

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)

Технология машиностроения
(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технологический процесс изготовления крышки привода конвейера

Обучающийся

М.Н. Голошубова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент А.А. Козлов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультанты

канд. экон. наук, доцент Е.А. Боргардт

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

М.А. Кривова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2025

Аннотация

В данной выпускной работе рассматривается технологический процесс изготовления крышки привода конвейера.

Повышение эффективности и надежности конвейеров актуальная задача, так как от ее решения напрямую зависят производительность и экономическая эффективность производственных процессов.

Цель работы заключается в разработке оптимального технологического процесса изготовления крышки привода конвейера, который должен обеспечивать как улучшение показателей существующей технологии, так и разработку новых решений.

Разработка техпроцесса начинается с анализа имеющихся данных, методов проектирования, материала, эксплуатационных характеристик и технологичности. В ходе дальнейшего проектирования технологии изготовления описаны основные стадии технологического процесса, такие как получение заготовки, механическая обработка, контроль качества. Особое внимание уделяется выбору оптимальных технологий, направленных на снижение производственных затрат и обеспечение эксплуатационных характеристик детали.

С применением современных методов проектирования, таких как CAD моделирование, выполняется проектирование специальных средств оснащения. Произведена экономическая оценка преимуществ и рисков их внедрения, а также предложены рекомендации по реализации спроектированной технологии на практике.

Работа состоит из 59 страниц пояснительной записки и 7 листов формата A1 графической части.

Abstract

This final qualification work the manufacturing process of a conveyor drive cover, a key component of conveyor systems widely used across various industrial sectors. The relevance of the chosen topic stems from the need to enhance the efficiency and reliability of conveyor operations, which directly impact the productivity and economic performance of industrial processes.

The aim of the work is to develop an optimal manufacturing process for the conveyor drive cover, which can be applied both to improve production metrics at existing enterprises and to design new solutions aligned with modern market requirements.

The development of the technological process begins with an analysis of existing data and modern design and production methods, including material selection, performance characteristics, and manufacturability. Subsequent stages of the process design describe key phases, such as blank production, machining, and quality control. Particular emphasis is placed on selecting optimal technologies aimed at reducing production costs while ensuring the component's operational performance.

Using modern design tools, such as CAD modeling, specialized tooling and equipment are designed. An economic assessment of the benefits and risks of their implementation is provided, along with recommendations for practical application of the developed technology.

The thesis comprises a 59-page explanatory note and 7 A1-format sheets of graphical documentation.

Содержание

Введение.....	5
1 Определение задач работы на базе анализа исходных данных.....	6
1.1 Анализ функционального назначения детали и условий эксплуатации ..	6
1.2 Анализ технологических показателей детали.....	7
1.3 Анализ типа производства	11
1.4 Задачи работы.....	12
2 Разработка технологии изготовления	13
2.1 Обоснование выбора и разработка заготовки	13
2.2 Разработка плана изготовления детали	21
2.3 Выбор оборудования и технологической оснастки.....	22
2.4 Проектирование операций технологического процесса	25
3 Разработка технологической оснастки и режущего инструмента	28
3.1 Разработка станочного приспособления	28
3.2 Разработка токарного резца	33
4 Безопасность и экологичность технического объекта	36
4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта	36
4.2 Идентификация профессиональных рисков.....	36
4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	37
4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....	39
4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта.....	40
5 Экономическая эффективность работы	41
Заключение	45
Список используемых источников.....	46
Приложение А Технологическая документация.....	50
Приложение Б Спецификации к сборочным чертежам	58

Введение

В современном производстве конвейерные системы играют ключевую роль, обеспечивая эффективность и автоматизацию транспортировки материалов, полуфабрикатов и готовой продукции. Одним из важных элементов таких систем является крышка привода, которая защищает детали механизма привода от внешних воздействий, что обеспечивает надежную работу и долговечность всего конвейера. Крышка привода выполняет не только защитную функцию, но и влияет на общие эксплуатационные характеристики системы.

