

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»
(наименование)

15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных
производств»
(код и наименование направления подготовки / специальности)

Проектирование технологических процессов
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Технологический процесс изготовления вала-шестерни цилиндрического
трёхступенчатого редуктора ВК – 490

Обучающийся	<u>Е.В. Киселев</u> (Инициалы Фамилия)	<u>_____</u> (личная подпись)
Руководитель	<u>к.т.н., доцент Д.Ю. Воронов</u> (ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)	<u>_____</u>
Консультанты	<u>к.э.н., доцент О.М. Сярдова</u> (ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)	<u>_____</u>
	<u>к.т.н., доцент А.Н. Москалюк</u> (ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)	<u>_____</u>

Тольятти 2022

Аннотация

Технологический процесс изготовления вала-шестерни цилиндрического трёхступенчатого редуктора ВК – 490. Бакалаврская работа. Тольятти 2022 г.

Выпускная квалификационная работа представлена в объеме 77-ми страниц пояснительной записки, 23-х таблиц, 7-ми иллюстраций и 4-х приложений, а также 2 листа формата А1, 3 чертежа формата А3 и 5 формата А2, и включает в себя: введение; шесть разделов; заключение; список использованных источников.

Данная работа по разработке технологического процесса изготовления детали «вал шестерня» включает в себя описание детали, качественный и количественный анализ детали на технологичность.

В выпускной квалификационной работе:

- проведен анализ использованных материалов, где рассчитано аналитическим методом, и доказана правильность выбора заготовки;
- разработан технологический процесс, включающий выбор схем базирования;
- рассчитано и сконструировано специальное станочное приспособление, и режущий инструмент;
- проведён расчет показателей экономической эффективности от предложенного технологического процесса;
- разработан и оформлен комплект технологической документации.

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ исходных данных.....	6
1.1 Анализ служебного назначения и условий работы детали.....	6
1.2 Анализ материала детали.....	7
1.3 Систематизация поверхностей детали.....	8
1.4 Анализ технологичности конструкции детали.....	9
1.5 Формулировка задач работы.....	12
2 Технологическая часть.....	13
2.1 Выбор стратегии разработки техпроцесса.....	13
2.2 Выбор метода получения заготовки.....	13
2.3 Выбор методов обработки поверхностей.....	17
2.4 Определение припусков и проектирование заготовки.....	18
2.5 Разработка технологического маршрута и плана изготовления...	25
2.5.1 Разработка технологического маршрута.....	26
2.5.2 План изготовления детали.....	27
2.5.3 Разработка схем базирования.....	27
2.6 Выбор средств технологического оснащения.....	28
2.6.1 Выбор оборудования.....	28
2.6.2 Выбор приспособлений.....	29
2.6.3 Выбор режущего инструмента.....	30
2.6.4 Выбор средств контроля.....	31
2.7 Проектирование технологических операций.....	32
2.7.1 Расчет режимов резания.....	34
2.7.2 Нормирование технологического процесса.....	35
3 Проектирование станочного приспособления.....	38
4 Проектирование режущего инструмента.....	45
5 Безопасность и экологичность технического объекта.....	57

6 Экономическая эффективность работы.....	68
Заключение.....	75
Список используемых источников.....	76
Приложение А Маршрутная карта технологического процесса.....	78
Приложение Б Операционная карта	84
Приложение В Карта эскизов.....	88
Приложение Г Спецификация к чертежу станочного приспособления..	92

Введение

Нефтегазовая промышленность является одной из ключевых в нашей стране, и к ней предъявляются особые требования. Работа имеющихся нефтяных и газовых скважин, а также внедрение новых, должны осуществляться в круглосуточном режиме.

Наращивание объёмов добычи осуществляется как за счёт внедрения новых технологий, так и за счёт увеличения фонда скважин. При этом разведка и бурение новых скважин в значительной степени осуществляется в отдалённых районах.

В таких условиях к качеству и ремонтпригодности оборудования предъявляются высокие требования.

Мобильные буровые установки широко используются в нефтяной отрасли для бурения нефтяных скважин, в том числе в труднодоступных местах. Они должны сочетать в себе такие качества, как: производительность; надёжность; ремонтпригодность; доступность запчастей.

Рассматриваемая деталь «вал-шестерня» является одной из частей цилиндрического трехступенчатого редуктора ВК – 490. Редуктор ВК – 490 обеспечивает работу вспомогательных грузоподъёмных механизмов мобильной буровой установки. Эта деталь является одной из самых ответственных, так как через неё передается весь крутящий момент. В связи с этим технология изготовления детали «вал-шестерня» должна обеспечить высокие эксплуатационные характеристики при минимальных затратах на изготовление.

Исходя из этого, основной целью выпускной квалификационной работы является разработка технологического процесса изготовления вала-шестерни цилиндрического трёхступенчатого редуктора ВК – 490 с наименьшими затратами таким образом, чтобы получать детали заданного качества в заданном количестве.

1 Анализ исходных данных

1.1 Анализ служебного назначения и условий работы детали

Деталь «вал-шестерня» входит в состав цилиндрического трехступенчатого редуктора ВК – 490. Эскиз редуктора ВК – 490 в разрезе представлен на рисунке 1.

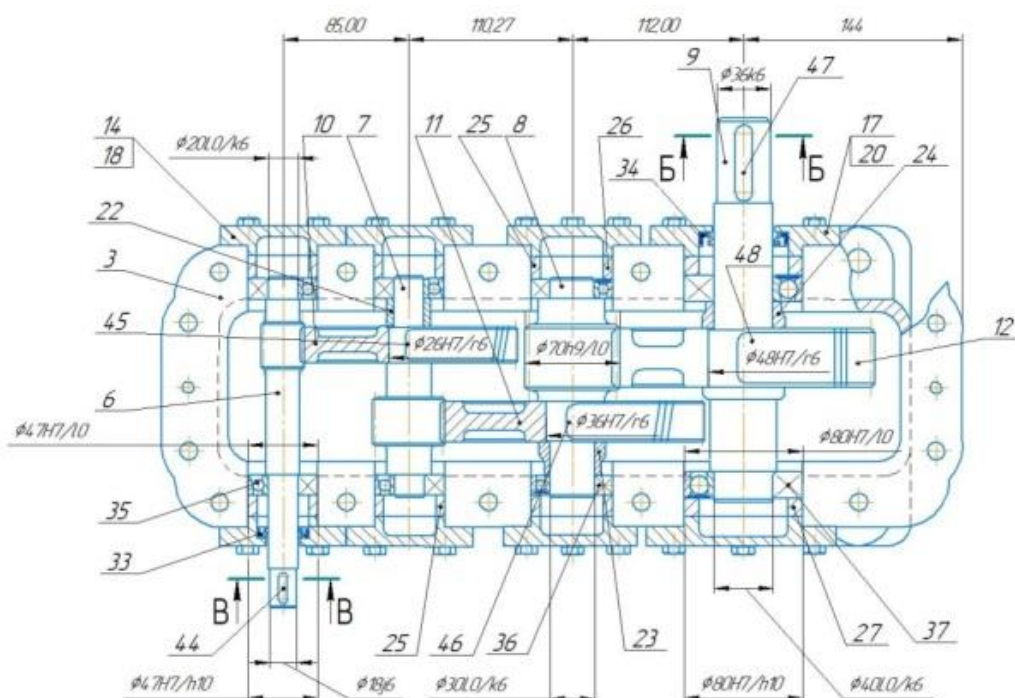


Рисунок 1 – Эскиз редуктора ВК – 490 в разрезе

Данная деталь «вал-шестерня» служит для установки сопрягаемых деталей (зубчатое колесо, шпонка, подшипники), а также для передачи крутящего момента. Вал-шестерня устанавливается в корпусе редуктора с помощью двух подшипников.

В процессе работы рассматриваемая деталь «вал-шестерня» 8 принимает крутящий момент от зубчатого венца вала-шестерни 7 с помощью зубчатого колеса 11, шпонки 46 и шпоночного паза, а затем передает его

посредством зубчатого венца на зубчатое колесо 12 расположенного на ведомом валу 9 редуктора ВК – 490. Деталь «вал-шестерня» предназначена для передачи больших нагрузок и обеспечивает работу вспомогательных грузоподъемных механизмов мобильной буровой установки.

Условия работы вала-шестерни зависят от внешней среды, в которой эксплуатируется буровая установка. В процессе эксплуатации возможны перегрузки, повышенная вибрация, перепады температуры и воздействие жидкостей приводящих к коррозии элементов редуктора.

Исходя из этого, условия работы можно считать умеренно агрессивными.

К детали можно предъявить следующие требования:

- должна быть обеспечена устойчивость к радиальной знакопеременной сосредоточенной нагрузке;
- должна быть обеспечена устойчивость к осевой нагрузке и крутящего момента;
- зубья зубчатого венца должны быть устойчивы к изгибающему усилию, контактного давления и силам трения.

1.2 Анализ материала детали

Для изготовления вала-шестерни выбираем относительно дешевую легированную сталь 40Х. Термическая обработка вала-шестерни – нормализация, твердость НВ 290-320 с последующей обработкой поверхности зубьев на ТВЧ до HRC 48...53.

Ниже приведены данные химического состава материала детали (таблица 1) и физико-механических характеристик (таблица 2) по ГОСТ 4543-71 [6]. Зубчатые колеса с твердостью НВ 350 хорошо обрабатываются. Для лучшей приработки зубьев твердость шестерни рекомендуется назначать больше твердости зубчатого колеса.

Таблица 1 – Химический состав стали 40Х

Группа стали	Углерод	Кремний	Марганец	Хром
Хромистая	0,36-0,44	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,10

Таблица 2 – Физико-механические характеристики стали 40Х

Предел текучести σ_T , Н/мм ² (кгс/мм ²)	Временное сопротивление σ_B , Н/мм ² (кгс/мм ²)	Относительное удлинение δ_5 , %	Относительное сужение ψ , %	Ударная вязкость КСЧ, Дж/см	Размер сечения заготовок для термической обработки (диаметр круга или сторона квадрата), мм
не менее					
785 (80)	980 (100)	10	45	59 (6)	25

Твердость после закалки и отпуска составляет HRC 52-62.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что сталь «40Х» подходит для изготовления вала-шестерни.

Чертеж детали представлен в графической части выпускной квалификационной работы.

1.3 Систематизация поверхностей детали

Для систематизации поверхностей по назначению был составлен эскиз детали. Пронумерованы и определены по назначению и выполняемой функции каждой поверхности.

Эскиз детали с нумерацией поверхностей представлен на рисунке 2.

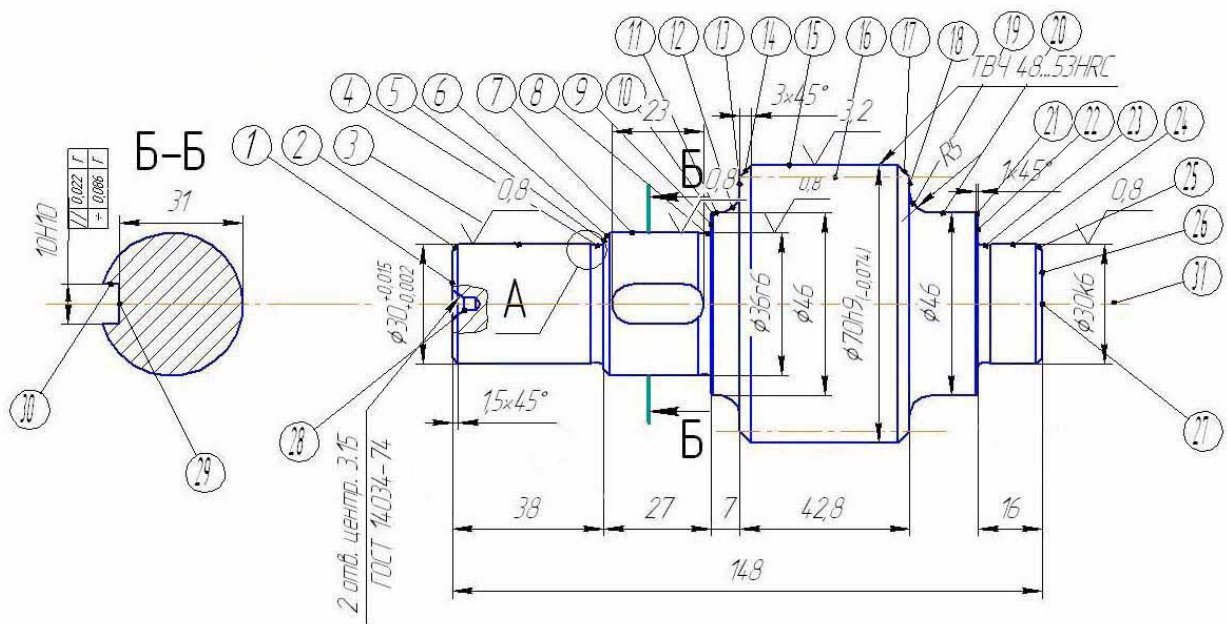


Рисунок 2 – Эскиз детали «вал-шестерня»

Данные полученные при составлении эскиза заносим в таблицу 3.

Таблица 3 – Систематизация поверхностей вала-шестерни

Вид поверхности	Номер поверхности
Основная конструкторская база	3, 5, 22, 24
Вспомогательная конструкторская база	7, 9, 25, 28
Исполнительная поверхность	16, 30
Ось вращения	31
Свободные поверхности	все оставшиеся поверхности

Таким образом, были систематизированы все поверхности детали, а также определены свободные поверхности и ось вращения.

1.4 Анализ технологичности конструкции детали

Под технологичностью конструкции детали (ТКД) понимают соответствие конструкции детали ее служебному назначению, при минимальной себестоимости и материалоемкости изделия.

Существует два метода определения технологичности конструкции детали:

- качественный,
- количественный.

Суть качественного метода заключается в том, что проводится анализ данной детали на соответствие следующим требованиям:

- элементы детали должны быть простыми и унифицированными;
- анализируется возможность применения при изготовлении высокопроизводительных методов обработки;
- элементы детали должны обеспечивать простое и надежное базирование детали с использованием принципов совмещения и постоянства баз;
- в детали не должно быть труднодоступных мест для обработки сложных поверхностей;
- при обработке детали должен быть обеспечен подвод и отвод, замена режущего инструмента;
- жесткость детали должна обеспечивать получение заданной точности поверхности.

Оценка конструкции детали на технологичность:

Суть количественного метода заключается в том, что ТКД оценивают путем расчета числовых значений определенных коэффициентов, которые характеризуют простоту и точность детали, сложность обработки для достижения заданной точности и шероховатости, а также материалоемкости.

Качественный метод определения ТКД.

- поверхность вала не позволяет вести обработку за проход, ступени обрабатываются до торцов, что значительно усложняет обработку;
- диаметральные размеры ступеней вала уменьшаются до торцов;
- шпоночный паз закрыт, но возможна замена на открытый;
- деталь не имеет поперечных канавок;
- жесткость детали:

$$l/d = 148/70 = 2,11 \leq 5,$$

а это является одним из условий технологичности;

– деталь имеет зубчатый венец с прямым зубом, что значительно упрощает обработку детали.

Количественный метод определения ТКД.

Коэффициент точности обработки:

$$k_{т.д.} = 1 - \frac{1}{A_{cp}}, \quad (1)$$

где A_{cp} – средний квалитет точности размеров.

$$A_{cp} = \frac{6 \cdot n_6 + 7 \cdot n_7 + \dots + i \cdot n_i}{n_6 + n_7 + \dots + n_i}, \quad (2)$$

где n – число размеров заданного квалитета.

$$A_{cp} = \frac{6 \cdot 3 + 9 \cdot 2 + 10 \cdot 1 + 14 \cdot 24}{3 + 9 + 10 + 14} = 10,6;$$

$$k_{т.д.} = 1 - \frac{1}{10,6} = 0,91.$$

Коэффициент точности обработки детали:

$$k_{т.д.} = 0,91 > 0,8.$$

Из этого следует, что деталь считается технологичной.

Коэффициент шероховатости поверхности детали:

$$k_{ш.д.} = \frac{1}{B_{cp}}, \quad (3)$$

где B_{cp} – средняя шероховатость поверхности детали;

$$B_{cp} = \frac{1 \cdot n_1 + 2 \cdot n_2 + \dots + m \cdot n_m}{n_1 + n_2 + \dots + n_m}, \quad (4)$$

где n – число основных поверхностей детали соответствующей шероховатости.

$$B_{\text{ср}} = \frac{0,8 \cdot 3 + 1,6 \cdot 2 + 3,2 \cdot 4 + 6,3 \cdot 21}{3 + 2 + 4 + 21} = 5,02;$$

$$k_{\text{ш.д.}} = \frac{1}{5,02} = 0,199.$$

Коэффициент шероховатости поверхности детали:

$$k_{\text{ш.д.}} = 0,199 < 0,32.$$

Вывод: По основным параметрам деталь является технологичной.

