снижается эффективность распыления материала катода. При напряжении импульсного магнетронного разряда больше 700 В разряд становится неустойчивым и трансформируется в дуговой режим. При токе импульсного магнетронного разряда больше 100 А в следствие большого потока металла с поверхности мишени не происходит эффективный рост пленки нитрида титана. При токах импульсного магнетронного разряда меньше 1 А процесс нанесения становится неэффективным, так как сильно падает скорость нанесения покрытия.

При количестве импульсов тока импульсного магнетронного разряда менее 50 формируется покрытие толщиной менее 1 мкм, при количестве импульсов более 300 разряд становится не стабильным за счет перегрева и трансформируется в дуговой режим.

Сущность изобретения [15] поясняется рисунками, где проиллюстрирован заявляемый способ:

На рисунке 7 показана схема установки для формирования износостойкого покрытия на поверхности изделия.

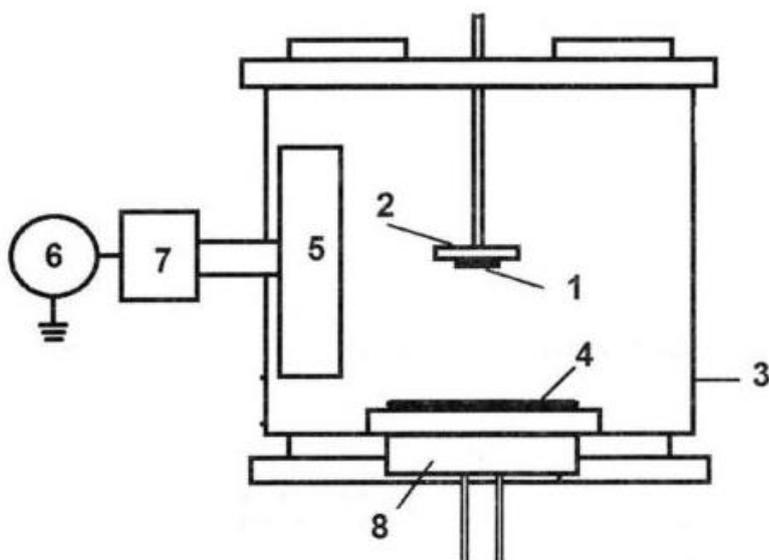


Рисунок 7 - Схема установки для формирования износостойкого покрытия на поверхности изделия

На рисунке 7 обозначено: образец 1, металлический держатель 2, вакуумная камера 3, Ti-мишень 4, плоская магнитная антенна 5, генератор высокочастотной мощности 6, автоматическое согласующее устройство 7, планарный магнетрон 8.

Ниже приведен пример конкретной реализации изобретения [15].

Были использованы образцы из стали 40X13 в виде дисков диаметром 30 мм и высотой 3 мм. Производилась очистка поверхности образцов в ультразвуковой ванне «S5 Elmasonic» в бензине, в ацетоне и в спирте в течение 5-10 мин.

Данный способ был реализован с помощью устройства, схема которого представлена на рисунке 7. Образец 1 с помощью специального металлического держателя 2 помещалась в вакуумную камеру 3 на расстоянии 70 мм от Ti-мишени 4. Камера откачивалась сухим спиральным насосом и турбомолекулярным насосом до давления  $10^{-4}$  Па и происходил напуск смеси водорода с азотом до давления 0,33 Па, при этом содержание азота в смеси 7,5%, а азотирование поверхности образца осуществлялось в плазме индукционного высокочастотного

разряда частотой 13,56 МГц и мощностью 1,5 кВт при отрицательном напряжении смещения на образце 150 В. Время азотирования составило 2 ч. Температура поверхности образца, измеренная с помощью термопары, во время процесса азотирования была 450°C.

Затем проводилась откачка вакуумной камеры до остаточного давления  $10^{-4}$  Па, происходил напуск смеси рабочего газа аргон с азотом в соотношении 29:1 до давления 0,48 Па. Последующее нанесение покрытия нитрида титана осуществлялось за счет катодного распыления в импульсном магнетронном разряде титанового катода-мишени 4 при одновременной работе индукционного высокочастотного разряда частотой 13,56 МГц и мощностью 1,5 кВт. Напряжение импульсного магнетронного разряда было 600-650 В, ток разряда - до 100 А. Магнетрон 11 работал в импульсном режиме с длительностью импульса тока 5-10 мс. Количество импульсов тока было 150 имп.