Технологический процесс изготовления крышки привода конвейера включает в себя множество этапов, начиная от разработки чертежей и выбора материалов до внедрения в производство. В условиях растущей конкуренции на рынке промышленного оборудования требуется внедрение современных подходов на всех этапах технологической подготовки производства. Для этого необходимо рассмотреть полный технологический цикл производства крышки привода конвейера. В частности, проанализировать и применить современные технологии обработки. Особое внимание необходимо уделить вопросам проектирования и инженерных расчетов, необходимым для совершенствования средств технологического оснащения. Также необходимо обеспечить оптимальные условия производства, с целью повышению качества и снижению себестоимости готовой продукции.

«Таким образом, цель работы заключается в разработке оптимального технологического процесса изготовления крышки привода конвейера, который может быть использован как для улучшения производственных показателей существующих предприятий, так и для разработки новых решений, соответствующих современным требованиям рынка» [4].

1 Определение задач работы на базе анализа исходных данных

1.1 Анализ функционального назначения детали и условий эксплуатации

Крышка привода конвейера имеет следующее функциональное назначение. Защищает внутренние компоненты привода от внешних загрязнений, пыли, влаги и механических повреждений, что способствует увеличению срока службы привода. Предотвращает случайный контакт работников с движущимися частями привода, что уменьшает риск травм на производстве. Снижает уровень шума, создаваемого оборудованием при его работе.

Условия работы крышки привода конвейера могут варьироваться в зависимости от конкретного типа конвейера, его назначения и окружающей среды. К основным параметрам, характеризующим условия работы крышки относят: температурный режим, влажность и загрязнения, нагрузки и вибрации.

Крышка должна функционировать в определённом диапазоне температур, который закладывается конструктором. Перегрев или переохлаждение могут повлиять на её работоспособность. Если приводной механизм требует охлаждения, необходимо учитывать это при выполнении температурных расчетов работы крышки.

В зависимости от условий эксплуатации крышки на нее возможно воздействие влаги, пыли и других загрязняющих веществ, особенно если конвейер используется в условиях повышенной запыленности или влажности. Соответственно материал крышки должен быть устойчивым к воздействию химических веществ, если такие присутствуют в рабочей среде, а также к механическим повреждениям.

В ходе эксплуатации на крышку возможно воздействие различных механических нагрузок, включая возможные вибрации, вызываемые работой

конвейера и рядом расположенного технологического оборудования.

Эти параметры могут существенно отличаться в зависимости от специфики производства и требований конкретного конвейера, в конструкции которого используется привод.

«В общем случае условия эксплуатации крышки привода можно охарактеризовать как типичные для деталей данного класса» [4].

1.2 Анализ технологических показателей детали

Анализ детали на технологичность представляет собой оценку её конструкции с точки зрения эффективности производства, минимизации затрат и сложности изготовления. В качестве критериев технологичности обычно используются конструктивные особенности детали, соответствие стандартам, характеристики материала, применимость методов получения заготовок и механической обработки [1].

Проведем оценку материала детали на технологичность. «Химический состав стали 20Х: углерода от 0,17 до 0,23%, хрома от 0,7 до 1,0%, никеля от 0 до 0,3%, марганца от 0,5 до 0,8%, кремния от 0,17 до 0,37%, меди не более 0,3%, серы не более 0,035%, фосфора не более 0,035» [23]. «Предел прочности в состоянии поставки составляет 450 МПа» [23]. Твердость в отожжённом состоянии от 170 до 217 единиц по шкале Бринелля, что позволяет проводить обработку стандартным инструментом при показателях коэффициента обрабатываемости 0,9 для твердосплавного инструмента и 0,7 для быстрорежущего инструмента. После закалки твердость составляет от 50 до 60 единиц по шкале Роквелла, что требует применения алмазного или абразивного инструмента. Также данный материал обладает склонностью к налипанию, так как в составе материала имеется хром. Это может вызывать задиры и ускоренный износ режущих кромок, что приводит к необходимости использования режущего инструмента с износостойкими покрытиями. Рассматриваемая сталь подвергается таким видам термической обработки как

закалка и цементация, что позволяет добиться высоких показателей твердости поверхностного слоя. Однако, после термообработки (цементация, закалка) данная сталь может деформироваться из-за внутренних напряжений.

