

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 червячного колеса
червячного редуктора

Студент

Г.А. Сурков

(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

Студент: Сурков Григорий Андреевич

Тема: Технологический процесс изготовления червячного колеса червячного редуктора. Кафедра: Оборудование и технологии машиностроительного производства. ТГУ, Тольятти, 2020 г.

В данной квалифицированной работе рассматривается разработка технологического процесса изготовления червячного колеса червячного редуктора. Работа разделена на 6 разделов. В первом разделе проводится анализ исходных данных. Во втором разделе проектируется технологический маршрут обработки заготовки и осуществляется расчет технологических операций. В третьем разделе уделено особое внимание проектированию специального автоматизированного станочного приспособления. В четвертом разделе рассматриваются вопросы проектирования режущего инструмента. Пятый раздел посвящен анализу безопасности и экологичности технического объекта. В шестом разделе ведется расчет экономической эффективности.

Пояснительная записка состоит из 64 страниц. Графическая часть включает 7 чертежей в формате А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	5
1.1 Служебное назначение детали	5
1.2 Классификация поверхностей и анализ материала изделия ...	6
2 Разработка технологической части	8
2.1 Определение типа производства.....	8
2.2 Выбор метода получения заготовки.....	8
2.3 Выбор методов обработки поверхностей.....	10
2.4 Определение припусков.....	13
2.5 Расчет режимов резания.....	15
3 Проектирование специальных средств технологического оснащения.....	21
3.1 Анализ базового приспособления.....	21
3.2 Определение усилий резания	21
3.3 Расчёт усилия зажима.....	22
3.4 Расчёт зажимного механизма патрона.....	23
3.5 Расчёт силового привода.....	24
4 Проектирование режущего инструмента.....	25
4.1 Исходные данные.....	25
4.2 Определение координат точек профиля изделия	25
4.3 Анализ передних и задних углов в различных точках профиля инструмента.....	26
4.4 Профилирование инструмента.....	28
4.5 Конструктивные элементы фасонного резца.....	30
5 Безопасность и экологичность технического объекта.....	33
5.1 Конструктивно-технологическая и организационно- техническая характеристика рассматриваемого технического объекта	33
5.2 Идентификация профессиональных рисков.....	34

5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	34
5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта...	36
5.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта.....	38
6 Экономическая эффективность работы.....	40
Заключение.....	44
Список используемых источников	45
Приложение А. Операционные карты.....	48

Введение

Машиностроение является основной отраслью мировой экономики. Создание различных машин уменьшает долю ручного труда и увеличивает производительность любого предприятия.

Одними из наиболее распространенных редукторов, встречающихся в машиностроении, являются червячные редукторы. Их отличительной особенностью является то, что при максимальной компактности они могут сильно понизить частоту вращения выходного вала.

«Червячная передача состоит из червяка и червячного колеса. Эта передача относится к скрещающимся кинематическим парам с перекрещивающимися осями. Движение в червячных передачах осуществляется по принципу винтовой пары, где винтом является червяк, а червячное колесо подобно сектору, вырезанному из длинной гайки и изогнутому по окружности».[1]

«Создание и эксплуатация любого технического объекта, в конечном счете, направлены на преобразование среды жизнедеятельности людей, в том числе производственной. При создании любого технического объекта (автомобиля, атомной подводной лодки, доменной печи и так далее) инженеры руководствуются законом сохранения энергии. Энергия в физических, химических и технических науках – это физическая величина, являющаяся наиболее обобщенной количественной мерой всех известных форм движения». [1]

Червячное колесо является одним из звеньев червячной передачи и служит для того, чтобы воспринимать крутящий момент зубчатым венцом от червяка и дальше передавать его по кинематической цепи редуктора.

Целью работы является разработка технологического процесса изготовления червячного зубчатого колеса редуктора заданного качества с минимальными затратами.

1 Анализ исходных данных

1.1 Служебное назначение детали

Червячное колесо является одним из звеньев червячной передачи и служит для того, чтобы воспринимать крутящий момент зубчатый венцом от червяка и дальше передавать его по кинематической цепи редуктора боковыми поверхностями квадратного центрального отверстия.

«В червячной передаче, так же как и в зубчатой, различают диаметры начальных и делительных цилиндров: $d_{\omega_1}, d_{\omega_2}$ - начальные диаметры червяка и колеса; d_1, d_2 - делительные диаметры червяка и колеса». [1]

«Существенное отличие червячной передачи от зубчатой заключается в том, что окружные скорости червяка и колеса не совпадают как по величине, так и по направлению. Они направлены друг к другу под углом скрещивания». [1]

«Шаг p_x винтовой нарезки червяка называется шагом зацепления, а отношение $m = p_x / \pi$ - модулем зацепления в осевом сечении червяка. Аналогичные измерения имеет и нарезка червячного колеса. Резьба червяка может быть однозаходной и многозаходной». [1]

«Червяки различают по следующим признакам: по форме поверхности, на которой образуется резьба – цилиндрические и глобоидные; по форме профиля резьбы – с прямолинейным и криволинейным профилем в осевом сечении. На сегодняшний момент на практике наиболее распространены цилиндрические червяки с прямолинейным профилем в осевом сечении. Исследователи доказали, что работоспособность червячной передачи повышается с уменьшением шероховатости поверхности и с повышением твердости резьбы червяка». [1]

«Для шлифования архимедовых червяков требуются специальные шлифовальные круги фасонного профиля, что затрудняет обработку и снижает точность изготовления. Способ изготовления является решающим

при выборе профиля нарезки червяка, так как при одинаковом качестве изготовления форма профиля мало влияет на работоспособность передачи. Выбор профиля нарезки червяка связан также с формой инструмента для нарезания червячного колеса».[1]

«Червячное колесо нарезается червячными фрезами. Червячная фреза для обработки червячного колеса является копией червяка. Только фрезы имеют режущие кромки, а наружный диаметр больше на двойную величину радиального зазора в зацеплении. При нарезании заготовка колеса и фреза совершают такое же взаимное движение, какое имеют червячное колесо и червяк в передаче. Такой метод нарезания колеса обуславливает необходимость введения стандарта на основные геометрические параметры червяка для того, чтобы иметь ограниченный ряд стандартного инструмента».[1]

1.2 Классификация поверхностей и анализ материала изделия

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

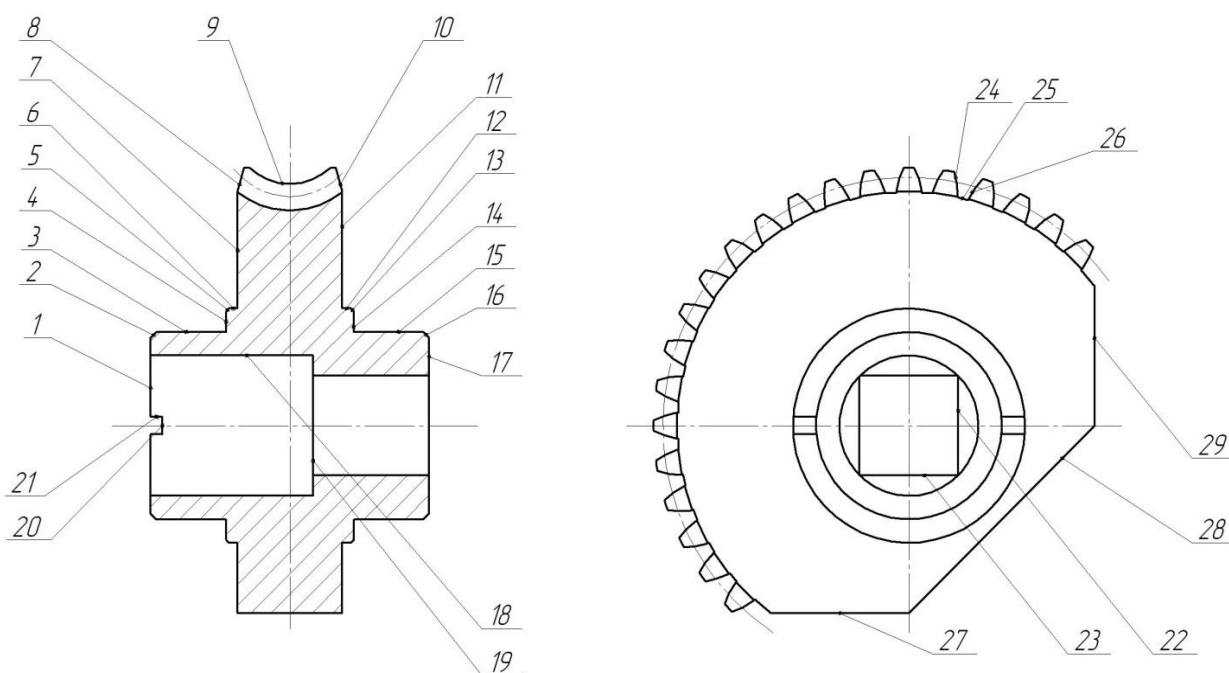


Рисунок 1 - Систематизация поверхностей

Исполнительными поверхностями детали являются эвольвентные поверхности зубчатого венца (24, 26). При помощи них колесо воспринимает вращение. Также исполнительными поверхностями будут являться боковые поверхности квадратного центрального отверстия (22, 23), которые передают вращение дальше по кинематической цепи редуктора.