1.5 Формулировка задач работы

Исходя из поставленной выше цели, а также описания служебного назначения детали и ее технологичности, можно сформулировать задачи выпускной квалификационной работы:

- определить тип производства;
- применить оборудование соответствующее типу производства;
- определить метод получения заготовки и спроектировать её;
- спроектировать план изготовления детали;
- спроектировать более совершенное станочное приспособление;
- спроектировать фрезу червячную;
- предложить методы совершенствования червячной фрезы.

Выводы: В первом разделе был проведен детальный анализ исходных данных, а также были систематизированы все поверхности детали и сформулированы задачи выпускной квалификационной работы.

2 Технологическая часть

2.1 Выбор стратегии разработки техпроцесса

Проанализируем годовую программу выпуска и массу детали и на основе этих данных табличным способом определим тип производства:

N – годовая программа, шт.;

M_d – масса готовой детали, кг;

$N = 4000$ шт.;

$M_d = 2,12$ кг.

При массе детали от 1,0 – 2,5 кг и программе выпуска от 1000 – 50000 шт., деталь изготавливается в условиях среднесерийного производства [8, с. 24].

2.2 Выбор метода получения заготовки

Выбор метода получения заготовки является важным этапом при разработке технологии изготовления детали. От этого зависит расход материала на деталь, возможность осуществления наиболее целесообразного технологического процесса ее изготовления, трудоемкость механических операций, а значит и себестоимость изготовленной детали.

При выборе метода получения заготовок для деталей машин следует учитывать такие факторы как: назначение и конструкция детали, материал, технические требования, серийность выпуска, а также экономическую целесообразность изготовления. Оптимальным является тот метод получения заготовки, который обеспечивает технологичность изготовленной из нее детали при минимальной ее себестоимости.

Для данной детали предварительно выбираем метод получения заготовки – прокат. Окончательный вариант примем после экономического расчета себестоимости выбранного метода и сравнения его с другим.

Экономическое обоснование выбранного метода получения заготовки.
Учитывая геометрические параметры вала-шестерни, в условиях среднесерийного производства, в качестве заготовки для него может быть использована заготовка из проката или штампованная заготовка. Сравним эти два варианта получения заготовок по стоимости.

Получение заготовки из проката.

Стоимость заготовки из проката определяем по формуле:

$$C_{заг} = \frac{C}{1000} \cdot M_{заг} - (M_{заг} - M_d) \cdot \frac{C_{от}}{1000}, \quad (5)$$

где C – стоимость 1 тонны материала заготовки (сталь 45Х),

$C = 68000$ руб./т;

M_d – масса готовой детали;

$M_d = 2,12$ кг;

$C_{от}$ – стоимость 1 тонны отходов;

$C_{от} = 13000$ руб./т;

$M_{заг}$ – масса заготовки.

Массу заготовки определяем по формуле:

$$M_{заг} = M_{заг} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L \cdot \rho, \quad (6)$$

где d – диаметр проката, мм;

L – длина проката, мм;

ρ – плотность материала заготовки.

$$M_{заг} = \frac{3,14 \cdot 76^2}{4} \cdot 154 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 5,48 \text{ кг.}$$

Стоимость заготовки из проката составляет:

$$C_{\text{заг}} = \frac{68000}{1000} \cdot 5,48 - (5,48 - 2,12) \cdot \frac{13000}{1000} = 261,10 \text{ руб.}$$

Коэффициент использования материала для заготовки из проката:

$$K_{\text{им}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_{\text{заг}}}; \quad (7)$$

$$K_{\text{им}} = \frac{2,12}{5,48} = 0,38.$$

Получение заготовки на ГКМ.

Стоимость штампованной заготовки определяем по формуле:

$$C_{\text{шт}} = \left(\frac{C}{1000} \cdot M_{\text{шт}} \cdot K_m \cdot K_c \cdot K_b \cdot K_n \cdot K_n \right) - (M_{\text{шт}} - M_{\text{д}}) \cdot \frac{C_{\text{от}}}{1000}, \quad (8)$$

где C – стоимость 1 тонны заготовок, полученных штамповкой из базового материала (сталь 40Х),

$$C = 152000 \text{ руб./т};$$

$C_{\text{от}}$ – стоимость 1 тонны отходов;

$$C_{\text{от}} = 13000 \text{ руб./т};$$

K_T – коэффициент, учитывающий точность поковки.

Класс точности поковок устанавливают в зависимости от вида оборудования по ГОСТ 7505-89. Для штамповки на ГКМ класс точности Т4, Т5.

$$K_T = 1,0 \text{ для класса точности Т4.}$$

K_c – коэффициент, учитывающий сложность поковки.

Степень сложности определяем по формуле:

$$C = \frac{M_{\text{шт}}}{M_{\text{ф}}}, \quad (9)$$

где M_{ϕ} – масса простейшей геометрической фигуры, минимального объема, в которую вписывается заготовка, кг.

$$M_{\phi} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L \cdot \rho; \quad (10)$$

$$M_{\text{заг}} = \frac{3,14 \cdot 76^2}{4} \cdot 154 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 5,48 \text{ кг},$$

тогда:

$$C = \frac{2,71}{5,48} = 0,49.$$

Степень сложности – С1 [9]:

$$K_c = 0,75 \text{ для С1};$$

$$K_m = 1,0;$$

K_b – коэффициент, учитывающий массу поковки, K_b равен 0,87;

K_m – коэффициент, учитывающий материал, K_m равен 1,0;

K_{Π} – коэффициент, учитывающий серийность (программу выпуска);

$M_{\text{шт}}$ – масса штампованной заготовки:

$$M_{\text{шт}} = \frac{\pi}{4} \cdot \rho \left(\sum_I^n d_i^2 \cdot L_i \right), \quad (11)$$

где d_i - диаметр i -той ступени заготовки на длине L_i , мм.

$$M_{\text{шт}} = \frac{3,14}{4} \cdot 7,85 \cdot (36^2 \cdot 38,2 + 42^2 \cdot 27 + 51,5^2 \cdot 7 + 76^2 \cdot 48 + 51,5^2 \cdot 17,6 + 36^2 \cdot 16,2) \cdot 10^{-6} = 2,71 \text{ кг}.$$

Стоимость штампованной заготовки составляет:

$$C_{\text{шт}} = \frac{152000}{1000} \cdot 2,71 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 0,87 \cdot 1 \cdot 1 - (2,71 - 2,12) \cdot \frac{13000}{1000} = 265,15 \text{ руб.}$$

Коэффициент использования материала:

$$K_{им} = \frac{M_{д.}}{M_{заг}}; \quad (12)$$

$$K_{им} = \frac{2,12}{2,71} = 0,78.$$

Сравнивая эти два варианта, делаем вывод, что стоимость штампованной заготовки больше, чем заготовки из проката. Но разность коэффициентов использования материала указывает на целесообразность использования заготовки из штамповки.

Учитывая проведенный анализ, окончательно выбираем для данной детали в качестве заготовки штамповку.

Чертеж заготовки представлен в графической части выпускной квалификационной работы.

2.3 Выбор методов обработки поверхностей

Различные поверхности детали выполняют разные функции, поэтому требования к ним самые разные: точность, шероховатость и др. Эти требования обеспечиваются использованием различных технологических методов обработки. Создавая маршрут обработки поверхностей, необходимо исходить из того, что каждый последующий метод должен быть более точным, чем предыдущий.

Опираясь на справочники [17], [18], [19] рассмотрим методы обработки отдельных поверхностей и далее спроектируем маршрут обработки поверхностей.

Обработку остальных поверхностей выбираем аналогичным методом.

Возможные варианты маршрутов обработки отдельных поверхностей приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Возможные варианты маршрутов обработки отдельных поверхностей

Обозначение поверхности	Квалитет по чертежу	Допуск по чертежу, мкм	Шероховатость Ra по чертежу	Допуск заготовки, мкм (Ra)	Квалитет заготовки	Возможные маршруты обработки поверхностей		Квалитет после обработки	Допуск, мкм (Ra)
						номер маршрута	переход МОП		
3	6	15	0,8	2500	15	20	черновое точ. получистовое точ. черновое шлиф. чистовое шлиф.	13 10 7 6	390 100 25 15
7	6	16	0,8	2500	15	20	черновое точ. получистовое точ. черновое шлиф. чистовое шлиф.	13 10 7 6	390 100 25 16
15	9	74	3,2	2200	15	35	черновое точ. получистовое точ. чистовое точ.	13 10 9	300 120 74
20	14	620	12,5	2200	15	25	чистовое точ.	14	620
24	6	15	0,8	2500	15	25	черновое точ. получистовое точ. черновое шлиф. чистовое шлиф.	13 10 7 6	390 100 25 15

Вывод: Ориентируясь на маршрут обработки детали для конкретных поверхностей, принимаем маршруты, которые сокращают номенклатуру режущего инструмента и оборудования.

2.4 Определение припусков и проектирование заготовки

Определение припусков расчетно-аналитическим методом осуществляется для одной наиболее точной поверхности. В нашем случае для цилиндрической поверхности диаметром 30к6 ($^{+0,002}_{+0015}$).

Методы расчета припусков приведены в [14, с. 108], [10, с. 253], [18, с. 175], [3, с. 17]. При расчетно-аналитическом методе пользуются специальной расчетной картой. Пример расчета припусков с использованием расчетной карты приведен в таблице 5.

Как известно расчетный припуск при обработке наружной цилиндрической поверхности – это разница между наименьшими предельными размерами на совмещенных технологических переходах:

$$2Z_{i \min} = D_{i \min} - D_{i-1 \min}, \quad (13)$$

где $2Z_{i \min}$ – минимальный припуск по диаметру;

$D_{i \min}$ – минимальный размер на предыдущем переходе;

$D_{i-1 \min}$ – минимальный размер на переходе, выполняется.

Минимальный припуск для поверхностей вращения:

$$2Z_{i \min} = 2 \left(R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}} \right), \quad (14)$$

где $R_{Z_{i-1}}$ – высота микронеровностей [18, таблица 13, 20];

T_{i-1} – глубина дефектного слоя [18, таблица 13, 20];

ρ_{i-1} – суммарное значение пространственных отклонений [18, таблица 14];

ε_{yi} – погрешность установки на выполняемом переходе.

Таблица 5 – Расчетная карта припусков и предельных размеров по технологическим переходам при обработке поверхности диаметром 30к6 (+0.002^{+0.015})

Технологический переход	Элемент припуска, мкм			Припуск 2Z _{min} , мкм	Размер, d _p , мм	Допуск δ, мкм	Предельный размер, мм		Предельный припуск, мкм	
	R _z	T	ρ				D _{min}	D _{max}	2Z _{max}	2Z _{min}
Штамповка	160	200	690	-	32,829	2500	32,829	35,329	-	-
Точение черн.	50	50	41,4	2100	30,729	390	30,729	31,119	4210	2100
Точение предв.	40	20	34,5	282	30,447	100	30,447	30,547	572	282
Шлифовка предв.	15	15	27,6	230	30,117	25	30,117	30,142	405	330
Шлифовка чист.	5	5	13,8	115	30,002	13	30,015	30,002	127	115
								Σ	5314	2827

Суммарное значение пространственных отклонений для заготовки определяем по формуле:

$$\rho = \sqrt{\rho_{кор}^2 + \rho^2_{ц}} = \sqrt{81^2 + 673^2} \approx 690 \text{ мкм}, \quad (15)$$

где ρ_{кор} – отклонение детали от прямолинейности;

ρ_{кор} = Δ_к · L, где Δ_к = 3 мкм/мм;

L = 27 мм – длина поверхности;

ρ_{кор} = 3 · 27 = 81 мкм.

ρ_ц – смещение оси заготовки в результате погрешности центровки:

$$\rho_y = 0,25\sqrt{T^2+1} \quad (16)$$

$$T = 2,5 \text{ мм.}$$

$$\rho_y = 0,25\sqrt{2,5^2+1} = 673$$

Остаточные пространственные отклонения после очередной обработки определяем по формуле:

$$\rho = \rho_{\Sigma_{i-1}} \cdot k_y, \quad (17)$$

где k_y – коэффициент уточнения:

- для чернового точения – $k_y = 0,06$;
- для получистового точения – $k_y = 0,05$;
- для чернового шлифования – $k_y = 0,04$;
- для чистового шлифования – $k_y = 0,02$.

$$\rho_{\text{черн}} = 690 \cdot 0,06 = 41,4 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{\text{получист}} = 690 \cdot 0,05 = 34,5 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{\text{шл. черн}} = 690 \cdot 0,04 = 27,6 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{\text{шл. чист}} = 690 \cdot 0,02 = 13,8 \text{ мкм.}$$

Минимальный припуск под расточку:

$$2Z_{\min} = 2 \cdot \left(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right) \quad (18)$$

Точение черновое:

$$2Z_{\min} = 2 \cdot \left(160 + 200 + \sqrt{690^2} \right) = 2 \text{ 100 мкм.}$$

Точение получистовое:

$$2Z_{\min} = 2 \cdot \left(50 + 50 + \sqrt{41,4^2} \right) = 282 \text{ мкм.}$$

Шлифование черновое:

$$2Z_{\min} = 2 \cdot \left(40 + 40 + \sqrt{34,5^2} \right) = 230 \text{ мкм.}$$

Шлифование чистовое:

$$2Z_{\min} = 2 \cdot \left(15 + 15 + \sqrt{27,6^2} \right) = 115 \text{ мкм.}$$

Определяем расчетный размер d_p по переходам, начиная с конца:

$$d_{p4 \min} = 30,002 \text{ мм шлифовка чистовая;}$$

$$d_{p3 \min} = 30,002 + 0,115 = 30,117 \text{ мм шлифовка черновая;}$$

$$d_{p2 \min} = 30,117 + 0,230 = 30,447 \text{ мм точение предварительное;}$$

$$d_{p1 \min} = 30,447 + 0,282 = 30,729 \text{ мм точение черновое;}$$

$$d_{p \text{ заг. min}} = 30,729 + 2,100 = 32,829 \text{ мм заготовка;}$$

$$d_{p4 \max} = 30,002 + 0,013 = 30,015 \text{ мм шлифовка чистовая;}$$

$$d_{p3 \max} = 30,117 + 0,025 = 30,142 \text{ мм шлифовка черновая;}$$

$$d_{p2 \max} = 30,447 + 0,547 = 30,547 \text{ мм точение предварительное;}$$

$$d_{p1 \max} = 30,729 + 0,39 = 31,119 \text{ мм точение черновое;}$$

$$d_{p \text{ заг. max}} = 32,829 + 2,5 = 35,329 \text{ мм заготовка.}$$

Назначаем допуски для заготовки и для каждого перехода:

$$T_{\text{заг}} = 2500 \text{ мкм;}$$

$$T_1 = 390 \text{ мкм;}$$

$$T_2 = 100 \text{ мкм;}$$

$$T_3 = 25 \text{ мкм;}$$

$$T_4 = 13 \text{ мкм.}$$

Определяем предельные размеры.

Заготовка:

$$d_{\max \text{ заг}} = 35,329 \text{ мм; } d_{\min \text{ заг}} = 32,829 \text{ мм.}$$

Точение черновое:

$$d_{\max 1} = 31,119 \text{ мм; } d_{\min 1} = 30,729 \text{ мм.}$$

Точение чистовое:

$$d_{\max 2} = 30,547 \text{ мм}; d_{\min 2} = 30,447 \text{ мм}.$$

Шлифовка предварительная:

$$d_{\max 3} = 30,142 \text{ мм}; d_{\min 3} = 30,117 \text{ мм}.$$

Шлифовка чистовая:

$$d_{\max 4} = 30,015 \text{ мм}; d_{\min 4} = 30,002 \text{ мм}.$$

Определим предельные значения пропусков.