К преимуществам рассматриваемой стали можно отнести хорошую прокаливаемость и износостойкость после термообработки, а также возможность цементации. К недостаткам можно отнести сложность в обработке по сравнению с углеродистыми сталями, а также высокие требования к точности назначения режимов резания.

Таким образом, сталь 20Х технологична при условии грамотного выбора инструмента и режимов резания, а также подбора параметров термообработки.

К конструктивным критериям технологичности детали относят геометрические характеристики, точность и качество поверхностей. Форма поверхностей детали простая, состоит из плоских и цилиндрических поверхностей. К нетехнологичным элементам можно отнести поднутрения внутренних поверхностей, а также наличие резких перепадов толщины, что может привести к деформациям. В конструкции детали использованы стандартные элементы такие как крепёжные отверстия под винты М6, а также уплотнительная канавка под манжету. К проблемным элементам конструкции детали можно отнести наличие тонких стенок и сложный профиль внутренней поверхности.

Проведем оценку точности и качества поверхностей. В рассматриваемой детали наиболее точная поверхность выполнена по шестому качеству точности, наименьшая шероховатость составляет 0,8 мкм по параметру Ra.

Исходя из проведенного анализа конструктивных критериев технологичности детали, следует считать ее технологичной, так как для их обеспечения не потребуется применения специальных средств технологического оснащения. Наиболее сложным является обеспечение выполнения точных поверхностей.

Проанализируем технологичность заготовки для рассматриваемой детали [7]. Для заготовок из стали 20Х возможны следующие варианты получения: прокат, штамповка, литьё, поковка. Рассмотрим данные варианты применительно к крышке привода конвейера. Прокат простой и доступный метод, подходит для мелких серий. В данном случае потребует в дальнейшем большого объема мехобработки. Штамповка минимизирует припуски на обработку, но требует дорогой оснастки, оптимальна для серийного производства. Литьё сложно реализуемо для стали 20Х из-за высокой температуры плавления и риска появления дефектов. Поковка улучшает структуру металла, повышает прочность. Оптимальная область применения для получения ответственных деталей. Из проведенного анализа следует, что для данного случая оптимальны штамповка (серийное производство) или прокат (мелкие партии). В случае применения штамповки заготовка будет максимально приближена к форме детали, что сократит объём мехобработки.

Заготовку из стали 20Х для крышки привода конвейера можно считать технологичной при использовании штамповки или проката с минимальными припусками.

«Технологичность механической обработки детали определяется, прежде всего, количеством и назначением ее поверхностей. Классифицируем поверхности детали с использованием методики» [4]. «На рисунке 1 приведен эскиз детали с номерами поверхностей» [4]. «В результате проведения классификации получаем: поверхности 13, 21 являются основными конструкторскими базами; поверхности 6, 7, 12, 18 являются вспомогательными конструкторскими базами; поверхности 18, 23 являются исполнительными; все остальные поверхности являются свободными» [4]. Из полученных данных видно, что количество поверхностей, являющихся ответственными значительное. Размерные и геометрические допуски данных поверхностей предполагают использование точных методов обработки.