Основными конструкторскими базами являются поверхности 19 и а 4.

Вспомогательной конструкторской базой червячного колеса будет являться поверхность 4.

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

Материалом детали является серый чугун СЧ25 ГОСТ 1412-85. [2]

В состав чугуна СЧ25 входят следующие химические элементы: углерод, сера, марганец, фосфор, кремний и железо. [3]

Основными физико-механическими свойствами материала СЧ25 являются: $\sigma_B = 250$ МПа, твердость *НВ*170...229. [2]

В данном разделе проведен анализ исходных данных, проведена классификация поверхностей детали, проведен анализ материала детали для дальнейшего проектирования технологического процесса изготовления червячного зубчатого колеса редуктора.

2 Разработка технологической части

2.1 Определение типа производства

В нашем случае годовая программа $N_r = 10000$ штук, масса детали $m = 0,6$ кг.

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

«При серийном производстве изделия изготавливают сериями, состоящими из одноименных, однотипных по конструкции и одинаковых по размерам деталей, запускаемых в производство одновременно». [5]

2.2 Выбор метода получения заготовки

Так как материалом детали является серый чугун и для части поверхностей детали не требуется механическая обработка, то наиболее рациональными способами получения заготовки будут являться литьё и ковка.

Из возможных способов литья для изготовления нашей детали принимаем литьё в металлические формы. [6]

«Допуски размеров элементов отливки, образованных двумя полуформами или полуформой и стержнем, устанавливают соответствующими классу размерной точности отливки». [6]

Примем класс размерной точности отливки – 9. [6]

«Для обрабатываемых поверхностей отливок установлено симметричное расположение полей допусков, для необрабатываемых поверхностей допускается симметричное и несимметричное (частично или полностью) расположение полей допусков размеров, формы и расположения». [6]

Примем класс точности массы отливки – II. [6]

«Стоимость заготовок, полученных такими методами, как литьё в обычные земляные формы и кокиль, литье по выплавляемым моделям, литье под давлением, с достаточной для стадии проектирования точностью можно определить по формуле» [7]

$$C_{заг} = C_{от} \cdot h_T \cdot h_C \cdot h_B \cdot h_M \cdot h_{II}, \quad (2.1)$$

$$h_T = 1,0; h_M = 1,1; h_B = 0,91; h_C = 0,83; h_{II} = 1; C_{от} = 44,00. [7]$$

Тогда

$$C_{заг} = 44,00 \cdot 1,0 \cdot 0,83 \cdot 0,91 \cdot 1,1 \cdot 1,0 = 36,56, \text{ руб/кг.}$$

Учитывая массу заготовки $m = 0,98$ кг, определим стоимость заготовки.

$$C_{заг} = 36,56 \cdot 0,98 = 35,83 \text{ руб.}$$

Определим стоимость заготовки, полученной ковкой.

$$C_{заг} = C_K \cdot h_T \cdot h_C \cdot h_B \cdot h_M \cdot h_{II}.$$

$$h_T = 1,0; h_M = 1,0; h_B = 0,89; h_C = 1,15; h_{II} = 1; C_K = 44,02. [4]$$

Тогда

$$C_{заг} = 44,02 \cdot 1,0 \cdot 1,15 \cdot 0,89 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 45,05, \text{ руб/кг.}$$

Учитывая массу заготовки $m = 0,98$ кг, определим стоимость заготовки.

$$C_{заг} = 45,05 \cdot 0,98 = 44,15 \text{ руб.}$$

Стоимость заготовки, выполненной методом литья меньше стоимости ковкой заготовки, поэтому для заготовительной операции принимаем метод литья в кокиль. При этом посчитаем величину коэффициента использования материала

$$K_{им} = \frac{m_D}{m_3},$$

где $m_D = 0,6$ – масса детали.

$$K_{им} = \frac{m_D}{m_3} = \frac{0,6}{0,98} = 0,61.$$

2.3 Выбор методов обработки поверхностей

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 1 с параметрами $Ra=3,2$, $IT=14$ необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 2 с параметрами $Ra=3,2$, $IT=14$ необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 3 с параметрами $Ra=1,6$, $IT=8$ необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое, шлифование.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 4 с параметрами $Ra=1,6$, $IT=11$ необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое, шлифование.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 5 с параметрами $Ra=3,2$, $IT=14$ необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 6 с параметрами $Ra=6,3$, $IT=14$ необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 7 с параметрами $Ra=3,2$, $IT=14$ необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 8 с параметрами $Ra=3,2$, $IT=14$ необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 9 с параметрами $Ra=3,2$, $IT=9$ необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 10 с параметрами $Ra=3,2$, $IT=14$ необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 11 с параметрами $Ra=3,2$, $IT=14$ необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 12 с параметрами $Ra=6,3$, $IT=14$ необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 13 с параметрами $Ra=3,2$, $IT=14$ необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 14 с параметрами $Ra=1,6$, $IT=11$ необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое, шлифование.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 15 с параметрами $Ra=1,6$, $IT=8$ необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое, шлифование.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 16 с параметрами $Ra=3,2$, $IT=14$ необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 17 с параметрами $Ra=3,2$, $IT=14$ необходима следующая последовательность методов обработки: точение черновое и чистовое.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 18 с параметрами $Ra=3,2$, $IT=7$ необходима следующая последовательность методов обработки: сверление, зенкерование.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 19 с параметрами $Ra=1,6$, $IT=14$ необходима следующая последовательность методов обработки: сверление, цекование, шлифование.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 20 с параметрами $Ra=3,2$, $IT=14$ необходима следующая последовательность методов обработки: фрезерование.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 21 с параметрами $Ra=3,2$, $IT=14$ необходима следующая последовательность методов обработки: фрезерование.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 22 с параметрами $Ra=3,2$, $IT=10$ необходима следующая последовательность методов обработки: сверление, фрезерование.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 23 с параметрами $Ra=3,2$, $IT=10$ необходима следующая последовательность методов обработки: сверление, фрезерование.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 24 с параметрами $Ra=1,6$, $IT=8$ необходима следующая последовательность методов обработки: сверление, зубофрезерование, зубошлифование.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 25 с параметрами $Ra=3,2$, $IT=14$ необходима следующая последовательность методов обработки: сверление, зубофрезерование.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 26 с параметрами $Ra=1,6$, $IT=8$ необходима следующая последовательность методов обработки: сверление, зубофрезерование, зубошлифование.

Поверхность 28 с параметрами $Ra=40$ $IT=16$ в механической обработке не нуждается.

Для достижения необходимого качества обработки поверхности 29 с параметрами $Ra=6,3$, $IT=14$ необходима следующая последовательность методов обработки: фрезерование.

2.4 Определение припусков

Расчетно-аналитическим методом определим припуски на обработку самой точной поверхности с диаметром $32f8_{-0,064}^{-0,025}$ мм.

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

Исходные данные: $D = 32f8_{-0,064}^{-0,025}$ мм; $L = 13$ мм; $Ra = 1,25$ мкм.

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

$$\Delta_0 = 0,25 \cdot 1,0 = 0,250 .$$

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

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

$$\Delta_{TO} = 0,25 \cdot 0,100 = 0,025 .$$

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

$$\Delta_{04} = 0,25 \cdot 0,016 = 0,004 .$$

Рассчитаем максимальные и минимальные значения припусков (мм).