Точение черновое:

$$Z_{\max 1}^{\text{ПР}} = d_{\max \text{ заг}} - d_{\max 1} = 35,329 - 31,119 = 4210 \text{ мкм}.$$

Точение чистовое:

$$Z_{\max 1}^{\text{ПР}} = d_{\max 1} - d_{\max 2} = 31,119 - 30,547 = 572 \text{ мкм}.$$

Шлифовка предварительная:

$$Z_{\max 1}^{\text{ПР}} = d_{\max 2} - d_{\max 3} = 30,547 - 30,142 = 405 \text{ мкм}.$$

Шлифовка чистовая:

$$Z_{\max 1}^{\text{ПР}} = d_{\max 3} - d_{\max 4} = 30,142 - 30,015 = 127 \text{ мкм}.$$

Точение черновое:

$$Z_{\min 1}^{\text{ПР}} = d_{\min \text{ заг}} - d_{\min 1} = 32,829 - 30,729 = 2100 \text{ мкм}.$$

Точение чистовое:

$$Z_{\min 1}^{\text{ПР}} = d_{\min 2} - d_{\min 1} = 30,729 - 30,447 = 282 \text{ мкм}.$$

Шлифовка предварительная:

$$Z_{\min 1}^{\text{ПР}} = d_{\min 3} - d_{\min 2} = 30,447 - 30,117 = 330 \text{ мкм}.$$

Шлифовка чистовая:

$$Z_{\min 1}^{\text{ПР}} = d_{\min 3} - d_{\min 4} = 30,117 - 30,002 = 115 \text{ мкм}.$$

Правильность расчетов проверяем по формуле:

$$2Z_{\max} - 2Z_{\min} = \delta_{\text{заг}} - \delta_{\text{дет}}, \quad (19)$$

где $\delta_{\text{заг}}$ $\delta_{\text{дет}}$ – допуски заготовки и детали соответственно.

$$Z_{0\max} = Z_{\max \text{ заг}} - Z_{\max 4} = 35,329 - 30,015 = 5,314.$$

$$Z_{0\min} = Z_{\min \text{ зар}} - Z_{\min 4} = 32,829 - 30,002 = 2,827.$$

$$Z_{\max} - Z_{\min} = 5,314 - 2,827 = 2,487.$$

$$\delta_{\text{pz}} - \delta_{\text{рд}} = 2,500 - 13 = 2,487.$$

$$2,487 = 2,487.$$

Припуски рассчитаны, верно.

Рассчитанные таким образом припуски на обработку удобно изобразить графически (рисунок 3).

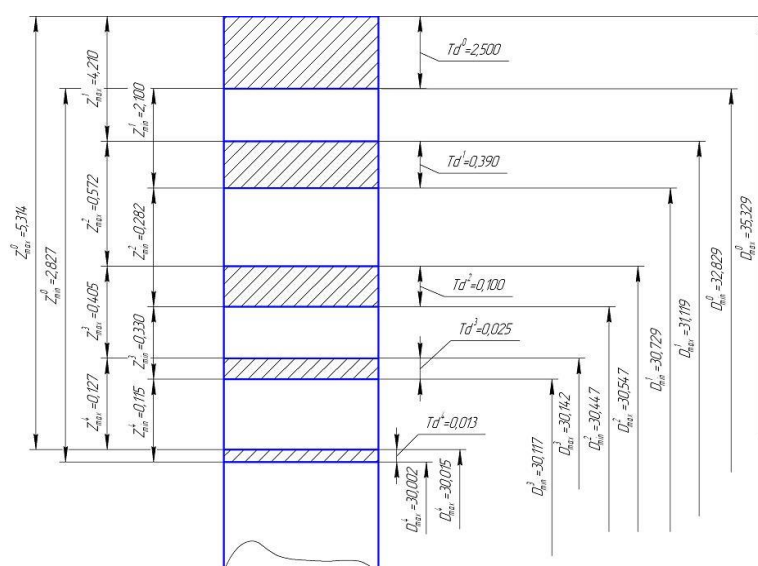


Рисунок 3 - Графическое расположение припусков и допусков на обработку

На остальных поверхностях детали, припуски определяются по справочным таблицам [1, с. 162], [2, с. 110], [12, с. 581].

Полученные результаты по всем поверхностям заносим в таблицу 6.

Таблица 6 – Припуски на поверхностях детали «вал-шестерня»

Наименование поверхности	Наименование перехода	Припуск Z_{\min} , мм
Торец	фрезерование однократное	2,5
Фаска	точение однократное	1,5
Цилиндрическая	точение черновое	3

	точение предварительное	1
	шлифовка черновая	0,3

Продолжение таблицы 6

Наименование поверхности	Наименование перехода	Припуск Z_{\min} , мм
Цилиндрическая	шлифовка чистовая	0,2
Канавка	точение однократное	1
Торец	точение однократное	2,5
Фаска	точение однократное	1,5
Цилиндрическая	точение черновое	2,5
	точение предварительное	1,5
	шлифовка черновая	0,3
	шлифовка чистовая	0,2
Канавка	точение однократное	1
Торец	точение однократное	2,5
Фаска	точение однократное	1
Цилиндрическая	точение однократное	2,75
Галтель	точение однократное	2,5
Торец	точение однократное	2,4
Фаска	точение однократное	3
Цилиндрическая	точение черновое	2
	точение получистовое	0,75
	точение чистовое	0,25
Зубцы	фрезеровать предварительно	5,25
	фрезеровать окончательно	1,75
Фаска	точение однократное	3
торец	точение однократное	2,4
Галтель	точение однократное	2,5
Цилиндрическая	точение однократное	2,75
Фаска	точение однократное	1
Торец	точение однократное	2,5
Канавка	точение однократное	1
Цилиндрическая	точение черновое	2,5
	точение предварительное	1,5
	шлифовка черновая	0,3
	шлифовка чистовая	0,2
Фаска	точение однократное	1,5
Торец	точение однократное	2,5
Центровое отверстие	сверление	1,5
Центровое отверстие	сверление	1,5
Шпоночный паз	фрезерование чистовое	5
Шпоночный паз	фрезерование чистовое	5

Чертежи спроектированной заготовки и детали представлены в графической части выпускной квалификационной работы.

2.5 Разработка технологического маршрута и плана изготовления

2.5.1 Разработка технологического маршрута

Различные поверхности детали выполняют разные функции, поэтому требования к ним самые разные: точность, шероховатость и др. Эти требования обеспечиваются использованием различных технологических методов обработки. Создавая маршрут обработки поверхностей, необходимо исходить из того, что каждый последующий метод должен быть более точным, чем предыдущий.

Маршруты обработки деталей строим на основе избранных маршрутов обработки отдельных поверхностей с учетом выбранного типа производства, схемы базирования и взяв за основу базовые маршруты.

Маршрут обработки детали «вал-шестерня» приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Маршрут обработки детали «вал-шестерня»

Метод обработки	Обрабатываемые поверхности	Номер операции	Наименование операции
Штамповка	все	005	заготовительная
Термообработка	все	010	нормализация
Фрезерование, сверление	1, 26, 27, 28	015	фрезерно-центровочная
Точение	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	020	токарная с ЧПУ
Точение	17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25	025	токарная
Фрезерование	29, 30	030	шпоночно-фрезерная
Фрезерование	16	035	зубофрезерная
ТВЧ	все	040	термическая
Шлифование	3,7	045	получистовое шлифование
Шлифование	3,7	050	чистовое шлифование
Шлифование	24	055	получистовое шлифование

Шлифование	24	060	чистовое шлифование
Острые кромки притупить	по наличию острых кромок	065	слесарная
Мойка	все	070	моечная
Контроль	все	075	контрольная

Маршрутная карта, операционная карта и карта эскизов представлены в приложениях А, Б, В соответственно.

2.5.2 План изготовления детали

План изготовления детали представлен в графической части выпускной квалификационной работы.

2.5.3 Разработка схем базирования

Под схемой базирования понимают схемы размещения отдельных точек на базах. Назначение баз является одним из самых сложных разделов проектирования технологических процессов.

Выбор схем базирования [1, с. 44], [15, с. 89], [16, с. 23] ведем в соответствии с последовательностью выполнения технологического процесса, придерживаясь принципов единства и постоянства баз. При разработке теоретических схем базирования также необходимо соблюдать ГОСТ 21495-87 «Базы и базирование в машиностроении». При выборе черновой технологической базы необходимо исходить из обеспечения равномерного снятия припуска с наиболее точных и важных для детали поверхностей.

Все схемы базирования отображены в плане изготовления детали, представленном в графической части выпускной квалификационной работы.

Расчет погрешности базирования выполняется тогда, когда нарушаются принципы единства баз, то есть на совмещенные, измерительные и технологические базы.

В нашем случае технологический процесс изготовления вала-шестерни осуществляется с использованием высокоточных станков, в том числе с ЧПУ и применением на них зажимных приспособлений, которые имеют высокую точность базирования. Поэтому расчет погрешности базирования нецелесообразен.

2.6 Выбор средств технологического оснащения

2.6.1 Выбор оборудования

В условиях среднесерийного производства наиболее эффективны станки с ЧПУ. Они объединяют в себе особенности автоматов, полуавтоматов и универсальных станков. Как и автоматы, они работают по заданным циклам, а как универсальные быстро переналаживаются.

Преимущества станков с ЧПУ:

- увеличение производительности труда 1,5-5 раз;
- исключение ручных разметочных работ;
- увеличение точности, идентичности детали;
- обработка без кондукторов, шаблонов;
- быстрая переналадка на выпуск других деталей;
- простые функции операторов.

Недостатки станков с ЧПУ:

- высокая стоимость;
- ненадежность системы программы управления по сравнению с автоматами;
- необходимость высокой квалификации рабочих ремонтной службы, инженеров – программистов и технологов.

Тип и модель металлорежущего станка выбирается в соответствии с выбранным методом обработки, содержанием операций, точностью обработки и типа производства, учитывая размер заготовки.

Для операции «020» был выбран токарный станок с ЧПУ 16К20Т1.

Выбранное оборудование приведено в таблице 8.

Таблица 8 – Металлорежущие станки для обработки детали «вал-шестерня»

Номер операции	Наименование операции	Наименование, модель станка	Мощность станка, кВт
015	фрезерно-центровочная	фрезерно-центровально-обточной станок 2Г942	36,28
020	токарная с ЧПУ	токарный станок с ЧПУ 16К20Т1	11
025	токарная	токарно-винторезный станок 16К20	11
030	шпоночно-фрезерная	консольно-фрезерный станок 67Л25	1,3
035	зубофрезерная	зубофрезерный вертикальный полуавтомат 53А20	8,95
045-050	шлифовальная	полуавтомат круглошлифовальный 3М162В-02	10
055-060	шлифовальная	полуавтомат круглошлифовальный 3М162В-02	10

При выборе металлорежущих станков использованы каталоги и справочники [4, с. 179], [12, с. 20], [19, с. 5]. При этом выбор оборудования был сделан с учётом имеющегося в наличии в цехах предприятия.

2.6.2 Выбор приспособлений

Тип и конструкторские особенности зажимных устройств и приспособлений для выполнения каждой технологической операции определяется с учетом выбранной теоретической схемы базирования детали и типа производства. Сведения о выбранных приспособлениях представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Станочные приспособления

Номер операции	Наименование приспособления	Код	ГОСТ
015	призма опорная	7030-0027	12193-66

020	патрон поводковый центр станочный А-1-2-НП	7108-0022 -	2571-71 8742-75
-----	---	----------------	--------------------

Продолжение таблицы 9

Номер операции	Наименование приспособления	Код	ГОСТ
025	3-х кулачковый самоцентрирующийся патрон ПЗК- 200Ф центр станочный А-1-2-НП	7100-0031 -	2675-80 8742-75
030	приспособление пневматическое	22.БР.ОТМП.0 2.66.000	чертёж
035	центра глухие хомут поводковый	- 7107-0031	13214-79 2578-70
045	центра глухие хомут поводковый	- 7107-0031	13214-79 2578-70
050	центра глухие хомут поводковый	- 7107-0031	13214-79 2578-70
055	центра глухие хомут поводковый	- 7107-0031	13214-79 2578-70
060	центра глухие хомут поводковый	7107-0031 -	13214-79 2578-70

При выборе приспособлений использована литература [1, с. 263], [12, с. 182].

За исключением операции «030» были выбраны стандартные станочные приспособления. Для операции «030» спроектировано специальное многоместное станочное приспособление.

2.6.3 Выбор режущего инструмента

Режущий инструмент для обработки выбирается, учитывая множество факторов: используемое станочное приспособление, метод и стадии обработки (черновая, чистовая, заключительная), тип производства, физико-химические свойства материала исходной заготовки и инструмента, необходимая стойкость инструмента [3].

Характеристики выбранного инструмента приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Режущий инструмент для обработки детали «вал-шестерня»

Номер операции	Название инструмента	Код	ГОСТ	Материал	Стандарт
015	фреза торцевая	2214-0159	9473-80	Вк8	3882-84
	сверло центральное 3,15	2317-0201	14952-75	P6M5	19265-83
020	резец канавочный, специальный	CNUM-120408 PCLNR 2525M12	19059-80 ТУ 2-035-892-82	T15K6	3882-84
025	резец токарный проходной упорный прямой	2101-0013	18879-73	T5K10	3882-84
	резец токарный проходной прямой 20x16x120	2100-0007	18878-73	T15K6	3882-84
	резец фасонный 20x16x120 для выборки галтели r = 5 на валах	2112-0055	18878-73	T5K10	3882-84
030	фреза шпоночная	2234-0363	9140-78	P6M5	19265-83
035	фреза червячная	чертёж 22.БР.ОТМП .02.67.000	9324-80	P6M5	19265-83
045	круг шлифовальный	300x20x76	2424-83	15A50CT25 К	-
050	круг шлифовальный	300x20x32	2424-83	24A30CT25 К	-
055	круг шлифовальный	300x20x76	2424-83	15A50CT25 К	-
060	круг шлифовальный	300x20x32	2424-83	24A30CT25 К	-

Выбор инструмента проводился по таблицам справочника [1, с. 233].

Для данного технологического процесса был выбран стандартный режущий инструмент.

2.6.4 Выбор средств контроля

Выбор средств контроля осуществлялся по таблицам справочника [17].

Выбранные средства контроля представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Средства контроля

Номер операции	Наименование средства контроля	Код	ГОСТ
015	штангенциркуль ШЦ 1-160-0,1-2	-	ГОСТ 166-89
020	штангенциркуль ШЦ 1-160-0,1-2	-	ГОСТ 166-89
025	штангенциркуль ШЦ 1-160-0,1-2	-	ГОСТ 166-89
	калибр-скоба	8115-0022	ГОСТ18367-73
	калибр-скоба	8115-0028	ГОСТ18367-73
	шаблон радиусный № 1, 1-6	-	ГОСТ 4126-82
030	калибр-призма шпоночная	-	ГОСТ 24109-80
035	штангензубомер ШЗ	7107-0031	ГОСТ 168-73
045	калибр-скоба	8115-0022	ГОСТ18367-73
	калибр-скоба	8115-0028	ГОСТ18367-73
050	калибр-скоба	8115-0022	ГОСТ18367-73
	калибр-скоба	8115-0028	ГОСТ18367-73
055	калибр-скоба	8115-0022	ГОСТ18367-73
	калибр-скоба	8115-0028	ГОСТ18367-73
060	калибр-скоба	8115-0022	ГОСТ18367-73
	калибр-скоба	8115-0028	ГОСТ18367-73

Для данного технологического процесса было отдано предпочтение стандартным средствам контроля.

2.7 Проектирование технологических операций

2.7.1 Расчет режимов резания

Правильное назначение режимов резания существенно влияет на производительность и качество обработки. При этом должны учитываться следующие факторы технологической системы резки:

- вид, размер заготовки и состояние поверхностей;

- механические свойства материала заготовки и режущего инструмента;
- технологические возможности технологического оборудования.

Режимы резки можно назначить двумя способами: аналитическим расчетом и табличным. В обоих случаях с корректировкой по паспортным данным технологического оборудования [9].

Переход 1 черновое точение поверхности в размер $31,5h10_{(-0,39)}$.

Выбор режущего инструмента.

Резец токарный.

Оправка PCLNR2525M12.

ТУ 2-035-892-82.

Режущая пластина CNUM-120408.

ГОСТ 19059-80 Т5К10 для чернового точения.

Определение глубины резания:

$$t = \frac{D-d}{2} \text{ мм}; \quad (20)$$

$$t = \frac{35 - 31,5}{2} = 1,75 \text{ мм.}$$

Назначение подачи:

Таблица 11...16 [1, с. 266] или карта Т-2 [2, с. 23..25]; учесть поправочный коэффициент.

$$S = 0,6 \text{ мм/об.}$$

Корректировка подачи по паспорту станка [6, с. 421].

$$S = 0,6 \text{ мм/об.}$$

Назначение периода стойкости резца. Карта Т-3 [6, с. 26].

Для резцов из твердого сплава устойчивость «Т» равна 60 мин.

Определение скорости резания:

$$V_p = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S_d^y} \cdot K_v \text{ м/мин.} \quad (21)$$

Коэффициент C_v равен 420 и показатели степени:

$x = 0,15$; $y = 0,2$; $m = 0,2$. Таблица 17 [1, с. 269..270].

Поправочный коэффициент:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \quad (22)$$

K_{mv} – Таблицы 1-4 [1, с. 261..263];

$K_{nv} = 0,8$ Таблица 5 [1, с. 263];

$K_{uv} = 1,0$ таблица 6 [1, с. 263].