Затем осуществлялась подача в вакуумную камеру аргона до давления 130 Па и происходило охлаждение образца до комнатной температуры в атмосфере аргона.

На рисунке 9 показано распределение микротвердости поверхности образца в зависимости от приложенной нагрузки, где 1 - микротвердость необработанного образца, 2 - только после азотирования, а 3 - образца, полученного данным способом. Микротвердость измерялась по Виккерсу с помощью микротвердомера Future Tech ТМ-9000. Видно, что микротвердость только азотированной поверхности почти в 2 раза превышает микротвердость необработанного образца, а микротвердость образца, упрочненного данным способом, превышает исходную почти в 4 раза. Ширина диффузионной зоны составляет 100 мкм.

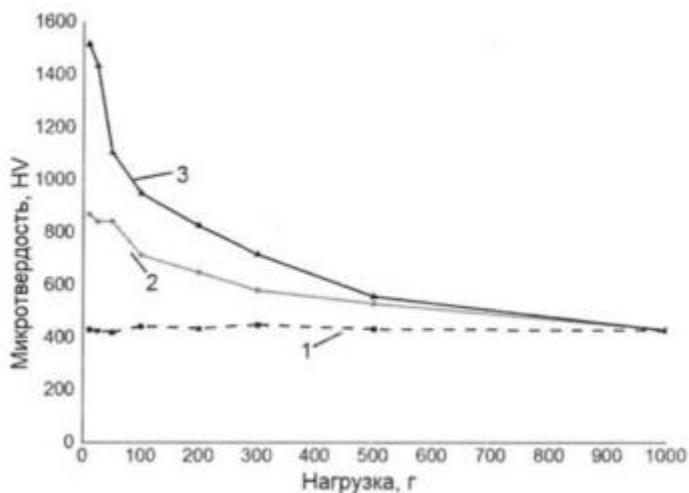


Рисунок 9 - Распределение микротвердости поверхности образца в зависимости от приложенной нагрузки

На рисунке 10 приведено распределение микротвердости по глубине, измеренной по Виккерсу при нагрузке 10 г., показавшее, что был сформирован протяженный переходный слой шириной около 110 мкм с постепенно нарастающей твердостью между основным материалом изделия и супертвердым покрытием из нитрида титана, что устранило образование резкой границы между разнородными материалами и привело к увеличению адгезионной прочности покрытия с подложкой.

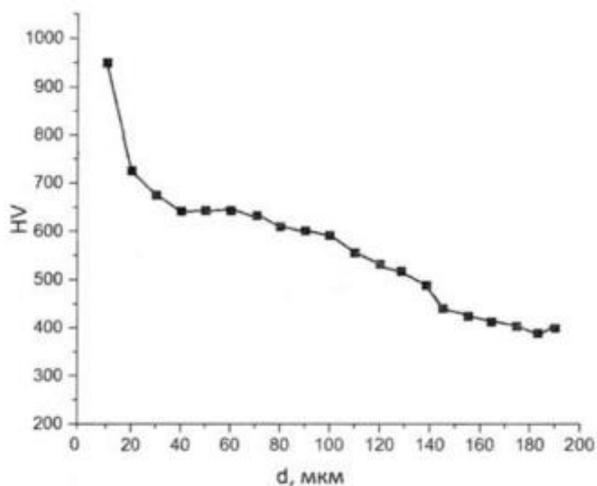


Рисунок 10 - Распределение микротвердости по глубине, измеренной по Виккерсу при нагрузке 10 г.

Диагностика адгезионных свойств нанесенного покрытия проводилась с помощью скретч-тестера Revetest RST. Для этого проводилось царапание с линейно возрастающей нагрузкой от 0,5 до 100 Н со скоростью увеличения нагрузки 50 Н/мин на длине 5 мм при скорости перемещения индентора 5 мм/мин. Критическая нагрузка разрушения покрытия составила почти 50 Н, при этом критическая нагрузка разрушения покрытия без предварительного азотирования составила 10 Н.