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

$$Z_{1\min} = a_0 + \sqrt{(\Delta_0)^2 + \varepsilon_1^2} = 0,4 + \sqrt{0,400^2 + 0,025^2} = 0,601 .$$

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

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

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

$$Z_{1\max} = Z_{1\min} + 0,5(Td_0 + Td_1) = 0,601 + 0,5(1,0 + 0,25) = 1,226 .$$

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

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

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

$$d_{3\min} = 31,975 .$$

$$d_{3\max} = 31,936 .$$

$$d_{TO\min} = d_{3\max} + 2Z_{3\min} = 31,936 + 2 \cdot 0,125 = 32,186.$$

$$d_{TO\max} = d_{TO\min} + Td_{TO} = 32,186 + 0,100 = 32,286.$$

$$d_{2\min} = d_{TO\min} \cdot 0,999 = 32,286 \cdot 0,999 = 32,254.$$

$$d_{2\max} = d_{2\min} + Td_2 = 32,254 + 0,062 = 32,316.$$

$$d_{1\min} = d_{2\max} + 2Z_{2\min} = 32,316 + 2 \cdot 0,263 = 32,842.$$

$$d_{1\max} = d_{1\min} + Td_1 = 32,842 + 0,250 = 33,092.$$

$$d_{0\min} = d_{1\max} + 2Z_{1\min} = 33,092 + 2 \cdot 0,601 = 34,294.$$

$$d_{0\max} = d_{0\min} + Td_0 = 34,294 + 1,000 = 35,294.$$

Рассчитаем средние значения размеров (мм).

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

$$d_{cp0} = 0,5(d_{0\max} + d_{0\min}) = 0,5(35,294 + 34,294) = 34,794.$$

$$d_{cp1} = 0,5(d_{1\max} + d_{1\min}) = 0,5(33,092 + 32,842) = 32,967.$$

$$d_{cp2} = 0,5(d_{2\max} + d_{2\min}) = 0,5(32,316 + 32,254) = 32,285.$$

$$d_{cpTO} = 0,5(d_{TO\max} + d_{TO\min}) = 0,5(32,286 + 32,186) = 32,236.$$

$$d_{cp3} = 0,5(d_{3\max} + d_{3\min}) = 0,5(31,936 + 31,975) = 31,956.$$

Рассчитаем общий припуск на обработку (мм).

$$2Z_{\min} = d_{0\min} - d_{3\max}.$$

$$2Z_{\max} = 2Z_{\min} + Td_0 + Td_3.$$

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

$$2Z_{\min} = 34,294 - 31,936 = 2,358.$$

$$2Z_{\max} = 2,358 + 1,000 + 0,039 = 3,397.$$

$$2Z_{cp} = 0,5(2,358 + 3,397) = 2,878.$$

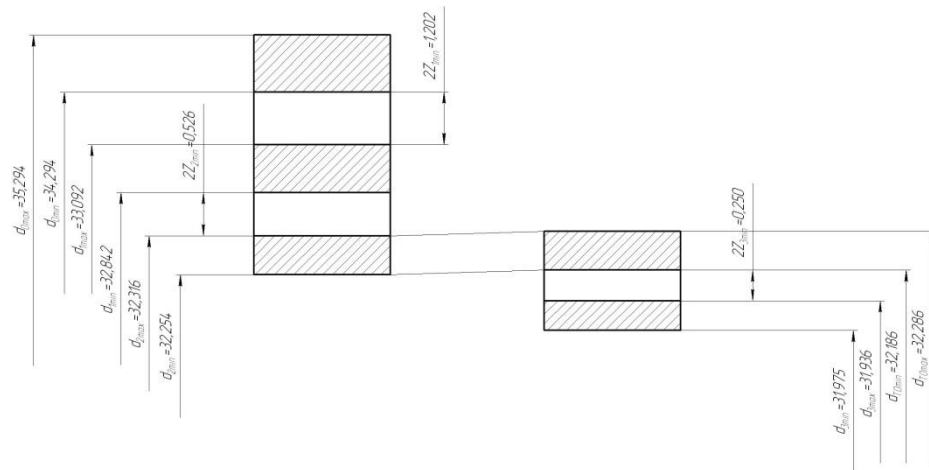


Рисунок 2 - Схема расположения припусков и полей допусков на поверхность с диаметром $32f8_{(-0.025/-0.064)}$.

2.5 Расчет режимов резания

2.5.1 Расчет режимов обработки на операцию 015 Токарная чистовая.

Переход 1.

Глубина резания $t = 0,3$ мм. [8]

Подача $S_0 = 0,2$ мм/об. [8]

Скорость резания $V_0 = 150$ м/мин.

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

Тогда $V = 150 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 150$ м/мин.

Частота вращения [8]

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 150}{3,14 \cdot 88} = 543 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n = 500 \text{ мин}^{-1}.$$

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 88 \cdot 500}{1000} = 138 \text{ м/мин.}$$

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

Основное время. [8]

$$T_0 = \frac{L_{px}}{S} = \frac{60}{100} = 0,60 \text{ мин.}$$

Переход 2.

Глубина резания $t = 2,75$ мм. [8]

Подача $S_0 = 0,2$ мм/об. [8]

Скорость резания $V_0 = 150$ м/мин.

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

где $K_1 = 1,0; K_2 = 0,5; K_3 = 0,5$. [8]

Тогда $V = 150 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 37,5$ м/мин.

Частота вращения [8]

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 37,5}{3,14 \cdot 88} = 136 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n = 125 \text{ мин}^{-1}.$$

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 88 \cdot 125}{1000} = 34,5 \text{ м/мин.}$$

$$S = S_0 \cdot n = 0,2 \cdot 125 = 25 \text{ мм/мин.}$$

Основное время. [8]

$$T_0 = \frac{L_{px}}{S} = \frac{4}{25} = 0,16 \text{ мин.}$$

$$T_0 = \sum T_{0i} = 0,60 + 0,16 = 0,56, \text{ мин.}$$

2.5.2 Расчет режимов обработки на операцию 030 Протяжная.

Осевая сила резания

$$P = q_0 \cdot \sum l_p \cdot k_p. [8]$$

Найдем $\sum l_p$ для отверстий.

$$\sum l_p = \frac{\pi \cdot D \cdot Z_p}{Z_c},$$

где

$$Z_p = \frac{l}{t+1} = \frac{60}{10} = 6.$$

$$Z_c = 2.$$

$$\sum l_p = \frac{3,14 \cdot 17 \cdot 6}{2} = 160, \text{ мм.}$$

Осевая сила резания

$$P = 7,2 \cdot 160 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1152 \text{ кгс} = 11301 \text{ Н.}$$

Скорость резания

$$V_{\text{оон}} = \frac{60 \cdot 102 \cdot N_{\text{д}} \cdot \eta}{P},$$

где $N_{\text{д}} = 11 \text{ кВт}; \eta = 0,85$.

Тогда

$$V_{\text{оон}} = \frac{60 \cdot 102 \cdot 11 \cdot 0,85}{1152} = 49,7 \text{ м/мин.}$$

Таким образом, принимаем $V = 8 \text{ м/мин.}$

2.5.3 Расчет режимов обработки на операцию 060 Зубошлифовальная.

Определим длину рабочего хода

$$L_{\text{рх}} = L_p + L_{\text{г}} \quad [8]$$

$$L_p = b \cdot q,$$

где $b = 18; q = 1$. [8]

Тогда

$$L_p = 18 \cdot 1 = 18, \text{ мм.}$$

$$L_{\text{г}} = \frac{\sqrt{h(d_a - h)}}{\cos \beta} + 3 \cdot m \cdot \text{tg} \beta + (3 \dots 5),$$

где $\beta = 4^{\circ} 26' 34''; h = 4,5; d_a = 88 \text{ мм.}$

Тогда

$$L_{\text{г}} = \frac{\sqrt{4,5(88 - 4,5)}}{\cos 4,5^{\circ}} + 3 \cdot 2 \cdot \text{tg} 4,5^{\circ} + (3 \dots 5) = 22, \text{ мм.}$$

$$L_{\text{рх}} = 18 + 22 = 40, \text{ мм.}$$

«Определение припуска на толщину зуба». [8]

При $m = 2 \text{ мм}$ и $d_a = 88 \text{ мм}$ $2p = 0,15 \dots 0,2 \text{ мм.}$

Примем $2p = 0,2 \text{ мм.}$

Размер продольной подачи $S_{\text{пр}} = 0,02 \text{ мм/дв.х.}$ [8]

Размер осевой передвижки $B = 1,5 \text{ мм.}$ [8]

«Определение числа предварительных ходов». [8]

$$n_{\text{ПР}} = \frac{0,9p}{S_p} \operatorname{ctg} \alpha = \frac{0,9 \cdot 0,1}{0,05} \cdot \operatorname{ctg} 4,5^\circ = 22,9. \text{ Принимаем } n_{\text{ПР}} = 23.$$

«Определение числа окончательных проходов». [8]

$$n_{\text{ОК}} = \frac{0,1p}{S_p} \operatorname{ctg} \alpha = \frac{0,1 \cdot 0,1}{0,05} \cdot \operatorname{ctg} 4,5^\circ = 2,5. \text{ Принимаем } n_{\text{ОК}} = 3.$$

Скорость резания

$$V = \frac{\pi d_{\text{КР}} n}{60000} = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 3000}{60000} = 15,7, \text{ м/с.}$$

Основное время [8]

$$T_0 = z(n_{\text{ПР}} + n_{\text{ОК}}) \cdot \left(\frac{2L_{\text{ПХ}}}{n \cdot S} + 1 \right).$$

$$T_0 = 20(23 + 3) \left(\frac{2 \cdot 40}{3000 \cdot 0,05} + 1 \right) = 7,97, \text{ мин.}$$

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

Поставленная задача решается, а заявленный технический результат достигается тем, что 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.