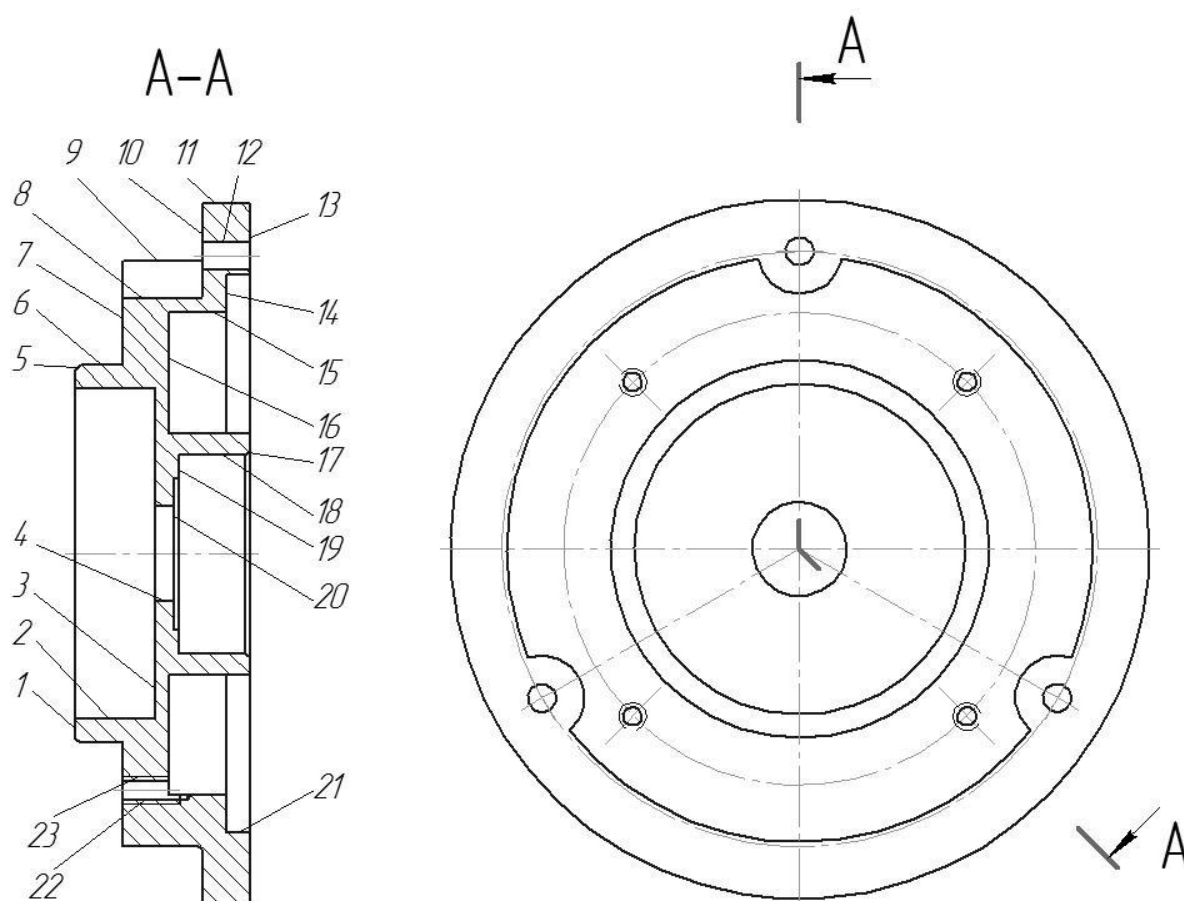


Рисунок 1 – Эскиз крышки

Следует отметить, что в ходе проектирования технологии изготовления детали можно применять типовые технологии. Это позволит сократить время на проектирование и повысит качество разработки за счет применения отработанных технологических решений. В ходе проектирования отдельных технологических операций возможно использование типовых схем базирования, что позволит выполнить основные требования принципов единства и постоянства баз, а также применить для их реализации стандартные станочные приспособления.

Таким образом, крышка привода конвейера представляет собой высокотехнологичную деталь. Изготовленная с использованием современных материалов и передовых методов обработки, она обеспечивает прочность и долговечность, что критически важно в условиях интенсивной эксплуатации.

1.3 Анализ типа производства

Выбор типа производства при механической обработке зависит от нескольких факторов, включая объем продукции, сложность деталей, их массу и требования к качеству. «В соответствии с рекомендациями [8], при массе детали равной 1,68 кг и годовой производственной программы составляющей 8000 штук в год тип производства соответствует среднесерийному» [8].

Среднесерийное производство – это форма организации производственного процесса, которая занимает промежуточное положение между единичным и массовым производством.

Рассмотрим ключевые характеристики среднесерийного типа производства.

Производство включает в себя ограниченное количество серий продукции, которое может варьироваться в зависимости от спроса. Номенклатура изделий обычно значительная, но объем каждой серии относительно небольшой.