Проведенные усталостные испытания на электродинамическом вибростенде в нормальных условиях по первой изгибной форме колебаний на определение предела выносливости при приложении нагрузки в интервале 12-20 кгс/мм<sup>2</sup> с частотой 1680-1880 Гц, показали, что образец выдержал 20 млн. циклов нагрузки/разгрузки и на его поверхности не было обнаружено трещин.

Реализация вышеописанного способа позволит увеличить стойкость фрезы примерно в 2 раза.

## 5 Безопасность и экологичность технического объекта

В данном разделе ВКР проводится оценка экологичности и безопасности технологического процесса изготовления детали червяк. 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 червяк 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 3.

Таблица 3 – «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 SAMAT-400XC с ЧПУ	Сталь 45 ГОСТ 1050-88 СОЖ - Литол
Фрезерование	Фрезерная операция	Фрезеровщик	Шпоночно-фрезерный станок 692Д	Сталь 45 ГОСТ 1050-88 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 червяк. Результаты исследования этих факторов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – «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 ТС1625Ф3 с ЧПУ и автоматической загрузкой
Фрезерная операция	Движущиеся части производственного оборудования; оборудование, перемещающее заготовки, изделия; токсичные раздражающие вещества (СОЖ); высокий уровень шума на рабочем месте; монотонность труда.	Шпоночно-фрезерный станок 692Д

### 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 червяк. 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 5.

Таблица 5 – «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	Инструктаж и обучение по технике безопасности при работе с промышленным оборудованием; инструктаж по охране труда;	Костюм для защиты от загрязнений; каска защитная; очки защитные

## Продолжение таблицы 5

1	2	3
заготовки, изделия	ограждение оборудования; использование предупреждающей разметки	
Токсические раздражающие вещества (СОЖ)	Инструктаж и обучение по технике безопасности при работе с промышленным оборудованием; инструктаж по охране труда; использование местной вытяжки; ограждение оборудования защитными экранами	костюм для защиты от загрязнений; каска защитная; очки защитные; полумаска фильтрующая; перчатки с точечным или полимерным покрытием
Высокий уровень шума и повышенный уровень вибрации	инструктаж и обучение по технике безопасности при работе с промышленным оборудованием; инструктаж по охране труда; использование различных технических средств устранения шума; увеличение жёсткости оборудования для уменьшения колебаний; Использование материалов, способных поглощать колебания	Вкладыши противозумные, наушники, резиновый 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 6.

Таблица 6 – «Идентификация классов и опасных факторов пожара» [14]

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
1	2	3	4	5
Участок лезвийной обработки	ТС1625Ф3 с ЧПУ; Токарный фронтальный станок с автоматической загрузкой	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 червяк были выбраны организационно-технические мероприятия и технические средства обеспечения пожарной безопасности. Все они соответствуют нормативным документам в области пожарной безопасности по состоянию на 2016 год, таким как Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 N 123-ФЗ. Все собранные данные анализа представлены в таблицах 7 и 8.

Таблица 7 – «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	Пожарные	Оборудование	технические	Пожарные	Респираторы,	Пожарные лопаты,	Автоматичес-

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8
ручные, ящики с песком	машины, пожарные лестницы	автоматического тушения пожара	средства оповещения и управления эвакуацией	рукава, рукавные разветвления, ящики с песком	противогазы, пожарные карабины	багры, ломы, топоры, вёдра, комплекты электрические	кие оповещатели

Таблица 8 – «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 червяк	Инструктаж и обучение правилам пожарной безопасности на участках; обучение действиям при возникновении пожара и правильной эвакуации; контроль за правильной эксплуатацией оборудования; содержание оборудования в исправном состоянии	Проведение противопожарных инструктажей, наличие автоматической системы пожаротушения, наличие 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 муфта. 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 9 и 10.

Таблица 9 – «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 червяк	Станок токарный ТС1625Ф3 с ЧПУ; Токарный станок с автоматической загрузкой	Стальная пыль; частицы стружки; туман от СОЖ	Технические жидкости и масла; стружка; производственная пыль	Металлические отходы, технические масла и жидкости, ветошь, СОЖ
	Шпоночно-фрезерный станок 692Д	Стальная пыль; частицы стружки; туман от СОЖ	Технические жидкости и масла; стружка; производственная пыль	Металлические отходы, технические масла и жидкости, ветошь, СОЖ

Таблица 10 – «Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия заданного технического объекта на окружающую среду». [17]

Наименование технического объекта	Технологический процесс изготовления детали муфта
1	2
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	Использование замкнутых и оборотных систем промышленного водопользования; многоступенчатая

1	2
воздействия на гидросферу	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 данном разделе проведены исследование и анализ безопасности и экологичности производственного процесса изготовления детали червяк.