Заявленное 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 реечный исходный профиль. Устройство снабжено дополнительными опорными роликами 4, установленными вдоль реечного исходного профиля с внутренней стороны замкнутой абразивной ленты 5 и подпружиненными 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.

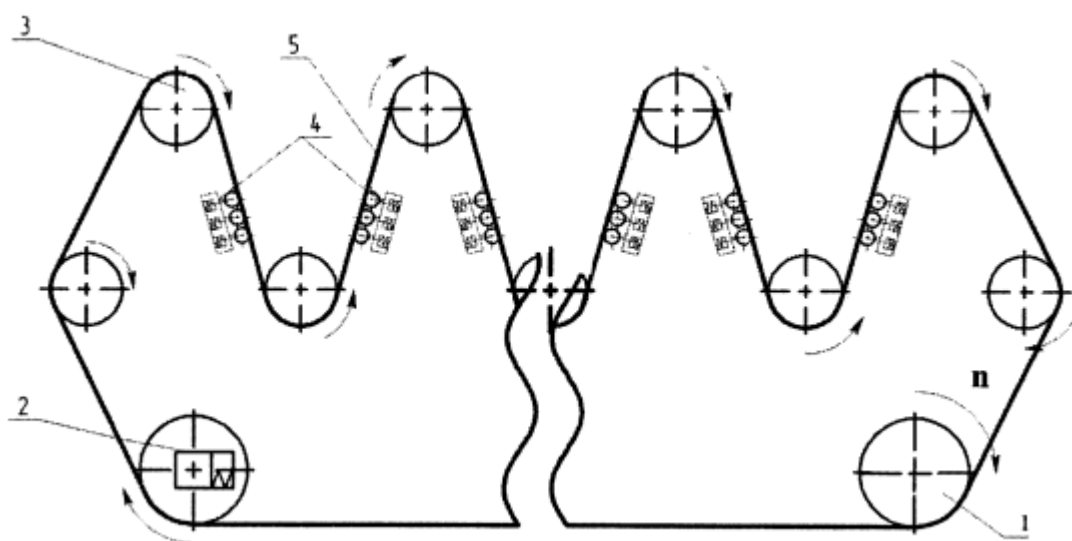


Рисунок 3 – Схема приспособления

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 образуемой 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.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что поставленная задача полезной модели - минимизация негативного влияния прогиба абразивной ленты решена, а заявленный технический результат - повышение точности шлифования эвольвентных зубчатых колес достигнут.

В данном разделе проведен технико-экономический расчет двух наиболее подходящих методов получения заготовки и выбрано литьё в кокиль, определен среднесерийный тип производства. На одну из поверхностей рассчитаны припуски для обработки. Далее проведен расчет режимов резания для тех операций техпроцесса изготовления червячного колеса, в которых выполнены изменения относительно базового варианта.

3 Проектирование специальных средств технологического оснащения

3.1 Анализ базового приспособления

На операции 015 Токарная для закрепления и базирования заготовки применяется патрон трёхкулачковый самоцентрирующий. Закрепление заготовки осуществляется захватом кулачков по наружной цилиндрической поверхности с диаметром 32,4 мм.

Схема операции представлена на рисунке 4.

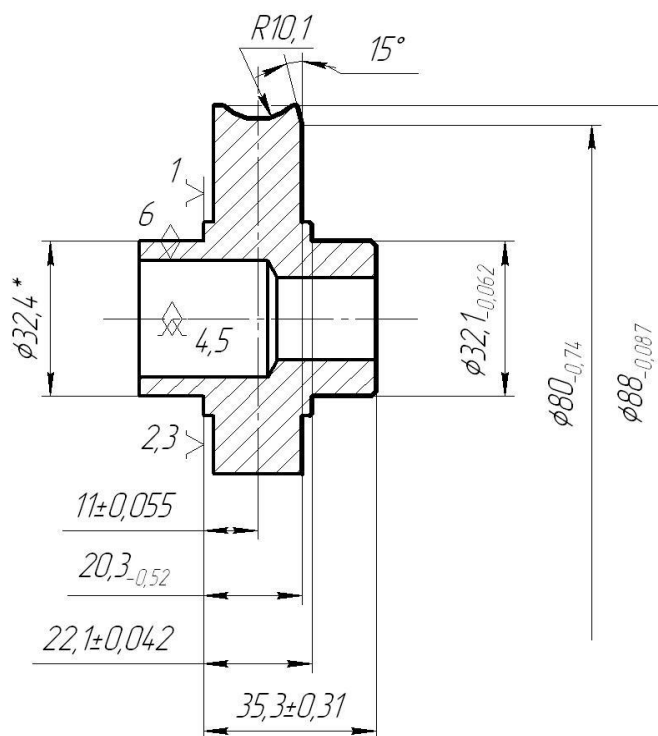


Рисунок 4 - Эскиз операции 015

3.2 Определение усилий резания

При обработке точением составляющие P_z и P_y определяют по формуле:

$$P_{z,y} = 10C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p \cdot [11] \quad (3.1)$$

При обработке стальной заготовки резцом с пластиной из твёрдого сплава постоянные формулы (3.1) равны для P_z :
 $C_p = 300; x = 1,0; y = 0,75; n = -0,15$.

Для P_y : $C_p = 243; x = 0,9; y = 0,6; n = -0,3$.

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{yp} \cdot K_{jp} \cdot K_{np}, \quad [11] \quad (3.2)$$

$$\text{где } K_{MP} = \left(\frac{\delta_6}{750} \right)^{0,75}, \quad [11] \quad (3.3)$$

$$K_{mp} = \left(\frac{250}{750} \right)^{0,75} = 0,439,$$

При

$\varphi = 60^\circ$:

$$K_{ypz} = 0,94; K_{ypy} = 0,8; \gamma = -3^\circ; K_{pz} = 1,05; K_{pz} = 1,5; \lambda = +0,5^\circ; K_{npz} = 1,03; K_{npy} = 1,15. \quad [11]$$

Тогда

$$K_{pz} = K_{mp} \cdot K_{ypz} \cdot K_{pz} \cdot K_{npz} = 0,439 \cdot 0,94 \cdot 1,05 \cdot 1,03 = 0,446.$$

$$K_{py} = K_{mp} \cdot K_{ypy} \cdot K_{py} \cdot K_{npy} = 0,439 \cdot 0,8 \cdot 1,5 \cdot 1,15 = 0,606.$$

Подставляя значения, получим

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,3^{1,0} \cdot 0,2^{0,75} \cdot 138^{-0,15} \cdot 0,446 = 57,33, \text{ Н.}$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 0,3^{0,9} \cdot 0,2^{0,6} \cdot 138^{-0,3} \cdot 0,606 = 43,27, \text{ Н.}$$

3.3 Расчёт усилия зажима

Результирующий крутящий момент от действия касательной составляющей силы резания пытается повернуть заготовку в кулачках и рассчитывается как

$$M_p = \frac{P_z d_1}{2} = \frac{57,33 \cdot 88}{2} = 2522,5, \text{ Н.} \quad [11] \quad (3.4)$$

Момент от силы зажима препятствует повороту заготовки и определяется по формуле:

$$M_3 = \frac{T d_2}{2} = \frac{W f d_2}{2}. \quad (3.5)$$

Из равенства моментов M_p и M_3 рассчитаем необходимое зажимное усилие, которое препятствует повороту изделия.