Определение частоты вращения шпинделя:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \text{ об/мин}^{-1} \quad (23)$$

$$n = (1000 \cdot 126) / (3,14 \cdot 31,5) = 1273.$$

Корректировка по паспорту станка [6, с. 421]:

$$n = 1000 \text{ об/мин.}$$

Определение действительной скорости резания:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n_d}{1000} \text{ м/мин.};$$

$$V_d = (3,14 \cdot 31,5 \cdot 1000) / 1000 = 99 \text{ м/мин.}$$

Определение силы резания, Н:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_d^y \cdot V^n \cdot K_p \quad (24)$$

Значение коэффициента C_p равно 300 и показатели степени:

$x = 1$; $y = 0,75$; $n = -0,15$ таблица 22 [1, с. 273..274]:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,51^1 \cdot 0,6^{0,75} \cdot 115^{-0,15} \cdot 0,93 = 1394.$$

Поправочные коэффициенты:

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\square p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} \quad (25)$$

$$K_p = 0,93;$$

K_{mp} – для стали. Таблица 9 [1, с. 264];

$$K_{\phi p} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n; n=0,75;$$

$$K_{vp} = 0,89;$$

$$K_{\lambda p} = 1;$$

$$K_{rp} = 0,93.$$

Мощность резки:

$$N = \frac{P_z V}{1020 \cdot 60}; \quad (26)$$

$$N = \frac{1394 \cdot 110}{60 \cdot 1020} = 2,5 \text{ кВт.}$$

Определение основного машинного времени.

Основное технологическое (машинное) время, в течение которого происходит снятие стружки без непосредственного участия рабочего, рассчитывается по формуле:

$$T_0 = \frac{L}{S \cdot n} \cdot i \text{ мин.}, \quad (27)$$

где $L = 35,5$ мм – путь инструмента в направлении рабочей подачи, мм;

$i = 1$ – количество проходов.

$$T_0 = \frac{35,5}{0,6 \cdot 1000} \cdot 1 = 0,06.$$

Таким образом, определено основное машинное время.

2.7.2 Нормирование технологического процесса

Нормирование технологического процесса осуществляют для каждой операции, методом технического расчета, при котором продолжительность операций устанавливают на основе анализа последовательности и содержания действий рабочего и станка. Нормирование технологического процесса осуществляют после расчетов режимов резания.

Нормы времени на выполнение операций определяются расчетным методом.

Норма штучного времени, мин:

$$t_{шт} = t_0 + t_d + t_{m.o.} + t_{орг.обсл.} \quad (28)$$

где t_0 – основное время обработки;

t_d – вспомогательное время (установка – снятие заготовки, запуск – остановка станка, контроль детали, уборка станка);

$t_{т.о}$ – соответственно время технического и организационного обслуживания;

$t_{орг.обсл}$ – время на организацию обслуживания.

Оперативное время:

$$t_{оп} = t_0 + t_e \quad (29)$$

Норма времени на техническое обслуживание оборудования:

$$t_{m.o.} = 0,1 \cdot t_0 \quad (30)$$

Норма времени на организацию обслуживания, мин:

$$t_{op.ob} = 0,07 \cdot t_{on} \quad (31)$$

Определяем нормы времени для всех операций и заносим их в таблицу 12.

Штучно – калькуляционное время на изготовление одной детали состоит из штучного $t_{шт}$ и подготовительно-заключительного $t_{п-з}$ времени на одну деталь:

$$t_{шт-к} = t_{шт} + t_{п-з} \text{ мин.} \quad (32)$$

Полученные результаты по всем операциям также заносим в таблицу 12.

Таблица 12 – Нормы времени на обработку детали «вал шестерня» (мин.)

Номер операции	t_o	t_d	$t_{го}$	$t_{op.ob}$	$t_{шт}$	$t_{п-з}$	$t_{шт-к}$
015	0,37	0,24	0,06	0,04	0,71	16,5	1,75
020	1,47	1,28	0,28	0,19	3,22	33	3,88
025	1,42	0,22	0,14	0,17	3	31,4	34,4
030	4,64	0,16	0,48	0,34	5,62	23	6,08
035	2,33	0,7	0,3	0,21	3,54	33	4,2
045	0,42	0,5	0,09	0,06	1,07	15	1,37
050	0,44	0,5	0,09	0,07	1,1	15	1,4
055	0,45	0,5	0,09	0,07	1,11	15	1,41
060	0,49	0,5	0,1	0,07	1,16	15	1,46

Выводы: В технологической части выпускной квалификационной работы удалось спроектировать оптимальный технологический процесс для данного предприятия. Были выбраны средства технологического оснащения, с учётом имеющегося на предприятии. Также были определены режимы резания и нормы времени на обработку детали «вал шестерня».

3 Проектирование станочного приспособления

Приспособление спроектировано для фрезерования шпоночного паз вала-шестерни шириной 8 мм и длиной 23 мм на консольно-фрезерном станке модели 67Л25.

Описание конструкции приспособления.

К плите корпуса 1 посредством шпилек 2 крепится цилиндр 3, в котором перемещается поршень 4 со штоком 5. Две детали типа «вал-шестерня» устанавливаются на призмах 6. Воздух подается к пневмоцилиндру через отверстия 7 и 8. Поршень вместе со штоком под воздействием давления воздуха спускается вниз и планка 9 прижимает детали. Для раскрепления деталей поршень вместе со штоком под действием давления воздуха поднимается, и планка разжимает детали.

Содержание технологического перехода: фрезеровать шпоночный паз, выдерживая размеры (рисунок 4).

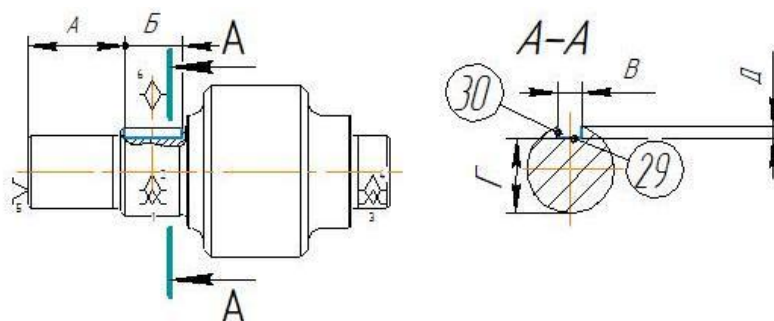


Рисунок 4 – Операционный эскиз

Принцип действия приспособления.

При обработке каждая деталь устанавливается в приспособление цилиндрическими поверхностями диаметром $30k6$ и диаметром $36r6$ на призмы 6 (двойная направляющая база лишает заготовку 4 степеней свободы) и поджимается планкой 9. Упор вала-шестерни в направлении оси

осуществляется с помощью упоров для регулирования (упорная база лишает заготовку одной степени свободы). Дополнительный упор (1 степень свободы). Таким образом, приспособление обеспечивает неполное базирование детали (5 степеней свободы). Поскольку положение шпоночного паза нефиксированное, то такая схема базирования допустима.

Зажим детали происходит с помощью пневмокамеры двойного действия. Для этого сжатый воздух подается в штоковую полость, поршень с прикрепленным к нему опорной гайкой и штоком опускается вниз, зажимает при этом деталь планкой. Деталь обрабатывается. Для раскрепления детали сжатый воздух подается в бесштоковую полость, поршень поднимается кверху, поднимается шток вместе с планкой.

Спроектированное приспособление (рисунок 5) является многоместным отвечающим условиям серийного производства.

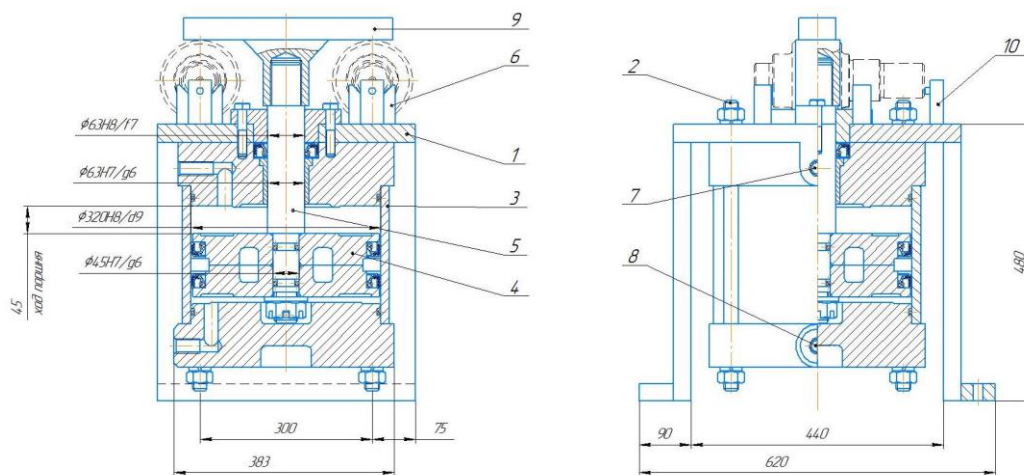


Рисунок 5 – Эскиз спроектированного приспособления

Расчет необходимой силы зажима.

При обработке на заготовку действует сила резания (P_z) 330 Н.

Максимальный крутящий момент, стремящийся повернуть заготовку, определяется по формуле:

$$M_{kp} = \frac{P_z \cdot D_{фр}}{2 \cdot 1000}, \quad (33)$$

где $D_{фр} = 8$ мм – диаметр фрезы.

$$M_{kp} = \frac{330 \cdot 8}{2 \cdot 1000} = 1,32 \text{ Нм.}$$

Определяем необходимое усилие зажима детали в приспособлении по формуле:

$$W = \frac{2k_z \cdot M_{kp}}{(f_1 + f_2) \cdot D_d \cdot \sin \alpha}, \quad (34)$$

где k_z – коэффициент запаса сил закрепления;

$f_1 = 0,16$ – коэффициент контакта с заготовкой;

$f_2 = 0,16$ – коэффициент трения контакта с зажимом;

D_d – диаметр установочной поверхности;

$\alpha = 90^0$ – угол призм.

$$k_z = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6, \quad (35)$$

где $k_0 = 1,5$ – гарантированный коэффициент запаса;

$k_1 = 1,1$ – коэффициент, зависящий от состояния базовых поверхностей;

$k_2 = 1,45$ – коэффициент, учитывающий затупление инструментов;

$k_3 = 1,1$ – коэффициент, учитывающий ударную нагрузку на инструмент;

$k_4 = 1,25$ – коэффициент, характеризующий стабильность сил привода;

$k_5 = 1,1$ – коэффициент, учитывающий удобство управления механизмами;

$k_6 = 1,25$ – коэффициент, учитывающий определенность расположения опорных точек.

$$k_z = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1,45 \cdot 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,1 \cdot 1,25 = 4,52.$$

Таким образом, получаем:

$$W = \frac{2 \cdot 4,52 \cdot 1,32}{(0,16 + 0,16) \cdot 0,05 \cdot \sin 90^\circ} = 745,8 \text{ Н.}$$

При одновременной обработке двух деталей суммарная зажимная сила будет складываться:

$$W_c = 2 \cdot W; \quad (36)$$

$$W_c = 2 \cdot 745,8 = 1491,6 \text{ Н.}$$

Расчет зажимного механизма.

В спроектированном приспособлении зажим детали осуществляется пневмокамерой, главным параметром которой является ее диаметр. Усилие на штоке при подаче сжатого воздуха в штоковую полость определяется по формуле:

$$Q = 0,75 \cdot \pi / 16 \cdot (D^2 - d) \cdot \rho, \quad (37)$$

где D – диаметр пневмокамеры, мм;

$d = 50$ мм – диаметр штока;

$\rho = 0,4$ Мпа – давление сжатого воздуха.

Сравнивая усилие на штоке и нужное усилие зажима W равно Q , находим диаметр пневмокамеры:

$$W = \sqrt{\frac{Q \cdot 16}{0,75 \cdot \pi \cdot 2,09 \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{1491,6 \cdot 16}{0,75 \cdot 3,14 \cdot 2,09 \cdot 0,4 \cdot 10^6}} = 0,06 \text{ м.}$$

С учетом номенклатуры обрабатываемых деталей, в которых диаметр закрепляемых поверхностей больше, чем у заданной детали, принимаем диаметр пневмокамеры (D) равен 350 мм.

Фактическое усилие зажима равно:

$$W = \frac{0,75 \cdot 3,14}{16} [350^2 - 50^2] \cdot 0,4 \cdot 10^6 = 7056 \text{ Н.}$$

Фактическое усилие зажима должно быть больше чем нужно:

$$W_{\phi} > W = 7056 > 1491,6.$$

Таким образом, спроектированное приспособление обеспечивает надежный зажим обрабатываемой детали.

Расчет на прочность одного слабого звена.

Слабыми звеньями считаются элементы, которые подвергаются различным видам деформаций, в результате которых элементы могут деформироваться или могут быть разрушены.

В данном случае слабым звеном может считаться прижимная планка. Она претерпевает деформацию изгиба.

Выполняя расчет данного слабого звена на прочность, необходимо учесть, что рабочие или расчетные напряжения должны быть меньше или равны допустимым.

Условие прочности при сгибании имеет вид:

$$\sigma_{max} < [\sigma], \quad (38)$$

где $[\sigma]$ – допустимое напряжение;

σ_{max} – напряжение в опасном сечении.

Величина σ_{max} вычисляется по формуле:

$$\sigma_{max} = M_{изг} / W_0, \quad (39)$$

где $M_{изг}$ – наибольшее значение изгибающего момента в опасном сечении;

W_0 – осевой момент сопротивления сечения при сгибании.

Изгибающий момент находится по формуле:

$$M_{изг} = W_3 \cdot l, \quad (40)$$

где W_3 – сила зажима;

l – плечо.

По формуле (40) находим:

$$M_{изг} = 745,8 \cdot 50 = 37290 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Осовой момент сопротивления сечения при изгибе определяется по формуле:

$$W_o = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (41)$$

где b – ширина сечения;

h – высота сечения.

Принимаем:

$$b = 40 \text{ мм};$$

$$h = 6 \text{ мм}.$$

По формуле (41):

$$W_o = \frac{40 \cdot 6^2}{6} = 240 \text{ мм}^3.$$

По формуле (39) находим напряжение в опасном сечении:

$$\sigma_{max} = \frac{37290}{240} = 156 \text{ мм}^2.$$

Определяем допустимые напряжения:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_o}{n}, \quad (42)$$

где $\sigma_o = 720$ МПа – опасное напряжение;

$n = 1,4$ – коэффициент.

По формуле (42) определяем:

$$[\sigma] = \frac{720}{1.4} = 514 \text{ МПа.}$$

Из условия (38) следует, что:

$$\sigma_{max} < [\sigma] = 156 < 514.$$

Из этого следует, что планка выдержит напряжение от силы развивающей пневмоцилиндром.

Вывод: Спроектированное станочное многоместное приспособление полностью соответствует техническим требованиям. Силы развивающей пневмоцилиндром достаточно для закрепления двух деталей в спроектированном приспособлении.

Чертёж спроектированного станочного приспособления представлен в графической части выпускной квалификационной работы.

Спецификация к чертежу станочного приспособления представлена в приложении Г.

4 Проектирование режущего инструмента

Спроектируем режущий инструмент для нарезания зубьев на детали «вал-шестерня».

Исходные данные:

m – модуль шестерни;

$m = 3,5$;

Z – число зубьев шестерни;

$Z = 18$.

Червячные модульные фрезы должны изготавливаться из быстрорежущих сталей согласно ГОСТ 19265-73.

Применяемый материал:

– быстрорежущая сталь Р6М5 с твердостью 63-66 HRC;

– класс точности определяем по ГОСТ 9324-80.

Шаг P_N , мм определяется по формуле:

$$P_N = \pi m, \quad (43)$$

где m – модуль, мм.

Рассчитаем шаг в нормальном сечении по формуле (43):

$$P_N = 3,14 \cdot 3,5 = 10,99 \text{ мм.}$$

Головка зуба фрезы обрабатывает ножку зуба шестерни. Поэтому высота головки зуба фрезы должна быть равна высоте ножки зуба шестерни [11].

Высота головки зуба определяется по формуле:

$$h_{ao} = h_{f1} = m \cdot 1,25, \quad (44)$$

где h_{f1} – высота ножки зуба шестерни, мм.

Рассчитаем высоту головки зуба по формуле (44):

$$h_e = 1,25m = 1,25 \cdot 3,5 = 4,375 \text{ мм.}$$

Высота ножки зуба определяется по формуле:

$$h_{fo} = h_{a1} = c_0^* \cdot m, \quad (45)$$

где h_{a1} – высота головки зуба нарезаемого колеса, мм;

c_0^* – коэффициент радиального зазора в паре фреза-заготовка, ($c_0^* = 0,25$).