Среднесерийное производство обладает высокой гибкостью, что позволяет оперативно реагировать на изменения в потребительском спросе и производить переналадку оборудования без значительных затрат времени.

Технологический процесс допускает последовательную обработку разных типов деталей. Это вызывает необходимость использовать универсальное оборудование.

Среднесерийное производство сочетает как механизацию, так и автоматизацию. Это делает его более эффективным, чем единичное производство, но менее производительным, чем массовое.

Время на технологическую подготовку производственного процесса может быть значительным, так как частые переналадки требуют временных и материальных затрат.

Затраты на единицу продукции могут быть выше по сравнению с массовым производством, но ниже, чем в единичном. Это связано с необходимостью соблюдения гибкости при большом разнообразии выпускаемых изделий.

Контроль качества продукции осуществляется универсальными и специализированными средствами контроля.

1.4 Задачи работы

На основе анализа технических требований и условий эксплуатации детали, а также характеристик типа производства сформулируем задачи выпускной квалификационной работы.

- сравнить альтернативные методы производства заготовки и выбрать оптимальный;
- составить маршрут изготовления детали с детализацией операций;
- рассчитать режимы обработки и нормы времени;
- «спроектировать технологическую оснастку, инструмент и приспособления» [4];
- «изучить вопросы утилизации отходов и минимизации экологической нагрузки» [4];
- «провести расчёт себестоимости изготовления крышки, оценить эффективность предложенного процесса» [4].

«В данном разделе проведен анализ имеющихся данных, по результатам которого сформулированы задачи работы» [4].

2 Разработка технологии изготовления

2.1 Обоснование выбора и разработка заготовки

Анализ технологичности показал, что оптимальный метод получения заготовки для детали из стали 20Х является горячая объёмная штамповка. Такое решение позволит получить упрочнение структуры за счёт пластической деформации, обеспечить минимизацию припусков на обработку, а также обладает требуемой производительностью. Проанализировав конструктивные особенности детали, «приходим к выводу, что в данном случае наиболее целесообразно применять штамповку на кривошипном горячештамповочном прессе и штамповку в открытых штампах» [3]. «Проведем экономический анализ затрат получения детали из заготовок предлагаемыми методами» [14].

«Затраты определяются выражением:

$$C_T = C_{\text{ЗАГ}} \cdot Q + C_{\text{МЕХ}} \cdot (Q - q) - C_{\text{ОТХ}} \cdot (Q - q), \quad (1)$$

где $C_{\text{ЗАГ}}$ – приведенные затраты метода получения заготовки, руб.;

$C_{\text{МЕХ}}$ – приведенные затраты на снятие стружки, руб.;

$C_{\text{ОТХ}}$ – цена одного кг стружки, руб.;

Q – масса заготовки, кг;

q – масса детали, кг» [14].

«Приведенных затрат метода получения заготовки определяются выражением:

$$C_{\text{ЗАГ } i} = C_{\text{ШТ}} \cdot h_T \cdot h_C \cdot h_B \cdot h_M \cdot h_{\text{П}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{ШТ}}$ – базовая стоимость получения одного кг заготовок рассматриваемым методом, руб.;

h_T – коэффициент, характеризующий точность метода штамповки;

h_C – коэффициент, характеризующий сложности метода штамповки;

h_B – коэффициент, характеризующий массу заготовки полученной данным методом штамповки;

h_M – коэффициент, характеризующий марку материала;

h_{Π} – коэффициент, характеризующий годовую программу выпуска;

i – индекс метода получения заготовки» [14].