$$W^1 = \frac{KM_p}{fd_2} = \frac{Kp_z \cdot d_1}{fd_2}, \quad [11] \quad (3.6)$$

Коэффициента запаса K рассчитывают по формуле, которая определяет условия выполнения операции:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (3.7)$$

$$K_{p_z} = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 1,8; K_{p_y} = 2,52.$$

$f = 0,3$ отсюда

$$W_z^1 = \frac{K \cdot P_z \cdot d_1}{f \cdot d_2} = \frac{1,8 \cdot 57,33 \cdot 88}{0,3 \cdot 32,4} = 934,3, \text{ Н.}$$

Составляющая силы резания P_y пытается вывернуть заготовку из кулачков

$$M_p^{11} = P_y \cdot \ell. \quad [11] \quad (3.8)$$

Этому препятствует момент от зажимной силы

$$M_3^{11} = T \frac{2}{3} d_2 = \frac{2}{3} W^1 f d_2. \quad (3.9)$$

Величина усилия W_1 , рассчитывается по формуле:

$$W_1 = \frac{W}{1 - \left(\frac{3\ell_k}{M_k} \cdot f_1 \right)} = \frac{2522,5}{1 - \left(\frac{3 \cdot 13}{25} \cdot 0,1 \right)} = 2989, \text{ Н.} \quad (3.10)$$

3.4 Расчёт зажимного механизма патрона

Определим усилие Q , которое создается силовым приводом, увеличиваемое зажимным механизмом и передаваемое каждому кулачку

$$Q = \frac{W_1}{i_c}. \quad [12]$$

Для клинового механизма данную величину i находим по формуле:

$$i_{c.kz} = \frac{1}{\text{tg}(\alpha + \varphi) + \text{tg} \varphi_1}, \quad [12] \quad (3.11)$$

где $\alpha = 15...30^\circ$ –рекомендуемый угол наклона клина. [12]

Принимаем $\alpha = 20^\circ$. Углы φ и φ^1 найдем по формуле:

$$\varphi = \arctg \cdot f_1 = \arctg \cdot 0,1 = 5^\circ 43^1, \text{ отсюда:}$$

принимаем $\varphi = \varphi^1 = 6^\circ$.

Отсюда

$$i_{c.кл.} = \frac{1}{\operatorname{tg}(20^\circ + 6^\circ) + \operatorname{tg} 6^\circ} = 1,9,$$

следовательно

$$Q = \frac{W}{i_{c.p.}} = \frac{2989}{1,9} = 1573, \text{ Н.}$$

3.5 Расчёт силового привода

Определим диаметр поршня пневмоцилиндра

$$L = 1,13 \sqrt{\frac{Q}{P}}. \quad [12] \quad (3.12)$$

В конструкцию токарного станка встраивается силовой привод с диаметральный размером поршня не более 120 мм.

Определим диаметр поршня

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{1573}{0,4}} = 70,86, \text{ мм.}$$

Принимаем $D = 80$ мм.

Рассчитаем ход поршня:

$$S_a = \frac{S_w}{i_n} = \frac{0,4}{0,52} = 7,6 \text{ ÷} ; \quad [12] \quad (3.13)$$

В результате разработки в данном разделе рассчитано и спроектировано автоматизированное станочное приспособление для токарной операции 015 техпроцесса изготовления червячного колеса. Автоматизация приспособления дает сокращение операционного времени, связанного с загрузкой и выгрузкой заготовки на станке.

4 Проектирование режущего инструмента

4.1 Исходные данные

На операции 015 Токарная проводят обработку радиусной поверхности заготовки. Для этого используется токарный фасонный резец. В этом разделе спроектируем этот инструмент. Эскиз перехода представлен на рисунке 5.

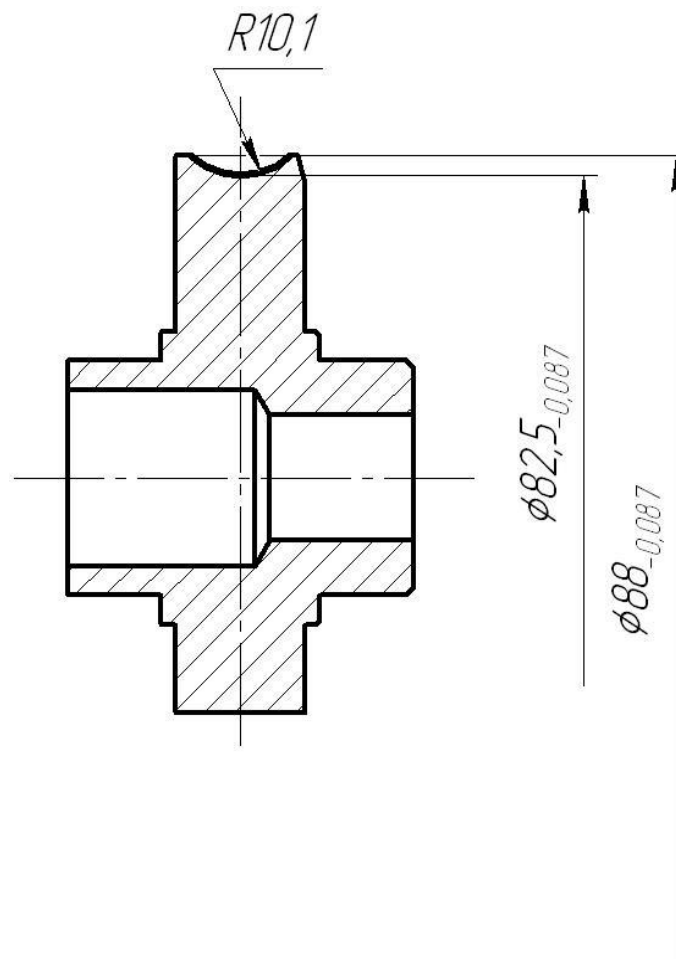


Рисунок 5 – Эскиз технологического перехода

4.2 Определение координат точек профиля изделия

«Определяют наименьший обрабатываемый фасонным резцом диаметр изделия, и принимают его в качестве базового диаметра» [13]

$$d_0 = 20 \text{ мм.}$$

«Определяют основные точки профиля изделия, по которым будет вестись расчет профиля инструмента. Основными являются крайние левая и правая точки профиля, а также все точки, в которых одна поверхность изделия переходит в другую. Радиусные участки профиля разбивают на квадранты и в каждом квадранте выбирают три точки: начальную, конечную и промежуточную». [13]

В нашем случае радиусный участок 0-4. Разделим этот участок на четыре участка (рисунок 6).

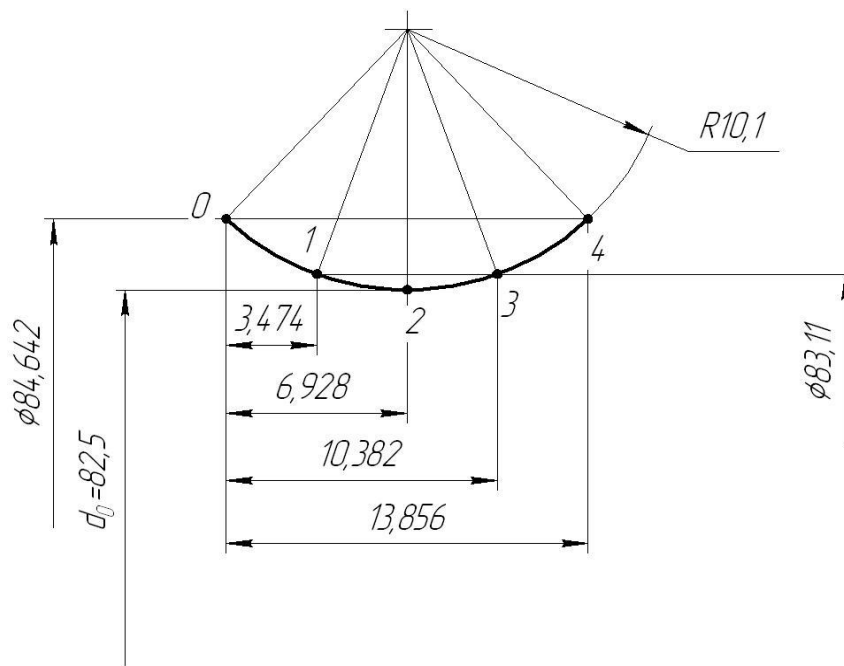


Рисунок 6 - Основные точки профиля

4.3 Анализ передних и задних углов в различных точках профиля инструмента

При обработке чугуна с $HB = 170...229$ МПа круглым фасонным резцом принимаем $\alpha_{r0} = 10^\circ$; $\gamma_{r0} = 5^\circ$.