Рассчитаем высоту головки зуба по формуле (45):

$$h_{fo} = 3,5 \cdot 1,25 = 4,375 \text{ мм.}$$

Полная высота зуба h , мм определяется по формуле:

$$h = h_e + h_f \quad (46)$$

Рассчитаем высоту зуба h , мм по формуле (46):

$$h = 4,375 + 4,375 = 8,75 \text{ мм.}$$

Толщина зуба на делительном диаметре определяется по формуле:

$$S_{no} = P_{no} - S_{n1}, \quad (47)$$

где S_{n1} – толщина на делительной окружности зуба изготавливаемого колеса.

Для проектирования фрез под чистовую обработку S_{n1} определяется по формуле:

$$S_{n1} = \left(\frac{\pi}{2} + 2 \cdot x_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha \right) \cdot m - j, \quad (48)$$

где x_1 – смещение исходного контура, мм ($x_1 = 0$);
 $j = 0,12$ мм – боковой зазор в передаче.

Рассчитаем S_{n1} по формуле (48):

$$S_{n1} = \left(\frac{3,14}{2} + 2 \cdot 0 \cdot \operatorname{tg}20 \right) \cdot 3,5 - 0,12 = 5,375 \text{ мм.}$$

Подставив значение S_{n1} в формуле (47) рассчитаем толщину зуба на делительном диаметре:

$$S_{no} = 10,99 - 5,375 = 5,615 \text{ мм.}$$

Толщина зуба S_b , мм, при вершине, т.е. на наружном диаметре D_e , определяется по формуле:

$$S_b = S_N - 2 \cdot h_e \cdot \operatorname{tg}\alpha_{np}, \quad (49)$$

где α_{np} - угол профиля, град.

$$\alpha_{np} = 20^\circ.$$

Рассчитаем толщину зуба S_b по формуле (49):

$$S_b = 5,615 - 2 \cdot 4,375 \cdot \operatorname{tg}20 = 2,43 \text{ мм.}$$

Радиус закругления головки зуба r_1 , мм, определяется по формуле:

$$r_1 = 0,25 \cdot m \quad (50)$$

Рассчитаем радиус закругления головки зуба r_1 , мм, определяется по формуле (50):

$$r_1 = 0,25 \cdot 3,5 = 0,875 \text{ мм} \approx 1 \text{ мм.}$$

Профиль зуба фрезы в нормальном сечении представлен на рисунке 6.

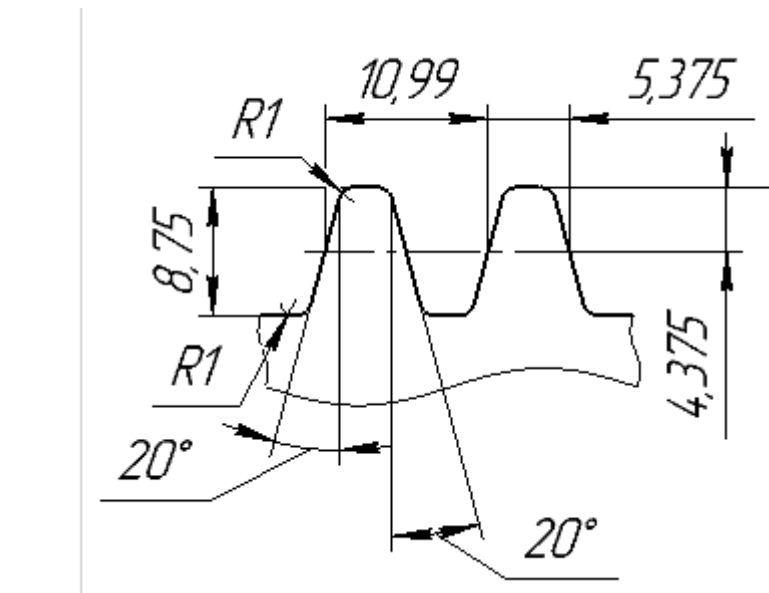


Рисунок 6 – Профиль зуба фрезы в нормальном сечении

Радиус закругления ножки зуба r_1 , мм, определяется по формуле:

$$r_1 = 0,25 \cdot m \quad (51)$$

Радиус закругления ножки зуба r_1 , мм, определяется по формуле (51):

$$r_1 = 0,25 \cdot 3,5 = 0,875 \text{ мм} \approx 1 \text{ мм}.$$

Исходя из класса точности фрезы, определяется угол при вершине γ_v [14].

Для фрез классов точности α передний угол равен: γ_v равен 0 [14].

Задний угол на вершине зубьев фрезы принимается согласно ГОСТ 9324-80. Для фрез классов точности α α_{a0} принимается равным 10-12°. Принимаем α_{a0} равным 10° [7].

Задний угол на боковой режущей кромке в сечении, перпендикулярном к ней, определяют по формуле:

$$\alpha_{\delta N} = \arctg(\operatorname{tg} \alpha_g \cdot \sin \alpha_{np}), \quad (52)$$

где $\alpha_{\text{в}}$ – задний угол при вершине:

$$\alpha_{\text{в}} = 10^\circ;$$

$\alpha_{\text{пр}}$ – угол профиля:

$$\alpha_{\text{пр}} = 20^\circ.$$

Рассчитаем задний угол на боковой режущей кромке в сечении, перпендикулярном к ней по формуле (52):

$$\alpha_{\text{6N}} = \text{arctg}(\text{tg}10 \cdot \sin20) = 3,45^\circ.$$

Диаметр посадочного отверстия определяется по эмпирической формуле:

$$d_0 = C_{d0} \cdot m^{x_{d0}} \quad (53)$$

Значения коэффициентов C_0 равно 19,4 и x_{d0} равно 0,368 для фрез стандартных конструкций модуля 1 мм и более.

Рассчитаем диаметр посадочного отверстия по формуле (53):

$$d_0 = 19,4 \cdot 3,5^{0,368} = 30,8 \text{ мм.}$$

Полученное значение посадочного диаметра округляем до стандартного числа и определяем по ГОСТ 9472-90.

Принимаем: $d = 32$ мм.

Наружный диаметр D_a , мм, фрезы определяется по формуле:

$$D_a = 2,5 \cdot d \quad (54)$$

Рассчитаем наружный диаметр D_a , мм, фрезы по формуле (54).

$$D_a = 2,5 \cdot 3,2 = 80 \text{ мм.}$$

Делительный диаметр D_d , мм, фрезы определяется по формуле:

$$D_d = D_a - 2 \cdot h_a \quad (55)$$

Рассчитаем диаметр впадин D_d , мм, фрезы по формуле (55):

$$D_d = 80 - 2 \cdot 4,375 = 71,25 \text{ мм.}$$

Диаметр впадин D_f , мм, фрезы определяется по формуле:

$$D_f = D_a - 2 \cdot h \quad (56)$$

Рассчитаем диаметр впадин D_f , мм, фрезы по формуле (56):

$$D_f = 80 - 2 \cdot 8,75 = 62,5 \text{ мм.}$$

Определим число зубьев по формуле:

$$Z_o = \frac{2 \cdot \pi \cdot \omega}{\phi}, \quad (57)$$

где ω – коэффициент равномерности зубофрезерования. Этот коэффициент назначается проектировщиком в диапазоне 1,0 - 1,3. Принимаем: $\omega = 1$.

Угол контакта фрезы с заготовкой определяется по формуле:

$$\phi = \arccos\left(\frac{D_a - 2 \cdot h}{D_a}\right), \quad (58)$$

где h_1 – полная высота зуба фрезы, мм.

Рассчитаем угол контакта фрезы с заготовкой по формуле (58):

$$\phi = \arccos\left(\frac{80 - 2 \cdot 8,75}{80}\right) = 0,674 \text{ рад.}$$

Рассчитаем число зубьев по формуле (57):

$$Z_o = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,3}{0,674} = 7,9.$$

Значение Z_0 округлим до ближайшего значения стандартного ряда по ГОСТ 9324-80. Принимаем: Z_0 равным 10.

Величина основного затылования определяется по формуле:

$$K = \frac{\pi \cdot D_a}{Z_0} \operatorname{tg} \alpha_{\beta} \quad (59)$$

Рассчитаем величину основного затылования по формуле (59):

$$K = \frac{3,14 \cdot 80}{10} \operatorname{tg} 10 = 4,4 \text{ мм.}$$

Округлим значение K до 4,5 мм для приведения значения к стандартному ряду [14].

После этого, определим фактическую величину бокового заднего угла по следующим формулам:

$$\alpha_{ao} = \operatorname{arctg} = \frac{K \cdot Z_0}{\pi \cdot D_a} \quad (60)$$

Определим величину бокового заднего угла по формуле (60):

$$\alpha_{\beta} = \operatorname{arctg} = \frac{4,5 \cdot 10}{3,14 \cdot 80} = 10^{\circ} 02' 49''.$$

$$\alpha_{\beta_{ок}} = \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \alpha_{\beta} \cdot \sin \alpha_o); \quad (61)$$

$$\alpha_{\beta_o} = \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} 10^{\circ} 02' 49'' \cdot \sin 20^{\circ}) = 3^{\circ} 7' 12''.$$

Задний угол на боковых сторонах $\alpha_{\beta_o} > 3^{\circ}$.

Принимаем K равным 4,0 мм.

Определим величину дополнительного затылования K_1 по формуле:

$$K_1 = 1,2 \cdot K; \quad (62)$$

$$K_1 = 1,5 \cdot 4,5 = 6,75 = 7,0 \text{ мм.}$$

Средний расчетный диаметр фрезы рассчитывается по формуле:

$$D_m = D_a - 2 \cdot (h_a + \sigma \cdot K) \quad (63)$$

Для фрез с двойным затылованием коэффициент σ назначается в пределах:

$$\sigma = 0,1 - 0,15 \quad (\sigma = 0,15).$$

Определим средний расчетный диаметр фрезы по формуле (63):

$$D_m = 80 - 2 \cdot (4,375 + 0,15 \cdot 4,5) = 69,9 \text{ мм.}$$

Угол подъема витков фрезы на среднем расчетном диаметре определяется по формуле:

$$\tau = \arcsin \left(\frac{m}{D_m} \right) \quad (64)$$

Рассчитаем угол подъема витков фрезы на среднем расчетном диаметре по формуле (64):

$$\tau = \arcsin \left(\frac{3,5}{69,9} \right) = 2^{\circ} 52' 12''.$$

Определим угол наклона стружечной канавки:

Для получения на обеих сторонах зубьев одинаковых передних углов, стружечные канавки делаются винтовыми [14].

$$\omega = \tau = 2^{\circ} 52' 12''.$$

Шаг профиля рассчитывается по формуле:

$$P_{oc} = \frac{P_N}{\cos \tau} \quad (65)$$

Рассчитаем значение шага профиля по оси по формуле (65):

$$P_{oc} = \frac{10,99}{\cos 2^{\circ} 52' 12''} = 11,004 \text{ мм.}$$

Шаг винтовой стружечной канавки определяется по формуле:

$$P_{кан} = \frac{\pi \cdot D_m}{tg\omega} \quad (66)$$

Рассчитаем шаг винтовой стружечной канавки по формуле (66):

$$P_{кан} = \frac{3,14 \cdot 69,9}{tg2^{\circ}52'12''} = 4378 \text{ мм.}$$

Данная фреза спроектированная на основе архимедова червяка, и имеет винтовые стружечные канавки, а это значит, что величины профильного угла для правой и левой сторон будут различными [14]. Они определяются по следующим формулам:

$$\alpha_{np} = arcctg\left(ctga - \frac{KZ}{T}\right) = arcctg\left(ctga - \frac{4,5 \cdot 10}{4378}\right) = 19^{\circ}55'48'', \quad (67)$$

$$\alpha_{лев} = arcctg\left(ctga + \frac{KZ}{T}\right) = arcctg\left(ctga + \frac{4,5 \cdot 10}{4378}\right) = 20^{\circ}5'28''. \quad (68)$$

Окружной шаг ε , град, определяется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{360}{Z} = \frac{360}{10} = 36^{\circ}. \quad (69)$$

Глубина стружечной канавки (высота зуба) червячных фрез при наличии двойного затылования определяется по формуле:

$$H_o = h_o + \frac{K+K_l}{2} + r_{fko}, \quad (70)$$

где H_o – высота зуба фрезы, мм;

r_{fko} – радиус закругления дна стружечной канавки, мм.

Радиус закругления дна стружечной канавки для фрез модуля 2-10 мм

может быть выбран по ГОСТ 9324-80. Принимаем r_{fko} равным 2,0 мм.

Рассчитаем глубину стружечной канавки по формуле (70):

$$H_0 = 8,75 + \frac{4,5 + 7,0}{2} + 2,0 = 16,5 \text{ мм.}$$

Угол профиля стружечной канавки назначается в зависимости от числа зубьев фрезы: при Z равным 10; V равен 22° (рисунок 7).

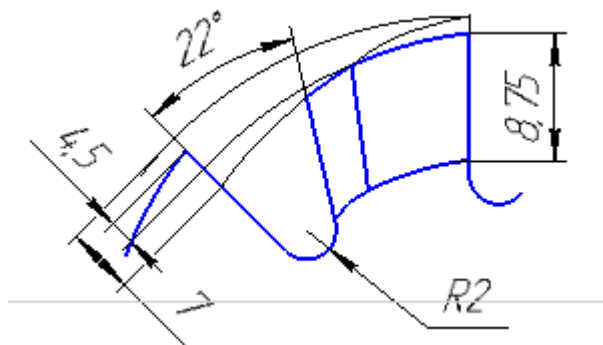


Рисунок 7 – Форма и размеры зуба фрезы

Общая длина фрезы L_ϕ , мм, определяется по формуле:

$$L_\phi = h_a \cdot \operatorname{ctg} \alpha + x \cdot P_N, \quad (71)$$

где $x = 3,5-5,5$ – коэффициент, учитывающий возможность передвижек.

Рассчитаем общую длину по формуле (71):

$$L_\phi = 4,375 \cdot \operatorname{ctg} 20 + 4,5 \cdot 10,99 = 61,5 \text{ мм.}$$

Полученное значение общей длины фрезы согласуем с ГОСТ 9324-80.

Принимаем стандартную длину фрезы L_ϕ равно 71 мм [7].

Диаметр выточки d_1 , мм, в посадочном отверстии определяется по формуле:

$$d_1 = d = 2 \text{ м} \quad (72)$$

Рассчитаем диаметр выточки d_1 , мм, в посадочном отверстии по формуле (72):

$$d_1 = 32 + 2 = 34 \text{ мм.}$$

Длина выточки l_1 , мм, в посадочном отверстии определяется по формуле:

$$l_1 = L_\phi - 2 \cdot l, \quad (73)$$

где $l = 0,25 L_\phi = 18$, мм (полученное значение l округляем до целого по математическим правилам округления).

Рассчитаем длину выточки l_1 , мм, в посадочном отверстии по формуле (73):

$$l_1 = 71 - 2 \cdot 18 = 35 \text{ мм.}$$

Длина шлифованной части зуба определяется для чистовых фрез (фрез с двойным затылованием) формуле:

$$L_{шo} = k_{ш} \cdot p_{to}, \quad (74)$$

где p_{to} – шаг зубьев фрезы в торцовом сечении на окружности диаметра D_a .

$$p_{to} = \frac{\pi \cdot D_a}{Z_o} \quad (75)$$

Рассчитаем шаг зубьев фрезы в торцовом сечении на окружности по формуле (75):

$$p_{to} = \frac{3,14 \cdot 80}{10} = 25,12.$$

$k_{ш}$ – коэффициент для расчета длины шлифованной части. Согласно

ГОСТ 9324-80, рекомендуется принимать $k_{ш} > 0,5$ для фрез модуля до 4 мм.

Принимаем $k_{ш}$ равным 0,5.

Рассчитаем длину шлифованной части зуба по формуле (74):

$$L_{ш0} = 25 \cdot 25,12 = 12,56 \text{ мм.}$$

Размеры продольного шпоночного паза выбираем по ГОСТ 9472-83:

$$B = 10 \text{ мм, } h = 8 \text{ мм, } t = 3,3^{+0.2} \text{ мм.}$$

Для увеличения стойкости фрезы нанести TiN покрытие.

Однослойное покрытие из нитрида титана является одним из наиболее дешёвых и распространённых. При этом значительно увеличит срок её эксплуатации, тем самым повысит экономическую эффективность.

Вывод: Спроектированная фреза полностью соответствует техническим требованиям ГОСТ 9324-80 [7], [21]. При этом фреза усовершенствована TiN покрытием.

Чертёж спроектированного режущего инструмента представлен в графической части выпускной квалификационной работы.