В ходе работы была проведена идентификация профессиональных рисков, возникающих в ходе выполнения производственного процесса, и предложены методы и средства по снижению воздействия вредных и/или опасных факторов.

Была проведена идентификация класса пожаров и других опасных факторов, которые могут возникнуть в процессе выполнения производственного процесса. Были разработаны организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности, а так же по предотвращению пожарообразования и экстренным мерам в ходе образования пожара. Разработанные противопожарные мероприятия полностью отвечают современным противопожарным стандартам РФ.

Была проведена идентификация вредных экологических факторов, при выполнении производственного процесса, а так же мер противодействия экологическому загрязнению. Были разработаны мероприятия по обеспечению экологической безопасности на производстве.

## **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 «Червяк». Эти изменения касаются только одной операции, на которой операции предложено в качестве оснастки использовать автоматизированное зажимное приспособление, вместо универсального, а в качестве инструмента использовать твердосплавную фрезу с износостойким покрытием, вместо шпоночной фрезы из быстрорежущей стали.

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 11.

Как видно из рисунка 11, все параметры имеют тенденцию к снижению, т. е. проектируемый вариант предполагает снижение технологической себестоимости изготовления детали «Червяк» на 2,11 руб., что составит 23,9 %.

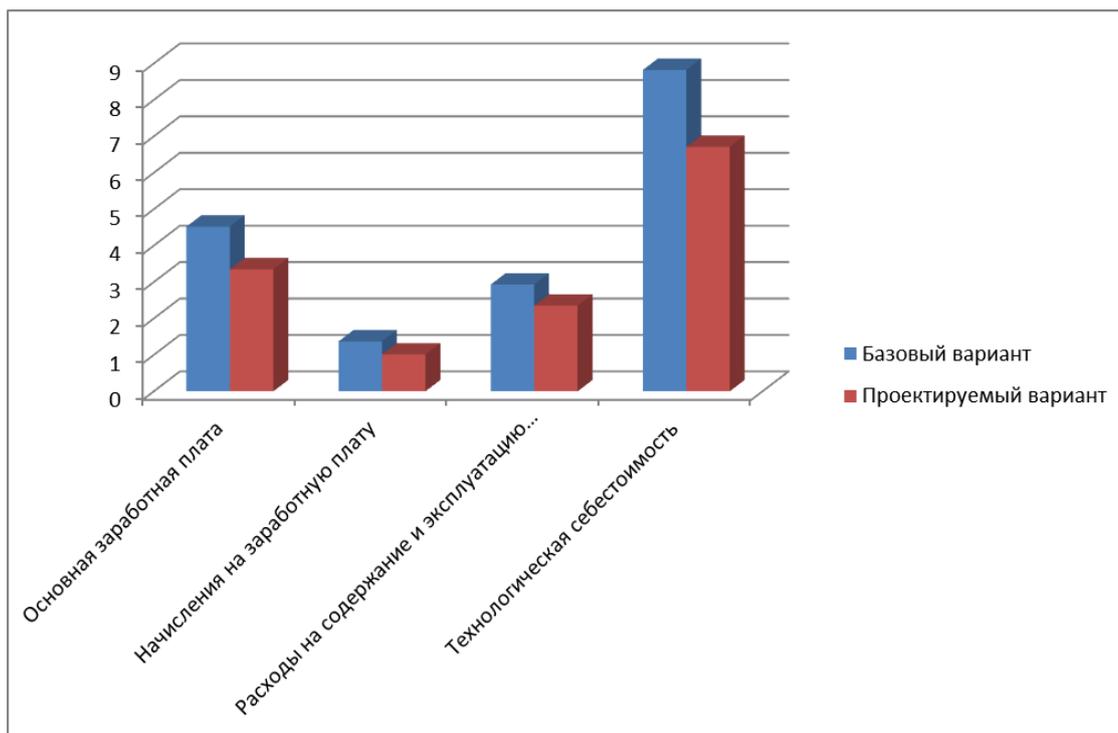


Рисунок 11 – Сравнительная характеристика параметров технологической себестоимости по вариантам, руб.