«Рассчитывают передние и задние углы резца в радиальной секущей плоскости для основных точек профиля». [13]

$$\gamma_{ri} = \arcsin\left(\frac{d_0}{d_i} \sin \gamma_{r0}\right).$$

$$\gamma_{r0} = \gamma_{r4} = \arcsin\left(\frac{82,5}{84,642} \sin 20^\circ\right) = 19,48^\circ$$

$$\gamma_{r1} = \gamma_{r3} = \arcsin\left(\frac{82,5}{83,11} \sin 20^\circ\right) = 19,85^\circ.$$

$$\gamma_{r2} = \arcsin\left(\frac{82,5}{82,5} \sin 20^\circ\right) = 20^\circ.$$

$$\gamma_{r3} = \arcsin\left(\frac{82,5}{83,11} \sin 20^\circ\right) = 19,85^\circ.$$

$$\gamma_{r4} = \arcsin\left(\frac{82,5}{84,642} \sin 20^\circ\right) = 19,48^\circ$$

$$\alpha_{ri} = \alpha_{r0} + (\gamma_{r0} - \gamma_{ri}).$$

$$\alpha_{r0} = 10^\circ + (20^\circ - 19,48^\circ) = 10,52^\circ.$$

$$\alpha_{r1} = 10^\circ + (20^\circ - 19,85^\circ) = 10,15^\circ.$$

$$\alpha_{r2} = 10^\circ + (20^\circ - 20^\circ) = 10^\circ.$$

$$\alpha_{r3} = 10^\circ + (20^\circ - 19,85^\circ) = 10,15^\circ.$$

$$\alpha_{r4} = 10^\circ + (20^\circ - 19,48^\circ) = 10,52^\circ.$$

$$tg \gamma_i = tg \gamma_{ri} \cos \varphi_i.$$

$$tg \gamma_0 = tg 19,48^\circ \cos 15^\circ = 0,3417.$$

$$\gamma_0 = \arctg 0,3417 = 18,87^\circ.$$

$$tg \gamma_1 = tg 19,85^\circ \cos 15^\circ = 0,3487.$$

$$\gamma_1 = \arctg 0,3487 = 19,22^\circ.$$

$$tg \gamma_2 = tg 20^\circ \cos 30^\circ = 0,3152.$$

$$\gamma_2 = \arctg 0,3152 = 17,49^\circ.$$

$$tg \gamma_3 = tg 19,48^\circ \cos 15^\circ = 0,3417.$$

$$\gamma_3 = \arctg 0,3487 = 19,22^\circ.$$

$$tg \gamma_4 = tg 19,85^\circ \cos 15^\circ = 0,3487.$$

$$\gamma_4 = \arctg 0,3417 = 18,87^\circ.$$

$$tg \alpha_i = tg \alpha_{ri} \cos \varphi_i .$$

$$tg \alpha_0 = tg 10,52^\circ \cos 15^\circ = 0,1794 .$$

$$\alpha_0 = arctg 0,1794 = 10,17^\circ .$$

$$tg \alpha_1 = tg 10,15^\circ \cos 15^\circ = 0,1729 .$$

$$\alpha_1 = arctg 0,1729 = 9,81^\circ .$$

$$tg \alpha_2 = tg 10^\circ \cos 30^\circ = 0,1527 .$$

$$\alpha_2 = arctg 0,1527 = 8,68^\circ .$$

$$tg \alpha_3 = tg 10,15^\circ \cos 15^\circ = 0,1729 .$$

$$\alpha_3 = arctg 0,1729 = 9,81^\circ .$$

$$tg \alpha_4 = tg 10,52^\circ \cos 15^\circ = 0,1794 .$$

$$\alpha_4 = arctg 0,1794 = 10,17^\circ .$$

Таблица 2 – «Передний и задний углы на профиле резца, град». [13]

i	d _i , мм	x _i , мм	φ _i [°]	γ _{pi}	γ _i	α _{pi}	α _i
0	84,642	0	15	19,48	18,87	10,52	10,17
1	83,11	3,474	15	19,85	19,22	10,15	9,81
2	82,5	6,928	30	20	17,49	10,00	8,68
3	83,11	10,382	15	19,85	19,22	10,15	9,81
4	84,642	13,856	15	19,48	18,87	10,52	10,17

4.4 Профилирование инструмента

«Рассчитывают высоты промежуточного профиля резца». [13]

$$h_{0i} = \frac{d_i - d_0}{2} \cdot \frac{\cos((\gamma_{r0} - \gamma_{ri})/2)}{\cos((\gamma_{r0} + \gamma_{ri})/2)} .$$

$$h_{00} = \frac{84,642 - 82,5}{2} \cdot \frac{\cos((20^\circ - 19,48^\circ)/2)}{\cos((20^\circ + 19,48^\circ)/2)} = 1,138 .$$

$$h_{01} = \frac{83,11 - 82,5}{2} \cdot \frac{\cos((20^\circ - 19,85^\circ)/2)}{\cos((20^\circ + 19,85^\circ)/2)} = 0,024 .$$

$$h_{02} = \frac{82,5 - 82,5}{2} \cdot \frac{\cos((20^\circ - 20^\circ)/2)}{\cos((20^\circ + 20^\circ)/2)} = 0.$$

$$h_{03} = \frac{83,11 - 82,5}{2} \cdot \frac{\cos((20^\circ - 19,85^\circ)/2)}{\cos((20^\circ + 19,85^\circ)/2)} = 0,024.$$

$$h_{04} = \frac{84,642 - 82,5}{2} \cdot \frac{\cos((20^\circ - 19,48^\circ)/2)}{\cos((20^\circ + 19,48^\circ)/2)} = 1,138.$$

«Для круглых резцов прежде, чем рассчитывать h_{li} , необходимо определить наружный диаметр D резца». [13]

«Величину D выбирают в зависимости от диаметра d посадочного отверстия, наименьшее значение которого определяют из необходимой прочности и жесткости оправки с помощью эмпирических зависимостей». [13]

$L = 13,856$ мм - ширина обрабатываемого профиля.

$$d = (3,5...5)L^{0,7} \text{ при } L > 30.$$

$$d = (2,5...3)70^{0,6} = 32, \text{ мм.}$$

При $d = 49$ мм принимаем $D = 100$ мм.

«Рассчитывают высоты шлифуемого профиля круглого фасонного резца по формуле» [13]

$$h_{li} = 0,5D - \sqrt{0,25D^2 + h_{0i}^2 - Dh_{0i} \cos(\gamma_{r0} + \alpha_{r0})}.$$

$$h_{10} = 0,5 \cdot 100 - \sqrt{0,25 \cdot 100^2 + 1,138^2 - 100 \cdot 1,138 \cdot \cos(20^\circ + 10^\circ)} = 0,982, \text{ мм.}$$

$$h_{11} = 0,5 \cdot 100 - \sqrt{0,25 \cdot 100^2 + 0,024^2 - 100 \cdot 0,024 \cdot \cos(20^\circ + 10^\circ)} = 0,021, \text{ мм.}$$

$$h_{12} = 0,5 \cdot 100 - \sqrt{0,25 \cdot 100^2 + 0^2 - 100 \cdot 0 \cdot \cos(20^\circ + 15^\circ)} = 0, \text{ мм.}$$

$$h_{13} = 0,5 \cdot 100 - \sqrt{0,25 \cdot 100^2 + 0,024^2 - 100 \cdot 0,024 \cdot \cos(20^\circ + 10^\circ)} = 0,021.$$

$$h_{14} = 0,5 \cdot 100 - \sqrt{0,25 \cdot 100^2 + 1,138^2 - 100 \cdot 1,138 \cdot \cos(20^\circ + 10^\circ)} = 0,982.$$

Рассчитаем радиусы ρ_1 участков профиля резца, которые обрабатывают радиусные участки профиля изделия.

$$\rho_1 = \frac{(\Delta x)^2 + (\Delta h_1)^2}{2 \cdot \Delta h_1},$$

где $\Delta x = x_m - x_j$, $\Delta h_1 = |h_{1m} - h_{1j}|$.