5 Безопасность и экологичность технического объекта

Предупреждение профессиональных заболеваний и отравлений на производстве достигается разработкой технологических процессов, в которых вредные вещества заменяются безвредными, а также модернизацией технологического оборудования и его усовершенствованием, медико-профилактическими мероприятиями.

На каждом предприятии должен осуществляться систематический контроль состояния воздуха рабочей зоны. Создание здоровых и безопасных условий труда начинается с правильного выбора территории для размещения предприятия и рационального расположения на его территории производственных и вспомогательных строений и сооружений.

Генеральным планом определяется необходимая территория, размещение на ней строений и сооружений, их габаритные размеры, инженерные сооружения и благоустройство участка предприятия.

Планировка строений и сооружений на территории предприятий, наличие достаточных санитарных и противопожарных рвов и препятствий, обеспечение безопасной эвакуации людей, различные вспомогательные устройства (отопление, освещение, вентиляция и др.) регламентируются в соответствии с требованиями санитарных норм.

Место расположения территории предприятия должно обеспечивать возможность соблюдения санитарных и противопожарных норм, принятия рациональных решений по водо- и энергоснабжению, отведения сточных вод, охране водоемов, земель, атмосферы от загрязнения сточными водами и промышленными выбросами.

Загазованность и запылённость помещений, которые находятся на производственной территории, зависит от условий естественного проветривания. Поэтому не рекомендуется строить сооружения сложной конфигурации, особенно П и Ш-образной формы, а также сооружения с замкнутыми дворами.

Оборудование водоснабжения для хозяйственно – бытовых, производственных и противопожарных целей выбирают в соответствии с требованиями действующих санитарных норм.

Источники водоснабжения и качество воды регламентируются государственными стандартами и санитарными нормами в зависимости от целей, на которые используется вода.

Нормы расхода воды на производственные нужды определяют исходя из технологии программы выпуска продукции. Для сброса и удаления с территории промышленных предприятий загрязненной сточной воды, а также для ее очистки и обезвреживания перед утилизацией или сбросом в водоем предусмотрено оборудование системы канализации.

Различают внутреннюю и наружную системы канализации. К внутренней относятся санитарные приборы, трубы отвода, стояки и выпуски из зданий. К наружной, как правило, относятся самотечные и напорные трубопроводы, насосные станции, очистные и выпускные сооружения.

Все производственные и вспомогательные помещения должны вентилироваться.

Вентиляция – это совокупность мероприятий и средств, которые обеспечивают расчетный воздухообмен в помещениях. Целью вентиляционных мероприятий является обеспечение чистоты воздуха и необходимых метеорологических условий в производственных помещениях.

В зависимости от того, с какой целью работает система вентиляции, - для поступления или удаления воздуха из помещения или для того и другого одновременно, она может быть приточной, вытяжной или приточной - вытяжной. По месту действия вентиляция бывает обще обменной и локальной.

К числу распространенных опасных факторов, имеющих место на производстве, относятся грузоподъемные механизмы и машины, сосуды давления, котлы, трубопроводы, механическое и транспортное оборудование, их подвижные и вращающиеся части, электрические установки, кабели и

провода, которые могут быть причиной поражения электрическим током, ядовитые, удушающие и взрывоопасные газы, пожары, природные явления.

К вредным факторам, относятся факторы, действие которых на работника может привести к заболеванию. Опасные и вредные производственные факторы по природе действия подразделяются на физические (движущиеся машины и механизмы, вибрация и производственный шум, повышенная скорость воздуха, недостаточное освещение, наличие в воздухе пыли и вредных газов), химические (общетоксические, канцерогенные, раздражающие, влияя на репродуктивную функцию), биологические (микроорганизмами), психофизиологические (физические перегрузки, нервно-психические перегрузки).

Наличие некоторых опасностей, таких как, ураган, шторм, является следствием независящих от человека причин и явлений. Такие явления не всегда можно предотвратить и предсказать. Но в абсолютном большинстве опасности и вредность возникают в процессе производства по причинам организационного и технического характера. Они полностью зависят от работодателя, проектировщиков, производителей оборудования, инженерно-технического персонала служб охраны труда и, наконец, самих работников.

Производственный травматизм классифицируется по следующим признакам: по степени связи с производством, по числу пострадавших, по степени тяжести травм по характеру воздействия на человека и характера повреждений.

По степени связи с производством несчастные случаи подразделяются на случаи, связанные с производством и случаи непромышленного характера.

По числу пострадавших различают одиночные и групповые несчастные случаи. К групповым относятся случаи, которые произошли одновременно с двумя и более работниками, независимо от степени тяжести несчастного случая с каждым из потерпевших.

По степени тяжести травм несчастные случаи могут быть со

смертельным исходом и без него.

Чтобы каждое производственное задание выполнялось без ущерба для здоровья работников необходимо создать безопасные условия труда и организовать соответствующее управление охраной труда. Это обеспечивается путем реализации комплекса мероприятий, включающих разработку и строгое исполнение нормативных документов, профотбор кадров от руководства до рабочих, проведение инструктажей и периодической проверки у работников должностных инструкций, соблюдение требований правильной эксплуатации оборудования, создание в процессе проектирования, строительства, монтажа и эксплуатации безопасных условий труда, сертификацию продукции, организацию службы охраны труда, укрепления трудовой и технологической дисциплины, решение социальных вопросов, обеспечение работников спецодеждой, коллективными и индивидуальными средствами защиты, расследования в установленном порядке каждого несчастного случая, анализ и устранение его причин, совершенствование являются, создание и внедрение новых приборов и устройств безопасности, а также методов диагностики.

На предприятии должны быть разработаны планы предупреждения и ликвидации возможных аварий.

Защита окружающей среды в производственной деятельности - это комплекс мер, направленных на недопущение загрязнения окружающей среды вредными факторами производства.

В существующем законодательстве много внимания уделяется вопросам охраны окружающей среды. Ужесточение требований к производству и материалам, а также разработка новых производственных и утилизационных технологий позволят уменьшить антропогенную нагрузку на окружающую среду.

Технологический паспорт объекта представлен в виде таблицы 13 [5].

Таблица 13 – Технологический паспорт объекта

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, устройство, приспособление	Материалы, вещества
Фрезерование, сверление	фрезерно-центровочная	токарь-фрезеровщик	фрезерно-центровально-обточной станок 2Г942	сталь 40Х,СОЖ
Точение	токарная с ЧПУ	оператор станков с ЧПУ	токарный станок с ЧПУ 16К20Т1	сталь 40Х,СОЖ
Точение	токарная	токарь	токарно-винторезный станок 16Т20	сталь 40Х,СОЖ
Фрезерование	шпоночно-фрезерная	токарь-фрезеровщик	консольно-фрезерный станок 67Л25	сталь 40Х,СОЖ
Фрезерование	зубофрезерная	токарь-фрезеровщик	зубофрезерный вертикальный полуавтомат 53А20	сталь 40Х,СОЖ
Шлифование	шлифовальная	шлифовщик	полуавтомат круглошлифовальный 3М162В-02	сталь 40Х,СОЖ

Для снижения производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков проведены работы по их идентификации [5]. Данные занесены в таблицу 14.

Таблица 14 – Идентификация профессиональных рисков

Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Источник опасного и/или вредного производственного фактора	Опасный и/или вредный производственный фактор
Фрезерование, сверление	фрезерно-центровально-обточной станок 2Г942	повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны, высокий уровень шума и вибраций, выделение в воздух рабочей зоны аэрозолей, масел, паров СОЖ, опасность поражения электрическим током
Точение	токарный станок с ЧПУ 16К20Т1	
Точение	токарно-винторезный станок 16К20	
Фрезерование	консольно-фрезерный станок 67Л25	
Фрезерование	зубофрезерный вертикальный полуавтомат 53А20	
Шлифование	полуавтомат круглошлифовальный 3М162В-02	

Были разработаны и предложены методы и технические средства снижения профессиональных рисков. Данные занесены в таблицу 15.

Таблица 15 – Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Опасный и/или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и/или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
Повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны	а) оборудовать рабочие места местной вытяжной вентиляцией; б) оборудовать станки защитными и пылеулавливающими кожухами; в) оборудовать рабочие места вытяжными зонтами для локализации вредных веществ	средства защиты органов дыхания (маски, респираторы)
Высокий уровень шума и вибраций	а) применять шумоизоляционные щиты и виброизоляционные панели; б) применить виброизолирующие опоры пружинного типа	наушники

Продолжение таблицы 15

Опасный и/или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и/или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
Высокий уровень шума и вибраций	а) применять шумоизоляционные щиты и виброизоляционные панели; б) применить виброизолирующие опоры пружинного типа	наушники
Выделение в воздух рабочей зоны аэрозолей, масел, паров с СОЖ	применять технологии очистки и переработки газообразных, жидких и твердых отходов	очки защитные, средства защиты органов дыхания (маски, респираторы)
Опасность поражения электрическим током	поводить проверку знаний, инструктаж	заземление электрооборудования

Идентификация классов и опасных факторов пожара представлена в таблице 16.

Таблица 16 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Участок механической обработки и деталей	фрезерно-центровально-обточной станок 2Г942	D	пламя и искры, тепловой поток; повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; пониженная концентрация кислорода; снижение	короткое замыкание высокого электрического напряжения ВЛ, технологических установок, части разрушившихся строительных зданий, инженерных сооружений, энергетического оборудования, технологических установок, производственного и
	токарный станок с ЧПУ 16К20Т1	D		
	токарный станок 16К20	D		
	консольно-фрезерный станок 67Л25	D		
	зубофрезерный вертикальный полуавтомат 53А20	D		

Продолжение таблицы 16

Участок	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Участок механической обработки и деталей	полуавтомат круглошлифовальный 3М162В-02	D	видимости в дыму	инженерно-технического оборудования

В таблице 17 указаны технические средства и организационные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности [5].

Таблица 17 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Наименование	Описание
Первичные средства пожаротушения	вода
Мобильные средства пожаротушения	пожарные автомобили
Стационарные установки системы пожаротушения	пенные системы пожаротушения
Средства пожарной автоматики	извещатели пожарные
пожарное оборудование	огнетушители
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	средства защиты органов дыхания
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	пожарный топор
Пожарные сигнализация, связь и оповещение	дымовые, тепловые датчики

Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара, а также предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности и реализуемые эффекты представлены в таблице 18 [5].

Таблица 18 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование технологического процесса, оборудования технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Технологический процесс изготовления детали «вал-шестерня»	обучение работников пожарно-техническому минимуму	участок должен быть укомплектован средствами пожаротушения. Должна быть предусмотрена пожарная сигнализация, составлен план эвакуации при пожаре

Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта представлено в таблице 19 [5].

Таблица 19 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, производственно-технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, производственно-технологического процесса	Негативное экологическое воздействие технического объекта на атмосферу	Негативное экологическое воздействие технического объекта на гидросферу	Негативное экологическое воздействие технического объекта на литосферу
Фрезерование, сверление	фрезерно-центровально-обточной станок 2Г942	стружка, пыль шлифовально-го станка, масла и механические примеси эмульсии, вода со взвешенными	забор воды для производства, масла, СОЖ, образование сточных вод после очистки СОЖ	нет
Точение	токарный станок с ЧПУ 16К20Т1			нет
Точение	токарный станок 16К20			нет
Фрезерование	консольно-фрезерный станок 67Л25			нет

Продолжение таблицы 19

Наименование технического объекта, производственно-технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, производственно-технологического процесса	Негативное экологическое воздействие технического объекта на атмосферу	Негативное экологическое воздействие технического объекта на гидросферу	Негативное экологическое воздействие технического объекта на литосферу
Фрезерование	зубофрезерный вертикальный полуавтомат 53A20	примесями от уборки участка СОЖ	забор воды для производства, масла, СОЖ, образование сточных вод после очистки СОЖ	нет
Шлифование	полуавтомат круглошлифовальный 3M162B-02			нет

Организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду указаны в таблице 20 [5].

Таблица 20 – Организационно-технические мероприятия

Наименование технического объекта	Технологический процесс изготовления вала-шестерни трехступенчатого редуктора ВК – 490
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	вытяжная вентиляция оборудована фильтрующими элементами
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	отработанная эмульсия и вода от периодической влажной уборки помещения направляется в общезаводские очистные сооружения
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	мероприятий не требуется

Выводы: Большую роль в повышении производительности труда играет правильная организация рабочего места. Рабочее место – это часть производственной площади, оснащенная всеми необходимыми орудиями и средствами труда, в том числе вспомогательными устройствами и приспособлениями, предназначенными для выполнения определенной работы.

Организация рабочего места должна отвечать следующим требованиям:

- рациональное планирование рабочего места, размещение оборудования и оснащение обеспечивает устройство выполняемой работы, экономию производственной площади, удобства обслуживания рабочего места, безопасные и здоровые условия труда;
- размещение электрооборудования на рабочем месте и их изоляция должны обеспечивать полную безопасность рабочего;
- количество инструмента, необходимого для безопасной работы в течение смены, на рабочем месте, должны быть минимальными;
- инструментарий, техническая документация и заготовки должны доставляться на рабочее место;
- приспособления должны храниться на стеллаже;
- освещение, микроклимат на рабочем месте должны выдерживаться согласно санитарным нормам;
- внешнее оформление рабочего места должны выдерживаться согласно требованиям технической этики;
- рабочее место должно быть обеспечено всем необходимым для поддержания чистоты.

Во всех случаях к работникам предъявляют ряд специальных требований безопасности. Организация обучения работников безопасности труда регламентируется ГОСТ 12004-79 в соответствии, с которым это обучение проводит при подготовке новых работников. Проведение различных видов инструктажа, повышению квалификации [5].

6 Экономическая эффективность работы

К основным технико-экономическим показателям относятся: годовая программа выпуска, общее количество работающих, производительность труда производственного работника, среднемесячная заработная плата, количество станков, стоимость основных фондов участка, снятие продукции с 1 станка, снятие продукции с 1 м² производственной площади, фондоотдача, фондоемкость и фондовооруженность [9].

Большинство данных для таблиц и расчётов были взяты из документации предприятия, а остальные данные получены путём расчётов, поэтому они просто без изменений переносятся в таблицы: годовая программа выпуска, численность основных и вспомогательных рабочих, руководителей, специалистов и служащих, среднемесячная заработная плата работников, количество станков, стоимость основных фондов участка, производственная площадь.

Из задания следует, что предприятие реализует детали партиями по 20 штук, поэтому, при расчётах за 1 единицу (шт.) необходимо считать партию из 20 деталей.

Из этого следует, что при годовой программе 4000 деталей:

$$\frac{4000}{20} = 200 \text{ шт.}$$

Таким образом:

N – годовая программа, шт.;

$$N = 200 \text{ шт.}$$

Несколько показателей требуют дополнительного расчета. Ниже приведены формулы по которым они рассчитываются.

Производительность труда одного работника (основного рабочего) рассчитывается по формуле:

$$ПТ = \frac{ПВ}{Ч(Ч_{осн.р.})}, \quad (76)$$

где $PВ$ – годовая программа выпуска, руб.;

$ПТ$ – производительность труда одного работника;

$Ч$ – численность работников (всего персонала), чел.;

$Ч_{осн.р.}$ – численность основных рабочих, чел.

$$ПТ_{чел.} = \frac{46119247,00}{30} = 1537308,23 \text{ руб./чел.};$$

$$ПТ_{осн.раб.} = \frac{46119247,00}{21} = 2196154,61 \text{ руб./чел.}$$

Снятие продукции с одного станка и с 1 м^2 производственной площади рассчитывается по формулам:

$$\frac{PВ}{C_{пр}}, \quad (77)$$

$$\frac{PВ}{S_{пл}}, \quad (78)$$

где $C_{пр}$ – принятое количество станков, шт.,

$S_{пл}$ – производственная площадь участка, м^2 .

$$\text{Снятие продукции с 1 станка} = \frac{46119247,00}{11} = 4192658,81 \text{ руб.}$$

$$\text{Снятие продукции с } 1 \text{ м}^2 \text{ произв. площади} = \frac{46119247,00}{499} = 92423,34 \text{ руб.}$$

Основные показатели использования основных фондов: фондоотдача ($FВ$), фондовооруженность ($FО$) и фондоемкость ($FМ$) – определяются по формулам:

$$FВ = \frac{PВ}{ОФ}, \quad (79)$$

где $ОФ$ – среднегодовая стоимость основных фондов участка.

$$F_B = \frac{46119247,00}{26264526,00} = 1,75.$$

$$F_O = \frac{O\Phi}{\text{Ч}}, \quad (80)$$

где Ч – среднесписочная численность персонала.

$$F_O = \frac{26264526,00}{30} = 875484,20 \text{ руб.}$$

$$F_M = \frac{O\Phi}{ВП}; \quad (81)$$

$$F_M = \frac{26264526,00}{46119247,00} = 0,57 \text{ руб.}$$

Расчет технико-экономических показателей приведен в таблице 21.