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 25,36 рублей, а для проектируемого – 18,98 рублей. По полученным значениям можно сделать вывод о том, что полная себестоимость проектируемом варианте меньше чем в базовом. Эта разница составляет 25,2% или 6,38 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 30624 рублей.

Чтобы определить будут ли эффективны предложенные изменения, необходимо рассчитать инвестиции или капитальные вложение в проект. Учитывая то, что изменения технологического процесса изготовления детали «Червяк» 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 39836,8 рублей. На рисунке 12 представлена структура капитальных вложений в долевом соотношении.

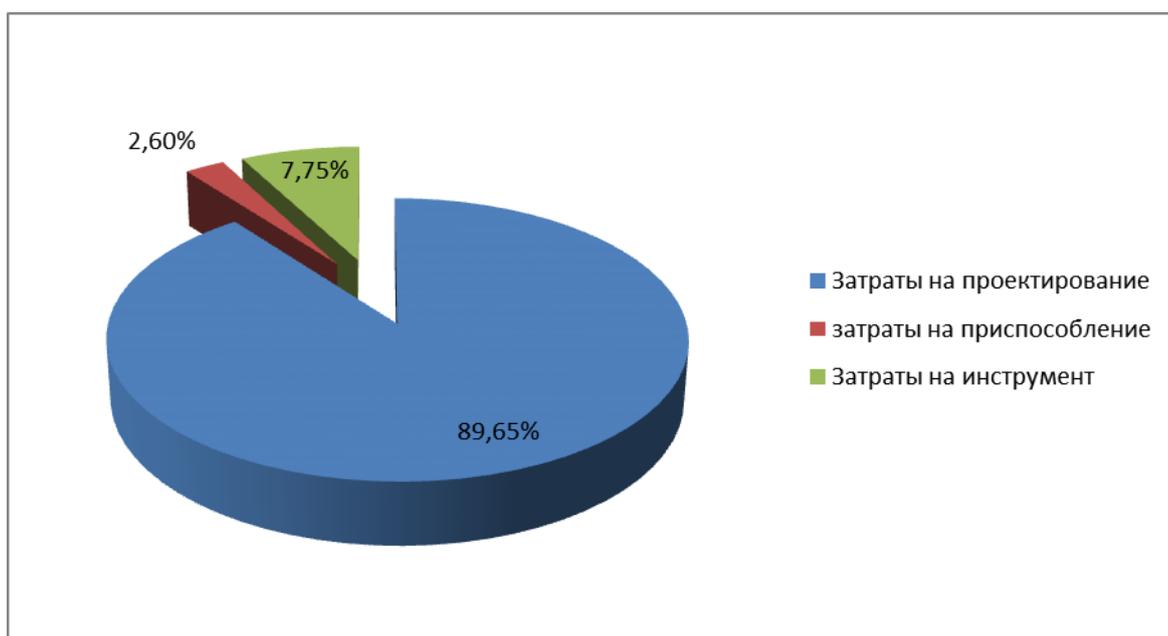


Рисунок 12 – Структура капитальных вложений в долях к общей величине

Анализируя структуру параметров инвестиций, представленную на рисунке 12, видно, что затраты на проектирование составляют большую долю в общей величине капитальных вложений, их величина равна 89,65 %.

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 11.

Таблица 11 – Показатели экономической эффективности проекта

Наименование параметра	Величина параметра
Срок окупаемости, года	2
Общий дисконтируемый доход, руб.	47254,53
Интегральный экономический эффект, руб.	7019,36
Индекс доходности, руб. / руб.	1,18

Анализируя, представленные в таблице 11, данные можно сделать вывод о том, что проект является эффективным, так как интегральный экономический эффект является положительной величиной и составляет 7019,36 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 0,18 рублей, что может обеспечить рентабельность в размере 18 %.

## Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы нами спроектирован технологический процесс изготовления червяка манипулятора МП-12.

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

Для закрепления заготовки на шпоночно-фрезерной операции разработана конструкция специального приспособления с автоматизированным закреплением заготовки. Внедрение этого приспособления взамен приспособления с ручным зажимом дало сокращение вспомогательного времени операции.