$$\Delta x = 6,928 - 0 = 6,928, \text{ мм.}$$

$$\Delta h_1 = (0,982 - 0) / 2 = 0,491, \text{ мм.}$$

$$\rho_{11} = \frac{6,928^2 + 0,491^2}{2 \cdot 0,491} = 9,775, \text{ мм.}$$

Таблица 3 - Высоты шлифуемого профиля круглого фасонного резца

i	d _i , мм	x _i , мм	γ _{ri} , °	h _{0i} , мм	h _{1i} , мм
0	84,642	0	19,48	1,138	0,982
1	83,11	3,474	19,85	0,024	0,021
2	82,5	6,928	20	0	0
3	83,11	10,382	19,85	0,024	0,021
4	84,642	13,856	19,48	1,138	0,982

4.5 Конструктивные элементы фасонного резца

«Для создания заднего угла α_{r0} ось резца должна располагаться выше оси вращения заготовки на величину» [13]

$$K = 0,5D \sin \alpha_{r0} = 0,5 \cdot 100 \cdot \sin 10,52^\circ = 9,129.$$

«Толщину стенки между посадочным отверстием и плоскостью выреза, исходя из прочности резца, назначают в интервале». [13]

$$p = (0,25 \dots 0,4)d.$$

$$p = (0,25 \dots 0,4)32 = 10, \text{ мм.}$$

«Выполняют проверку на наличие достаточного пространства для размещения стружки в процессе резания». [13]

$$q = 0,5(D \cos \alpha_{r0} - d) - p - h_{\max} \geq 3,$$

где h_{\max} – наибольшая высота профиля изделия.

$$q = 0,5(100 \cdot \cos 10,52^\circ - 32) - 10 - 17,546 = 5,694, \quad \text{следовательно} \quad \text{условие}$$

выполняется.

«С правой стороны резца располагают буртик шириной 3...5 мм и диаметром $(1,5...1,7)d$, на торце которого делают радиальные рифления для предохранения резца от проворачивания под действием сил резания. Число зубчиков рифлений примем 32, угол их профиля в нормальном сечении 90° ».

[13]

«Для сохранения величины угла γ_{r0} необходимо, чтобы при заточке резца плоскость его передней поверхности была касательна к цилиндру радиусом R_3 , называемым радиусом заточки». [13]

$$R_3 = 0,5D \sin(\gamma_{r0} + \alpha_{r0}) = 0,5 \cdot 100 \cdot \sin(20^\circ + 10^\circ) = 25, \text{ мм.}$$

«Решение вопросов точности, начиная от методов получения заготовок и заканчивая их механической обработкой, должно происходить комплексно. Так, повышение точности изготовления заготовок деталей машин и механизмов при росте их себестоимости снижает трудоёмкость и себестоимость механической обработки, и наоборот. В свою очередь, повышение точности механической обработки сокращает трудоёмкость и себестоимость сборки машин в результате устранения пригоночных работ и обеспечения принципа взаимозаменяемости деталей изделия». [15]

«В современном машиностроении основным технологическим процессом, обеспечивающим изготовление деталей заданной точности (формы, размеров, взаимного положения поверхностей) и состояния поверхностного слоя, является обработка резанием со снятием стружки (механическая обработка), включающая в себя обработку лезвийным и абразивными инструментами. Несмотря на совершенствование методов получения заготовок, их удешевление, уменьшение величины припусков, развитие электрофизических, электрохимических и других методов обработки, относительный объем механической обработки за последние годы уменьшается. Механическая обработка является наиболее мобильной, гибкой и экономически целесообразной. Она ведется в настоящее время в основном на дорогом автоматизированном оборудовании в комплексах с микропроцессорным управлением. Стоимость одного станкочаса работы

такого оборудования очень велика. Поэтому разработка рациональных технологических процессов изготовления деталей на таком оборудовании, выбор инструментальных материалов, конструкции инструментов и режимов резания требует особого подхода. Изготовление деталей резанием – один из самых старых технологических процессов, который применяется для окончательной обработки литых и кованных заготовок, а также заготовок, получаемых из проката. Большое многообразие обрабатываемых материалов и видов заготовок, методов механической обработки, инструментальных материалов и конструкций инструментов, их геометрических параметров, смазывающих и охлаждающих технологических сред, широкие диапазоны изменения режимов резания обуславливают неограниченное количество вариантов обработки». [14]

В данном разделе спроектирован фасонный резец для 015 токарной операции техпроцесса изготовления червячного колеса. Чертеж спроектированного резца представлен в графической части работы.

5 Безопасность и экологичность технического объекта

В данном разделе проводится оценка экологичности и безопасности технологического процесса изготовления детали «червячное колесо». 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 «червячное колесо» 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 SAMAT-400XC с ЧПУ	СЧ25 ГОСТ 1412-85 СОЖ - Амтол

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 «червячное колесо». 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 SAMAT-400XC 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 «червячное колесо». 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; 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 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 SAMAT-400XC 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 «червячное колесо» 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 диэлектрические	Автоматические оповещатели

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

«Наименование технологического процесса, используемого оборудования в составе технического объекта» [17]	«Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий» [17]	«Предъявляемые нормативные требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты» [17]
1	2	3
Технологический процесс изготовления детали «червячное колесо»	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 «червячное колесо». 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 «червячное колесо»	Станок токарный SAMAT-400XC 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 «червячное колесо»
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

В ходе выполнения работы нами проанализирована безопасность и экологичность внесенных изменений в технологический процесс изготовления детали «червячное колесо».

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, разработаны 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 «червячное колесо». Эти изменения касаются токарной операции. На этой операции 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 7.

Как видно из рисунка 7, все параметры имеют тенденцию к снижению, то есть проектируемый вариант предполагает снижение технологической себестоимости изготовления детали «червячное колесо» на 2,41 руб., что составит 2,80 %.

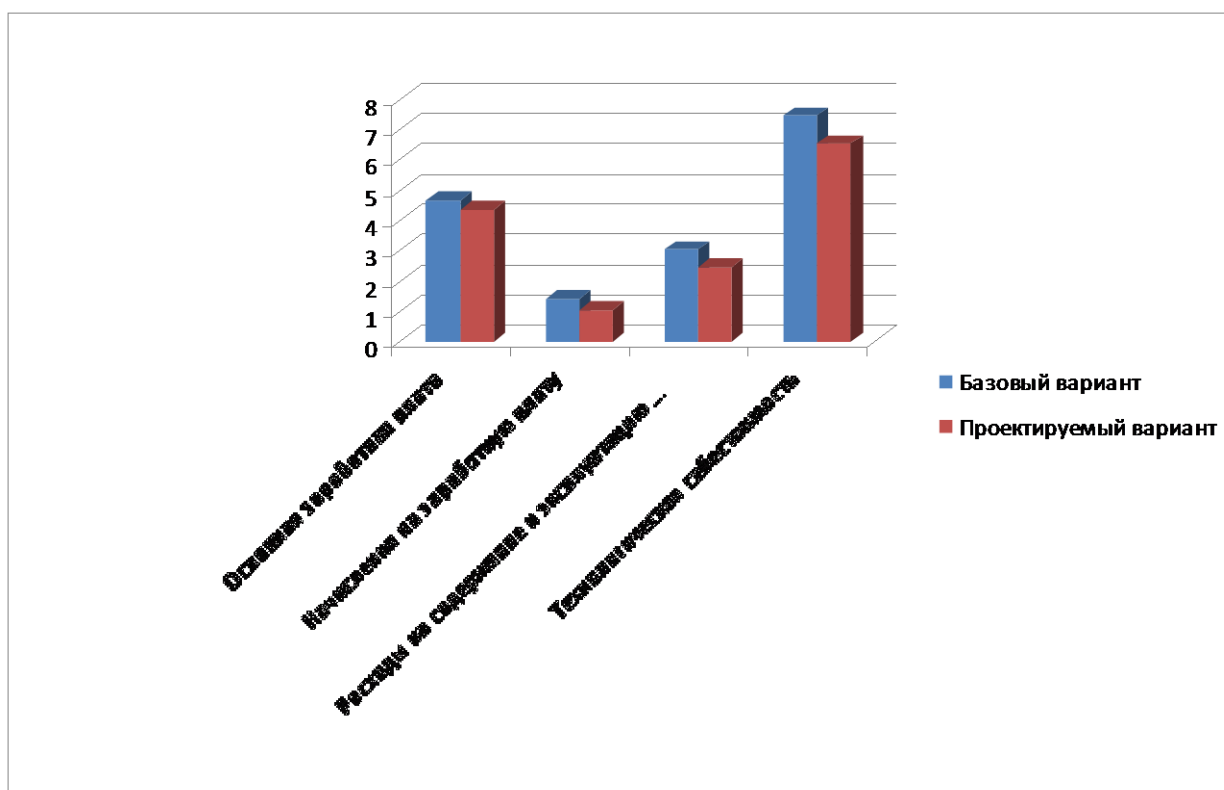


Рисунок 7 – Сравнительная характеристика параметров технологической себестоимости по вариантам, руб.