Таблица 21 – Техничко-экономические показатели проекта

Наименование показателей	Единицы измерения	Всего
Годовая программа выпуска (ВП)	руб.	46119247,00
Общая численность работников (Ч):	чел.	30
– основных рабочих (Ч _{осн.р.});	чел.	21
– вспомогательных рабочих (Ч _{доп.р.});	чел.	7
– руководителей, специалистов, служащих (Ч _{рук./спец./сл.}).	чел.	2
Производительность труда одного работника (ПР _{раб.})	руб./чел.	1537308,23
Производительность труда основного рабочего ПР _{осн.р.})	руб./чел.	2196154,61
Среднемесячная заработная плата:		
– основных рабочих (З _{с/м(осн.р.)});	руб.	18181,10
– вспомогательных рабочих (З _{с/м(доп.р.)});	руб.	16230,90
– руководителей, специалистов, служащих (З _{с.} (рук./спец./сл..)).	руб.	27600,00
Количество станков (С _{пр})	шт.	11
Стоимость основных фондов участка (ОФ)	руб.	26264526,00
Производственная площадь участка (S _{пл})	м ²	499
Снятие продукции с одного станка	руб.	4192658,81
Фондоотдача (F _в)	руб.	1,75
Снятие продукции с 1 м ² производственной площади	руб.	92367,80

Продолжение таблицы 21

Наименование показателей	Единицы измерения	Всего
Фондовооруженность (F ₀)	руб.	875484,20
Фондоемкость (F _М)	руб.	0,57

Сравнение заводской себестоимости с проектной по основным статьям расходов приведено в таблице 22.

Таблица 22 – Сравнение заводской себестоимости с проектной по основным статьям затрат

Наименование расходов	По заводу, руб.	По проекту, руб.
Материальные затраты	34548,80	31408,00
Дополнительная заработная плата производственных рабочих	2497,20	2270,20
Отчисления на социальные нужды	9915,80	9014,40
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	29512,20	26829,30
Общепроизводственные расходы	34051,90	30956,90
производственная себестоимость	133227,60	121116,70
Административные расходы	15891,20	1444,65
Расходы на сбыт	19984,30	18167,50
Полная себестоимость	169103,80	153730,70

Рассчитаем абсолютное и относительное снижение себестоимости на одно изделие в результате внедрения разработанного технологического процесса.

$$\Delta C = C_1 - C_2; \quad (82)$$

$$\Delta C = 169103,80 - 153730,70 = 15373,70.$$

$$\Delta C\% = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100\%; \quad (83)$$

$$\Delta C\% = \frac{169103,80 - 153730,70}{169103,80} \cdot 100\% = 9\%.$$

Анализ эффективности разработанного технологического процесса.

Основными показателями сравнительной экономической эффективности при создании организационных решений, при внедрении новой техники являются:

- экономия годовая;
- приведенные расходы;
- срок окупаемости;
- годовой экономический эффект.

Экономия годовая рассчитывается с помощью формулы:

$$E_{y-p} = (C_1 - C_2) \cdot N, \quad (84)$$

где C_1 ; C_2 – себестоимость единицы продукции по базовому и новому вариантам, руб.;

N – годовая программа, шт.

$$E_{y-p} = (169103,80 - 153730,70) \cdot 200 = 3074620,00 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты определяются по формуле:

$$B_{np} = C_i \cdot N + E_n \cdot K_i > \min, \quad (85)$$

где C_i – себестоимость единицы продукции по вариантам, руб.;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений (0,15);

K_i – капиталовложения по вариантам, руб.;

N – годовая программа, шт.

$$B_{np1} = 169103,80 \cdot 200 + 0,15 \cdot 18385168,00 = 36578535,20 \text{ руб.}$$

$$B_{np2} = 153730,70 \cdot 200 + 0,15 \cdot 26264526,00 = 34685818,90 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости дополнительных капиталовложений определяется по формуле:

$$T_{ок} = \frac{K}{E_y} = \frac{K_2 - K_1}{E_y}, \quad (86)$$

где $K_2; K_1$ – капиталовложения соответственно дополнительные и первоначальные, руб.;

E_y – экономия условная, руб.

Базовые капиталовложения определяются как произведение рассчитанных капиталовложений на коэффициент (0,7; 0,75; 0,8).

$$K_1 = K_2 \cdot 0,7 = 26264526,00 \cdot 0,7 = 18385168,20 \text{ руб.}$$

$$T_{ок} = \frac{K}{E_y} = \frac{26264526,00 - 18385168,20}{3074620,00} = 2,56 \text{ лет.}$$

Годовой экономический эффект (экономия приведенных затрат) « $E_{год}$ » определяется по формуле:

$$E_{год} = B_{np1} - B_{np2}; \quad (87)$$

$$E_{год} = 36578535,20 - 34685818,90 = 1892716,30 \text{ руб.}$$

Все полученные данные заносим в таблицу 23.

Таблица 23 – Расчет показателей экономической эффективности проекта

Показатель	Базовый вариант	Новый вариант
Капитальные расходы, руб.	18385168,20	26264526,00
Себестоимость единицы продукции, руб.	8455,19	7686,53
Себестоимость партии продукции (20 шт.), руб.	169103,80	153730,70
Экономия условная, руб.	3074620,00	
Затраты, руб.	36578535,20	34685818,90
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений, лет	2,56	
Годовой экономический эффект, руб.	1892716,30	

Исходя из расчетов показателей экономической эффективности проекта, представленных в таблице 23 можно сделать следующий вывод:

Новый вариант предполагает более высокие капитальные расходы, но при этом значительно снижается себестоимость изготовления единицы продукции и соответственно всей партии.

Также расчёты по новому варианту показывают, что годовой экономический эффект положительный, и он составляет 1892716,30 руб.

Все расчёты и проведённый анализ доказывают экономическую эффективность разработанного технологического процесса.

Таким образом, новый вариант разработанного технологического процесса изготовления вала-шестерни цилиндрического трёхступенчатого редуктора ВК – 490 эффективнее базового и его можно рекомендовать к практической реализации.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был разработан технологический процесс изготовления детали «вал-шестерня» цилиндрического трехступенчатого редуктора ВК – 490 в условиях среднесерийного производства с детальным обоснованием выбора методов получения заготовок, технологического оборудования, инструментов и приспособлений.

Был рассчитан и выбран наиболее рациональный метод получения заготовки с представленным чертежом в графической части. Был разработан маршрут обработки детали, структура и содержание технологических операций, выбрана схема базирования заготовки, определены металлорежущие станки, металлорежущий инструмент для обработки, станочные приспособления, измерительные устройства и измерительный инструмент. Также были определены припуски на механическую обработку детали и рассчитаны режимы резания, выполнено нормирование технологического процесса. Была разработана конструкция устройства для установки и закрепления детали с представленным чертежом в графической части.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы были получены практические знания и навыки, которые нужны не только при выполнении квалификационной работы, но и при работе на производстве.

Самое главное в проделанной работе это то, что удалось достичь положительного экономического эффекта и срока окупаемости ниже базового при заданной годовой программе выпуска деталей. Именно это было необходимо для достижения главной цели выпускной квалификационной работы.

Из этого следует, что главная цель выпускной квалификационной работы достигнута, а поставленные задачи решены, и разработанный технологический процесс можно рекомендовать к практической реализации.

Список используемых источников

1. Балабанов А. Н. Краткий справочник технолога-машиностроителя / А. Н. Балабанов - М. : Издательство стандартов, 1992. 464 с.
2. Боженко Л. И. Технология производства заготовок в машиностроении: учеб. пособие / Л. И. Боженко – К. : НМК ВО, 1990. 262 с.
3. Вереина Л. И. Справочник станочника: учеб. пособие / Л. И. Вереина, М. М. Краснов, Е. И. Фрадкин ; под общ. ред. Л.И. Вереиной. – 2-е изд. - Москва : Академия, 2008. 560 с.
4. Горбацевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А. Ф. Горбацевич – Минск : Высшая школа, 1975. 289 с.
5. Горина Л. Н. Промышленная безопасность и производственный контроль [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Л. Н. Горина, М. И. Фесина, Т. Ю. Фрезе ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Управление пром. и экол. безопасностью". - Тольятти : ТГУ, 2014. 271 с.
6. ГОСТ 3.1001-81. Единая система технологической документации. Технические требования. – Введ. 1983–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1983. 8 с.
7. ГОСТ 9324-80. Фрезы червячные чистовые однозаходные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем. Технические требования. – Введ. 1982–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1980. 51 с.
8. Добрыднев И. С. Курсовое проектирование по предмету "Технология машиностроения" / И. С. Добрыднев – М. : Машиностроение, 1985. 184 с.
9. Краснопевцева И. В. Экономика и управление машиностроительным производством [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / И. В. Краснопевцева, Н. В. Зубкова ; ТГУ ; Ин-т финансов, экономики и управления ; каф. "Торговое дело и управление производством". - Тольятти : ТГУ, 2014. 183 с.
10. Маталин А. А. Технология машиностроения: учеб. пособие / А. А. Маталин – Л. : Машиностроение, 1985. 496 с.

11. Металлорежущие инструменты. Справочник конструктора / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич – Минск : Новое знание, 2009. 1039 с.
12. Обработка металлов резанием: справочник технолога / А. А. Панов, В. В. Аникин, Н.Г. Бойм [и др.]; под общ. ред. А. А. Панова – М. : Машиностроение, 1988. 736 с.
13. Резание металлов и режущие инструменты. [Электронный ресурс] – URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01009984572> (дата обращения: 22.03.2022).
14. Романов В. Ф. Расчеты зуборезных инструментов: учеб. пособие / В. Ф. Романов – М. : Машиностроение, 1969. 251 с.
15. Руденко П. А. Проектирование технологических процессов в машиностроении / П. А. Руденко – К. : Высшая школа, 1993. 414 с.
16. Рудь В. Д. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учеб. пособие / В. Д. Рудь – Луцк : ИСДО, 1996. 184 с.
17. Справочник конструктора, т. 1 / В. И. Анурьев – М. : Машиностроение, 1978. 920 с.
18. Справочник технолога-машиностроителя, т. 1 / А. Г. Косилова ; под общ. ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова – М. : Машиностроение, 1985. 656 с.
19. Справочник технолога-машиностроителя, т. 2 / А. Г. Косилова ; под общ. ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова – М. : Машиностроение, 1985. 496 с.
20. Федоров П. М. Охрана труда [Электронный ресурс] : практ. пособие / П. М. Федоров. - 2-е изд. - Москва : РИОР : ИНФРА-М, 2017. 137 с.
21. Фельдштейн Е. Э. Режущий инструмент. Курсовое и дипломное проектирование: учебное пособие / Е. Э. Фельдштейн – Минск : Дизайн ПРО, 2002. 320 с.

Приложение А

Маршрутная карта технологического процесса

ГОСТ 3.1116-82 Форма 1

Деталь	Взам.	Подпис.																		
			Код	Уч.	Р.М.	Опер.	Код	наименование оборудования	С.М.	Проф.	Р.	У.Т.	К.Р.	КОНД.	ЕН	О.П.	Кшт.	Тп.з.	Тшт.к.	
Разраб.																				
Провер.																				
Принят																				
Утверд.																				
Н. контр.																				
М01																				
М02																				
А																				
Б																				
А 03																				
Б 04																				
0 05																				
06																				
А 07																				
Б 08																				
0 09																				
10																				
А 11																				
Б 12																				
0 13																				
14																				
15																				
Т 16																				
МК																				

Продолжение приложения А

ГОСТ 3.1116-82 Форма 1а

Дробл. Взам. Подл.																
	Цех	Уч.	Р.М.	Опер.	Код. название операции				Обозначение документа				Лист.к.			
А	Код. наименование оборудования				С.М.	Проф.	Р.	У.Т.	К.Р.	КОНД.	Е.Н.	О.П.	Кшт.	Лпз.	Лшт.к.	
А 03			020	4.110	Токарная ЧПУ	15292	4							33	36,17	
Б 04					Токарный с ЧПУ 16К20Т1.											
О 05					1 Установить, закрепить и снять деталь											
06					2. Точить окончательно пов. 1 предварительно пов.2 в размер $\phi 315_{-0,39}$, окончательно пов.3 предвари-											
07					тельно пов. 4 $\phi 77,5_{-0,39}$, окончательно пов. 5, 6 та 7, предварительно пов.8 $\phi 72_{-0,46}$.											
08					3. Точение полуцистовое предварительное пов. 1 в размер $\phi 11_{-0,12}$ пов. 5, 7 выдерживать											
09					размеры согласно эскиза.											
10					4. Точение чистовое пов. 1 согласно эскиза.											
11					5. Точение чистовое пов. 9, 10 согласно эскиза.											
Т 12					Патрон лобовкабый											
Т 13					Центр задний											
Т 14					Отправка резца											
Т 15					Пластина режущая											
16																
А 17					$\phi 25$ 4.110 Токарно-винторезная 18217 4									314	34,4	
Б 18					16К20 Токарно-винторезный станок											
О 19					1 Установить, закрепить и снять деталь											
МК																

Продолжение приложения А

ГОСТ 3.1116-82 Форма 1а

Дробл. Взам. Подл.																		
	Цех	Уч	Р.М.	Опер.	Код. наименование оборудования	Код. название операции	С.М.	Проф.	Р	У.Т.	К.Р.	КОНД	Е.Н.	О.П.	Кшт.	Глз.	Лшт.к.	
						ПУ												
А																		
Б																		
0 03																		
0 04																		
05																		
0 06																		
Т 07																		
Т 08																		
09																		
А 10																		
Б 11																		
0 12																		
0 13																		
Т 14																		
15																		
А 16																		
Б 17																		
0 18																		
Б 19																		
МК																		

Продолжение приложения А

ГОСТ 3.116-82 Форма 1а

Добл. Взам. Подпис.																	
	Цех	Уч.	Р.М.	Опер.	Код наименования оборудования	Код название операции	С.М.	Проф.	Р.	У.Т.	К.Р.	КОНД.	Е.Н.	О.Л.	Кшт.	Глз.	Лшт.к.
						ПУ											
Т 03						Центра глиэие.											
Т 04						Хомут лавадкавый											
05																	
А 06						040 Термическая											
Б 07						ТВ4 обработка											
0 08						Укрепить поверхность зидчатого венца до значений 48...53 НРС											
09																	
А 10						045 4131 Круглошлифовальная	18883	4							15	15,68	
Б 11						581311 Полуавтомат круглошлифовальный ЗМ162В-02											
0 12						1 Установить, закрепить и снять деталь											
0 13						2 Шлифовать поверхность предварительно в размер $\phi 302_{-0,025}$ па $\phi 362_{-0,025}$											
Т 14						Центра глиэие.											
Т 15						Хомут лавадкавый											
16																	
А 17						050 4131 Круглошлифовальная	18883	4							15	15,68	
Б 18						581311 Полуавтомат круглошлифовальный ЗМ162В-02											
0 19						1 Установить, закрепить и снять деталь											
МК																	

Продолжение приложения А

ГОСТ 3.1116-82 Форма 1а

Дробл.	Взам.	Подл.	Цех	Уч.	Р.М.	Опер.	Код. наименование оборудования	Код. название операции	С.М.	Проф.	Р.	У.Т.	К.Р.	КОНД	Е.Н.	О.Л.	Кшт.	Тпз.	Тшт.к.
								ПУ											
0.03							2. Шлифовать поверхность предварительно в размер $\phi 30,2_{-0,025}$												
T.04							Центра-глухие												
T.05							Хому́т лободко́вый												
06							055 4131 Круглошлифовальная	18883 4											
A.07							Полуавтомат круглошлифовальный ЗМ162В-02											15	15,68
B.08							1. Установить, закрепить и снять деталь												
0.09							2. Шлифовать поверхность предварительно в размер $\phi 30,2_{-0,025}$ и $\phi 36,2_{-0,025}$												
0.10							Центра-глухие												
T.11							Хому́т лободко́вый												
T.12							1060 4131 Круглошлифовальная	18883 4											
13							Полуавтомат круглошлифовальный ЗМ162В-02												
A.14							1. Установить, закрепить и снять деталь											15	15,68
B.15							2. Шлифовать поверхность предварительно в размер $\phi 30,2_{-0,025}$												
0.16							Хому́т лободко́вый												
0.17							Центра-глухие												
T.18																			
T.19																			
МК																			