В качестве инструмента шпоночно-фрезерной операции проектируемым вариантом предлагается использовать твердосплавную концевую фрезу с износостойким покрытием взамен фрезы из быстрорежущей стали. Это мероприятие увеличит период стойкости инструмента и снизит вспомогательное время операции, отводимое на замену инструмента.

В работе выполнен анализ безопасности и экономичности. Также рассчитана экономическая эффективность работы. Она оказалась положительной.

## Список используемых источников

1. ГОСТ 1050-88. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия. – 85 с.
2. Воробьева Г.А. Конструкционные стали и сплавы [Электронный ресурс] : учеб. пособие / [и др.]. - Москва : ИНФРА-М, 2016. - 440 с. - Библиогр.: с. 436. - ISBN 978-5-16-105096-5.
3. Гулиа Н.В. Детали машин : Учебник / Н.В. Гулиа, В.Г. Клоков, С.А. Юрков; под общ. ред. Н.В. Гулиа. – 3-е изд. стер. – СПб. : Издательство «Лань», 2013. – 416 с.
4. Хозяев И.А. Основы технологий пищевого машиностроения : Учеб. пособие. – СПб. : Издательство «Лань», 2019. – 264 с.
4. Скворцов В.Ф. Основы технологии машиностроения : учеб. пособие / В.Ф. Скворцов. – 2-е изд. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 330 с.
5. Козлов А.А. Разработка технологических процессов изготовления деталей машин : учеб.-метод. пособие по выполнению курсовых проектов по дисциплине «Основы технологии машиностроения» / А.А. Козлов, И.В.Кузьмич. – Тольятти : ТГУ, 2008. – 152 с.
6. 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.
7. Режимы резания металлов: Справочник/ Ю.В.Барановский, Л.А.Брахман, А.И.Гадалевич и др. – М.: НИИТавтопром, 1995. – 456 с.
8. Зубарев Ю. М. Расчет и проектирование приспособлений в машиностроении [Электронный ресурс] : учебник / Ю. М. Зубарев. - Санкт-

Петербург : Лань, 2015. - 320 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1803-9.

9. Иванов И.С. Расчет и проектирование технологической оснастки в машиностроении [Электронный ресурс] : учеб. пособие / И. С. Иванов. - Москва : ИНФРА-М, 2015. - 198 с. : ил. - (Высшее образование.Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-006705-6.

10. Схиртладзе А.Г. Формообразующие инструменты в машиностроении : учеб. пособие / А.Г. Схиртладзе, Л.А. Чупина, А.И. Пульбере, В.А. Гречишников. – М. : Новое знание, 2006. – 557 с.

11. Воробьева Г.А. Инструментальные материалы : учебное пособие / Г.А. Воробьева, Е.Е. Складнова, А.Ф. Леонов, В.К. Ерофеев. — Санкт-Петербург : Политехника, 2016. — 271 с.

12. Вереина Л.И. Металлорежущее технологическое оборудование : учеб. пособие / Л.И. Вереина, А.Г. Ягопольский : под общ. ред. Л.И. Вереиной. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 435 с.

13. 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.

14. ГОСТ Р 52781-2007. Круги шлифовальные и заточные. Технические условия. – 30 с.

15. Патент 2686397 Российская Федерация МПК<sup>7</sup> С 23 С 14/48. Способ формирования износостойкого покрытия на поверхности изделий/ А.А. Писарев, Т.В. Степанова, Д.В. Мозгрин, А.В. Казнев, А.В. Тумаркин, М.М. Харьков, Д.В. Колодко, К.А. Леонова, Д.Г. Агейченков; ВГАОУ ВО «НИЯУ МИФИ» (RU). –2017145133 заявл. 21.12.2017; опубл. 25.04.2019, Бюл. №12. – 8 с.

16. Графкина М.В. Охрана труда : учебное пособие / М.В. Графкина. – 2-е изд. перераб. и доп. – Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2020. – 298 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. Чекмарев А.А. Справочник по машиностроительному черчению : справочник / А.А. Чекмарев, В.К. Осипов. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 494 с.

20. Чекмарев А.А. Инженерная графика. Машиностроительное черчение : учебник / А.А. Чекмарев. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 396 с.