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 86,12 рублей, а для проектируемого – 83,71 рублей. По полученным значениям можно сделать вывод о том, что полная себестоимость в проектируемом варианте меньше, чем в базовом. Эта разница составляет 2,80% или 2,41 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 18991,91 рублей.

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

«червячное колесо» 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 27406,98 рублей. На рисунке 8 представлена структура капитальных вложений в долевом соотношении.

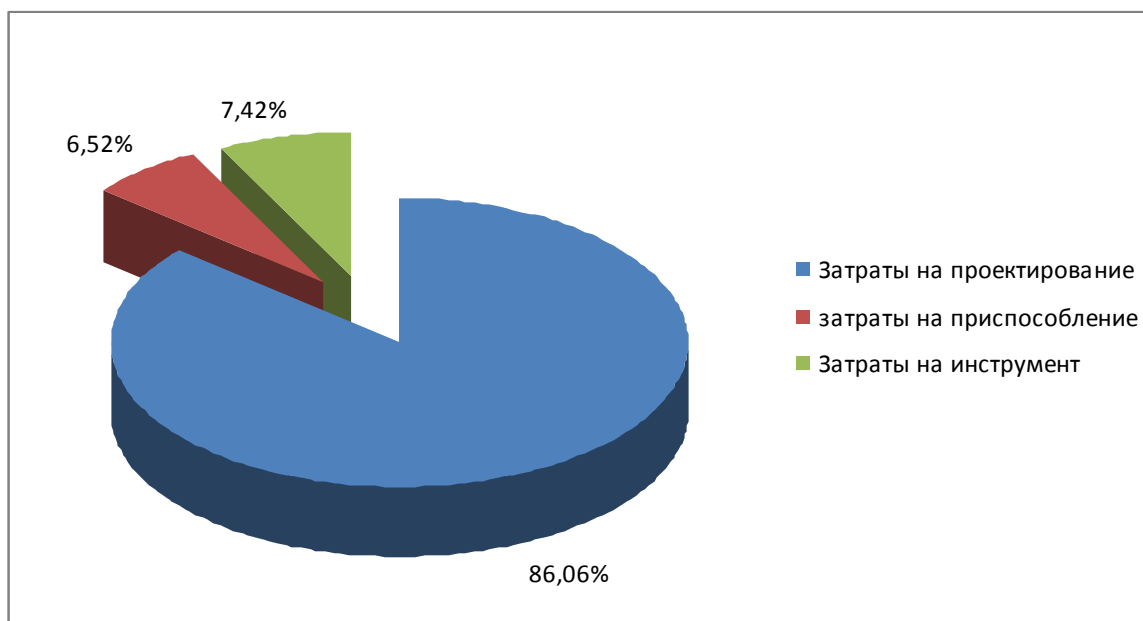


Рисунок 8 – Структура капитальных вложений в долях к общей величине

Анализируя структуру параметров инвестиций, представленную на рисунке 8, видно, что затраты на проектирование составляют большую долю в общей величине капитальных вложений, их величина равна 86,06 %.

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	2
Общий дисконтируемый доход, руб.	18831,23
Интегральный экономический эффект, руб.	1711,97
Индекс доходности, руб. / руб.	1,12

Анализируя, представленные в таблице 12, данные можно сделать вывод о том, что проект является эффективным, так как интегральный экономический эффект является положительной величиной и составляет 1711,97 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 0,12 рублей, что может обеспечить рентабельность в размере 12 %.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы нами спроектирован технологический процесс изготовления червячного зубчатого колеса редуктора.

В ходе проектирования нами были проанализированы исходные данные, где обозначено служебное назначение детали и условия ее работы, проведена классификация поверхностей и определены исполнительные поверхности, основные и вспомогательные конструкторские базы. Также проанализирован материал детали. Методом экономического сравнения выбран способ получения заготовки – литьё в кокиль. Исходя из годовой программы выпуска деталей и массы червячного колеса, 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 015 токарной черновой операции разработана конструкция автоматизированного патрона. Внедрение этого приспособления взамен универсального приспособления из базового варианта дает сокращение вспомогательного времени операции, затрачиваемого на установку и снятие заготовки на станке.

Для этой же 015 операции разработана конструкция фасонного резца для обработки сразу нескольких поверхностей. Фасонный резец проектируется заново при необходимости обработки нескольких поверхностей одновременно. Это снижает основное время операции.

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

Список используемых источников

1. Жуков В.А. Детали машин и основы конструирования : основы расчета и проектирование соединений и передач : учеб. пособие / В.А.Жуков. – 2-е изд. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 416 с.
2. Воробьева Г.А. Конструкционные стали и сплавы [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г. А. Воробьева [и др.]. - Москва : ИНФРА-М, 2016. - 440 с. - Библиогр.: с. 436. - ISBN 978-5-16-105096-5.
3. ГОСТ 1412-85. Чугун. Марки. Технические условия. Методы анализа. – 5 с.
4. Клепиков В.В. Основы технологии машиностроения [Электронный ресурс] : учебник / В. В. Клепиков [и др.]. - Москва : ИНФРА-М, 2017. - 295 с. : ил. - (Высшее образование. Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-011774-4.
5. Маталин А.А. Технология машиностроения [Электронный ресурс] : учебник / А. А. Маталин. - Изд. 4-е, стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2016. - 512 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-0771-2.
6. ГОСТ 26645-85. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку. –55 с.
7. 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.
8. Режимы резания металлов: Справочник/ Ю.В.Барановский, Л.А.Брахман, А.И. Гадалевич и др. – М. : НИИТавтопром, 1995. – 456 с.
9. ГОСТ 1855-55. Отливки из серого чугуна. Допускаемые отклонения по размерам и весу и припуски на механическую обработку. – 7 с.
10. 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.

11. 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.

12. 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.

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. Зубарев Ю.М. Основы резания материалов и режущий инструмент : учебник / Ю.М. Зубарев, Р.Н. Битюков. Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 228 с.

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

16. Аверченков В.И. Автоматизация выбора режущего инструмента для станков с ЧПУ : монография [электронный ресурс] / В.И. Аверченков, А.В. Аверченков, М.В. Терехов, Е.Ю. Кукло. – 2-е изд., стереотип. – М. : ФЛИНТА, 2011. – 151 с.

17. Горина Л. Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта» [Электронный ресурс]: 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.

21. ГОСТ Р 7.0.11-2011. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. – 17 с.

Продолжение приложения А

ГОСТ 3.118-92										Форм. 1		
Дубл.												
Взам.												
Лист												
												Листов 1 / Лист
Разработ	Сурков											
Проверил	Лозинко											
Исполн.												
Наименование операции	Кафедра ОТМП											
Точерная чистота с ЧПУ	Материал	Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры	МВ	КОИД					
Обработка инструмента ЧПУ	СЧ 25 ГОСТ 14.12-79	166	0,6		φ88x48	0,98	1					
Точерный с ЧПУ SAMAT-400XS	Обозначение программы	Тн	Тб	Тпз	Тшп	СОЖ						
	—	0,66	0,38	10	104	5% Укринол						
P	Пн	Пшп В	Л	Т	Т	С	п	н	у			
01					ММ	ММ/ОД	ОД/МИН	М/МИН				
02	1. Установить и снять заготовку											
03	396110.XXXX Патрон трехшлицевой; XXXXX.XXXX Упор откидной.											
04	Точить поверхность 17, выдерживая размер 48,3±0,31; выполнить фаску 1x45°;											
05	точить поверхность 15, выдерживая размер φ32 ^{+0,025} _{-0,037} ; поверхность размер 22,1 _{-0,21} ;											
06	выполнить фаску 0,5x45°; точить поверхность 11, выдерживая размер 18,3±0,215;											
07	точить поверхность 10, выдерживая размер 15 ±0,30; точить поверхность 9, выдерживая размеры φ88 _{-0,087} , R10,1 ^{+0,43} ;											
08												
09		1	85	100	0,28	1	0,5	315	84			
10	392104.XXXX Резец контурный правый с пластиной ВК6; 392104.XXXX Резец фасонный Р6М5;											
11	393111.XXXX ШЦ-И-350-0,1; 393120.XXXX(2) Калибр-скоба.											
12												
	OK											