Продолжение приложения А

ГОСТ 3.1116-82 Форма 1а

Добл.		Взам.		Подл.		ТТУ												
А	Цех	Уч.	Р.М.	Опер.	Код название операции		С.М.	Проф.	Р.	У.Т.	К.Р.	КОНД	ЕН	ОЛ	Кшт.	Тпз.	Тшт.к.	
Б	Код наименование оборудования						174.74.2											
A03				065	Слесарная													
B04					Верстак													
O 05					1. Запилить радиусы скасы притупить острые кройки. Маркировать.													
O6																		
A07				070	Мучная													
B08					Мучная машина													
O 09					1. Вымыть деталь													
10																		
A11				075	Контрольная													
B12					Контрольный стол													
O 13					1. Проверить соответствие детали требованиям чертежа													
A14																		
B15																		
16																		
A17																		
B18																		
B19																		
МК																		

Приложение Б
Операционная карта

ГОСТ 3.1104-86 Форма 3												
Дилл.												
Взам.												
Подп.											2	1
Разраб.											XXX.40100.0001	
Пробер.												
Починял												
Утверд.												
Н. контр.												
Вал-шестерня												
Наименование операции		Материал	Твердость	Е.В.	М.Д.	Профиль и размеры		М.З.	КОИД			
Токарная		Ст40Х ГОСТ4345-71	290...320НВ	к2	2,12			2,71	1			
Обработка станок с ЧПУ		Обозначение программы							СОЖ			
Токарно-винторезный 16К20Т1									Эмульсия			
P		Л.И. R	D или B, мм	L, мм	t, мм	S, мм/об	f, мм/мин.	V, м/мин.				
0 01	1. Установить, закрепить и снять деталь.											
T 02	ПР. Патрон поводковый 7180-0022											
03	ГОСТ 2571-71											
T 04	ПР. Вращающийся задний центр											
05	ГОСТ 8742-85											
06	Р.И. Резец РСЦNR2525M12											
0 07	СМУМ-1204.08 T5K10											
08												
0 09	2. Точить окончательно пов. 1.											
P 10			φ27	32	2,5	1	0,6	1000	84,8			
T 11	С.И. Шаблон специальный											
0 12	Точить предварительно пов. 2.											
P 13			φ315	35,5	1,75	1	0,6	1000	99			
OK												

Продолжение приложения Б

ГОСТ 3.14.04-86 Форма 2а

Диагн.		Взам.		Диагн.		XXX 01100 002 10		2	
								XXX 40100.00001	
								020	
								КПТМ6МТ-07.00.0006.	
								XXX 40100.00001	
								020	
P	П.И. R	Д или В, мм	L, мм	t, мм	L	S, мм/об.	П, об/мин.	V, м/мин.	
T 01	СИ Штангенциркуль ШЦ 1-160-0,1-2 ГОСТ 166-89	Калибр-скода 8115-0023	ГОСТ 18367-73						
O 02	Точить пов. 3								
P 03		φ315	4	2,5	1	0,6	1000	99	
T 04	СИ Шаблон специальный								
O 05	Точит. пов. 4								
P 06		φ37,5	218	175	1	0,4	800	102,9	
T 07	СИ Штангенциркуль ШЦ 1-160-0,1-2 ГОСТ 166-89	Калибр-скода 8115-0029	ГОСТ 18367-73						
O 08	Точить пов. 5								
P 09		φ37,5	6	1,75	1	0,4	800	102,9	
T 10	СИ Шаблон специальный								
O 11	Точить пов. 6								
P 12		φ46	2	2,5	1	0,5	630	91	
T 13	СИ Штангенциркуль ШЦ 1-160-0,1-2 ГОСТ 166-89								
O 14	Точить пов. 7								
P 15		φ46	7,8	2,5	1	0,5	630	91	
T 16	СИ Радиусмер № 1 1-6, ГОСТ 4126-82								
O 17	Точить пов. 8								
P 18		φ64	3,5	2,4	1	0,6	500	1318	
OK									

Продолжение приложения Б

ГОСТ 3.1404-86 Форма 2а

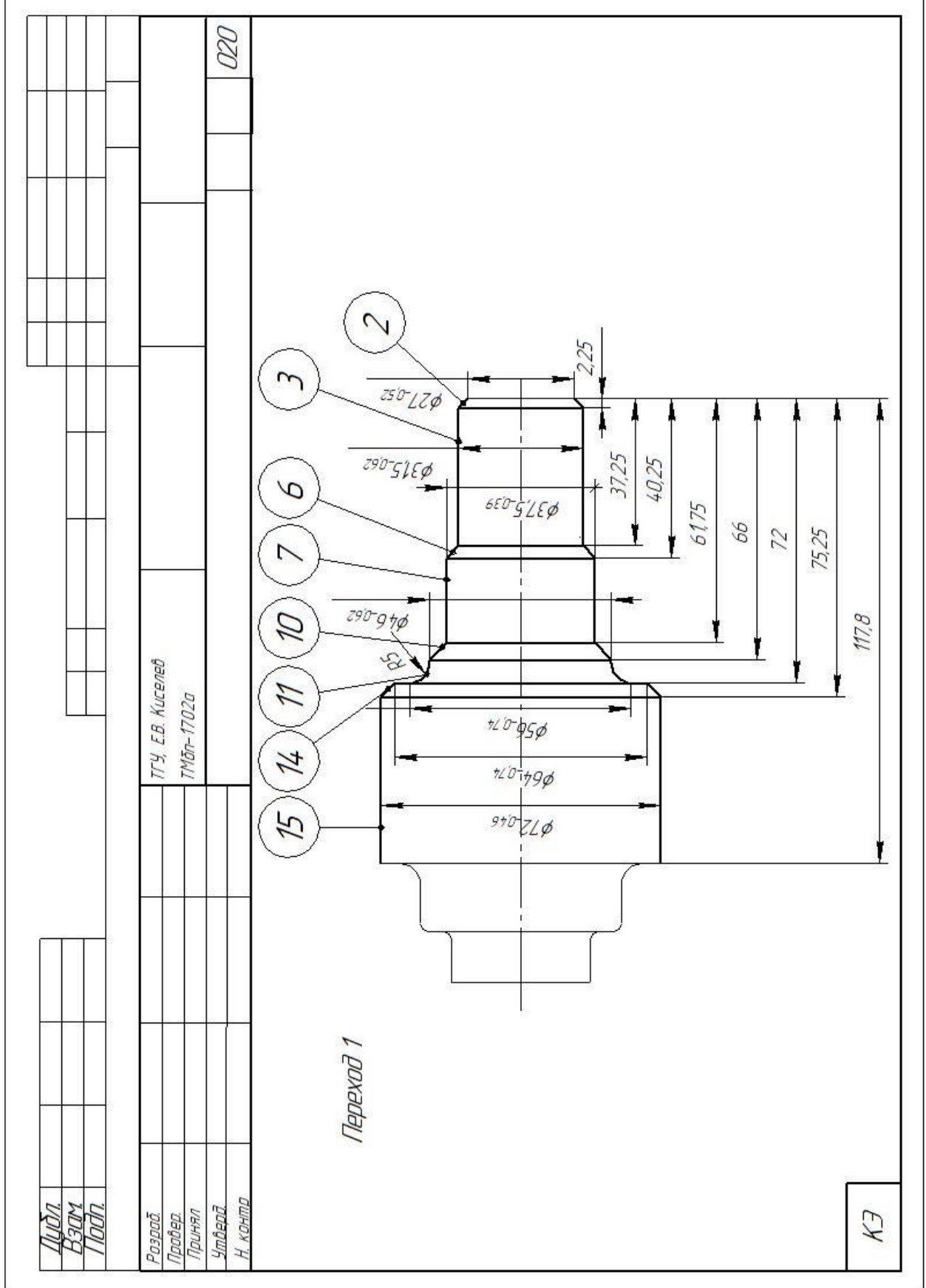
Длина															
Высота															
Полов.															
											XXX.0100.002.10		3		
											КПТМ6МТ-07.00.006.		XXX.40100.0001	020	
P	П.И.	R	D или B, мм	L, мм	l, мм	L	S, мм/об.	n об./мин.	V, м/мин.						
T 01	СИ														
	Шаблон специальный														
O 02															
	Точиль пов. 9														
P 03			φ72	43	2	1	0,6	400	95,5						
T 04	СИ														
	Штангенциркуль ШЦ 1-160-01-2 ГОСТ 166-89. СИ. Калибр-скода 815-0210 ГОСТ 18367-73														
O 05															
O 06	2. Точиль														
	под шлифовку пов. 1.														
T 07	Р.И.														
	Резец токарный Оправка РСЛNR2525M2 Режущая пластина СМУТ-120408 ГОСТ 19059-80 Т5К10														
P 08			φ30,5	37,25	0,5	1	0,4	1250	1216						
T 09	СИ														
	Штангенциркуль ШЦ 1-160-01-2 ГОСТ 166-89. СИ. Калибр-скода 815-0022 ГОСТ 18367-73														
O 10	Точиль														
	под шлифовку пов. 2.														
P 11			φ36,5	24,25	0,5	1	0,27	1250	147,2						
T 12	СИ														
	Штангенциркуль ШЦ 1-160-01-2 ГОСТ 166-89. СИ. Калибр-скода 815-0028 ГОСТ 18367-73														
O 13	Точиль														
	предварительно пов. 3.														
P 14			φ70,5	42,8	0,25	1	0,4	500	113						
T 15	СИ														
	Штангенциркуль ШЦ 1-160-01-2 ГОСТ 166-89. СИ. Калибр-скода 815-0028 ГОСТ 18367-73														
16															
17															
18															
OK															

Продолжение приложения Б

ГОСТ 3.1404-86 Форма 2а										
Шабл.										
Взам.										
Модп.										
								XXX.0100.002.10	4	
								КПТМ6МТ-07.00.0006.		
								XXX.40100.0001		020
P	Л.И.	R	D или B, мм	L, мм	l, мм	L	S, мм/об.	n об/мин.	V, м/мин.	
0 01										
	3.Точиль окончательна пов. 3									
T 02										
	Р.И. Резец токарный Справка РС.НР.2525М12. Режущая пластина С.Н.М-120408 ГОСТ 19059-80 Т5К10									
P 03			φ70	428	0,5	1	0,15	630		1395
T 04										
	С.И. Штангенциркуль ШЦ 1-160-0,1-2 ГОСТ 166-89. С.И. Калибр-скоба. 815-0028 ГОСТ 18367-73									
05										
0 06										
	4. Точиль окончательна канавку пов. 2 в размер соответственно эскиза									
T 07										
	Р.И. Резец специальный канавочный									
P 08			φ295	2,5	3	1	0,15	250		302
T 09										
	С.И. Шаблон специальный канавочный									
0 10										
	Точиль окончательна канавку пов. 2 в размер соответственно эскиза									
T 11			φ35,5	2,5	3	1	0,1	250		29
P 12										
	С.И. Шаблон специальный канавочный									
T 13										
14										
15										
16										
17										
18										
OK										

Приложение В

Карта эскизов



Продолжение приложения В

<i>Дудл.</i>														
<i>Взам.</i>														
<i>Подп.</i>														

Переход 3

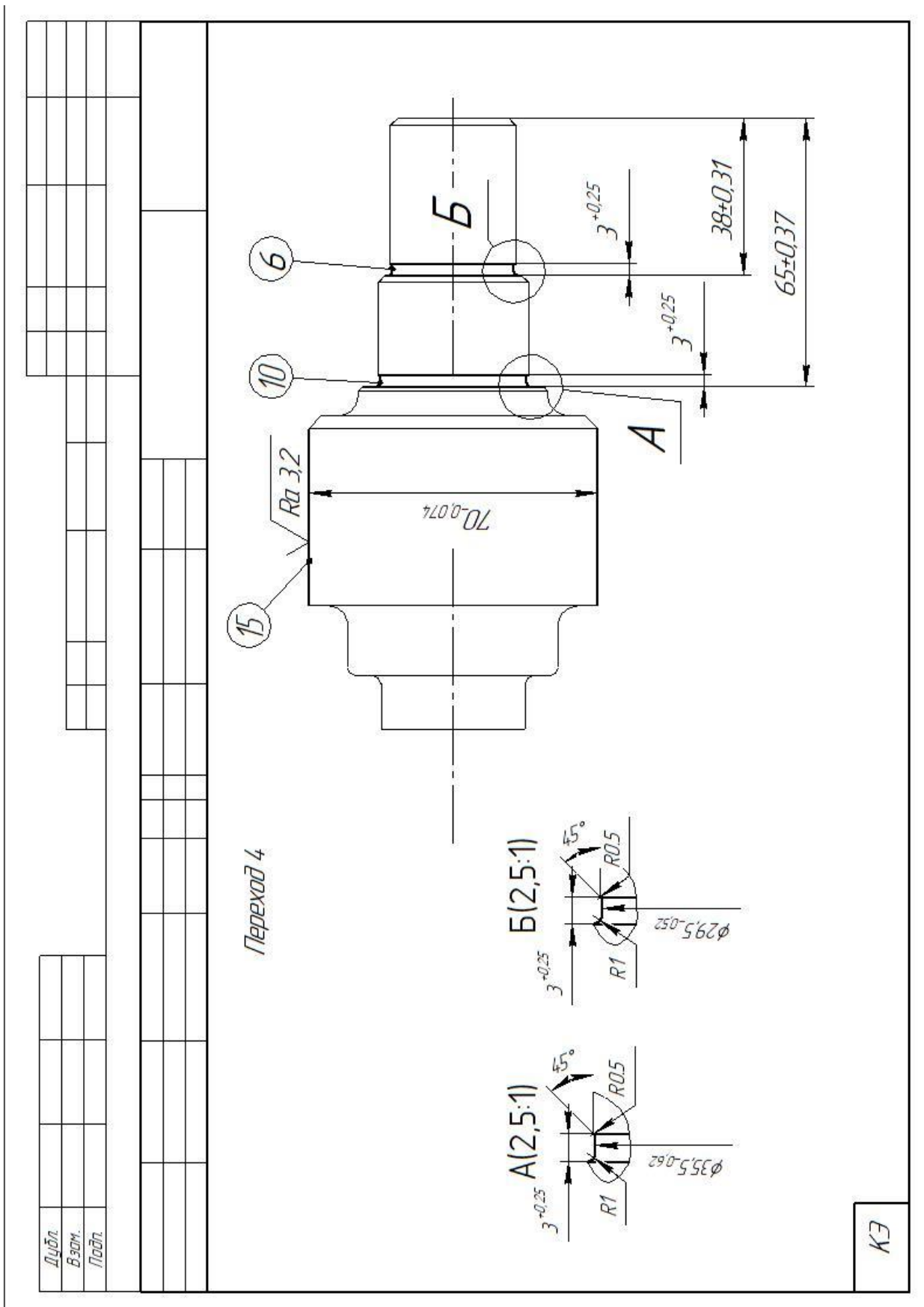
15

Ra 3.2

70^{±0.071}

ЕК

Продолжение приложения В



КЭ

Приложение Г

Спецификация к чертежу станочного приспособления

Инв. №	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
								№
Перв. примен.					<u>Документация</u>			
	A2			22.БР.ОТМП.02.63.000 СБ	Сборочный чертеж			
Справ. №					<u>Сборочные единицы</u>			
			1		Плита в сборе	1		
Подп. и дата					<u>Детали</u>			
			4		Прижим	1		
			5		Втулка верхняя	1		
			6		Уплотнение штока	1		
			7		Втулка направляющая	1		
			8		Крышка верхняя	1		
			9		Шток	1		
			10		Поршень	2		
			11		Цилиндр	1		
			12		Крышка нижняя	1		
			13		Шпилька	4		
			14		Уплотнение поршня	2		
Инв. № подл.					22.БР.ОТМП.02.63.000			
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Лист	Листов
	Разраб.		Киселев Е.В.		210322		1	2
	Проб.		Варонов Д.Ю.					
					Приспособление фрезерное			
					ТГУ, ТМбп-1702а			
	Н.контр.		Варонов Д.Ю.					
	Утв.		Логинов Н.Ю.					

Копировал

Формат А4

Продолжение приложения Г

Инв. № подл.			Подп. и дата			Взам. инв. №			Инв. № дубл.			Подп. и дата		
				22.БР.0ТМП.02.63.000				Лист						
								2						
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование				Кол.	Примечание					
				Стандартные изделия										
		17		Болт М16х80				4						
				ГОСТ 7798-70										
		18		Гайка М24				8						
				ГОСТ 5915-70										
		19		Гайка М4,2х2				1						
				ГОСТ 5918-73										
		20		Кольцо 039-045-36-2-2				2						
				ГОСТ 9833-73										
		21		Кольцо 310-320-58-2-2				2						
				ГОСТ 9833-73										
		22		Шайба 24 ГОСТ 6407-70				8						
		23		Шайба 42 ГОСТ 11371-78				1						
		24		Шпилька 10х63				1						
				ГОСТ 397-79										
				Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата						
				Копировал				Формат А4						