Присвоим штамповке на кривошипном горячештамповочном прессе индекс 1, штамповке в открытых штампах индекс 2 и произведем расчеты.

$$C_{ЗАГ\ 1,2} = 29,96 \cdot 0,90 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,18 \cdot 1,0 = 36,59 \text{ р.}$$

«Масса заготовки определяется по формуле:

$$Q_i = q \cdot K_P, \quad (3)$$

где K_P – коэффициент, зависящий от метода получения заготовки и геометрических особенностей детали» [14].

$$Q_1 = 1,68 \cdot 1,95 = 3,27 \text{ кг.}$$

$$Q_2 = 1,68 \cdot 2,1 = 3,53 \text{ кг.}$$

«Приведенных затрат на снятие стружки определяются выражением:

$$C_{МЕХ\ i} = C_C + E_H \cdot C_K, \quad (4)$$

где C_C – текущие затраты на снятие одного кг стружки, руб.;

C_K – капитальные вложения на снятие одного кг стружки, руб.;

E_H – коэффициент, характеризующий эффективности капитальных вложений» [14].

$$C_{МЕХ\ 1,2} = 4,95 + 0,1 \cdot 10,85 = 6,04 \text{ р.}$$

Проводим расчеты в соответствии с выражением (1).

$$C_{T1} = 36,59 \cdot 3,27 + 6,04 \cdot (3,27 - 1,68) - 1,4 \cdot (3,27 - 1,68) = \\ = 127,03 \text{ р.}$$

$$C_{T2} = 36,59 \cdot 3,53 + 6,04 \cdot (3,53 - 1,68) - 1,4 \cdot (3,53 - 1,68) = \\ = 137,75 \text{ р.}$$

«Экономический эффект от применения более дешевого метода определяется выражением:

$$\mathcal{E} = (C_{T2} - C_{T1}) \cdot N, \quad (5)$$

где N – годовая программа выпуска деталей, шт.» [14].

$$\mathcal{E} = (137,75 - 127,03) \cdot 8000 = 85760 \text{ р.}$$

«Выбираем штамповку на кривошипном горячештамповочном прессе для дальнейшего проектирования заготовки» [14].

«На следующем этапе проектирования заготовки необходимо составить маршруты обработки поверхностей детали» [4]. Для этого необходимо выполнить разделение поверхностей на группы по точности на критические, которые требуют высокой точности шестого, седьмого качества и второстепенные с допусками от десятого до двенадцатого качества. Также необходимо учесть требования к шероховатости.

Переходы назначаются в следующей последовательности:

- обдирочные операции (удаление основного припуска);
- полуступенчатые (достижение предварительной точности, с параметрами шероховатости до 3,2 мкм);
- «чистовые (финишная обработка, с параметрами шероховатости до 1,6 мкм)» [4];
- «отделочные (шлифование, полирование, с параметрами шероховатости до 0,8 мкм)» [4].

Как правило, имеется несколько вариантов маршрутов обработки поверхности, поэтому его окончательный выбор проводится на основе определения суммарных удельных затрат [11]. Результаты проектирования

маршрутов обработки поверхностей отражены на листе плана изготовления детали в графической части работы.

На основе маршрутов обработки поверхностей назначают припуск на обработку для каждого технологического перехода. Величина припуска назначается из следующих соображений. Припуск должен:

- компенсировать погрешности заготовки, устранять деформаций, возникающих при механической или термической обработке;
- ликвидировать дефекты заготовки и обеспечивать снятие слоя с изменёнными свойствами;
- минимизировать влияние неточностей базовых поверхностей на финальную геометрию детали;
- обеспечить снижение себестоимости обработки за счёт минимизации объёмов снимаемого металла.

«Припуск на самую точную поверхность диаметром $42H7(^{+0,025})$ мм рассчитываем расчетно-аналитическим методом» [20].

«Минимальный припуск определяется по формуле:

$$z_{imin} = a_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}, \quad (6)$$

где a_{i-1} – глубина дефектного слоя после выполнения предыдущего перехода, мм;

Δ_{i-1} – величина суммарных пространственных отклонений поверхности на предыдущем переходе, мм;

ε_i – величина погрешности установки заготовки на текущем переходе, мм» [20].

$$z_{1min} = a_0 + \sqrt{\Delta_0^2 + \varepsilon_1^2} = 0,400 + \sqrt{0,280^2 + 0,080^2} = 0,691 \text{ мм.}$$

$$z_{2min} = a_1 + \sqrt{\Delta_1^2 + \varepsilon_2^2} = 0,100 + \sqrt{0,060^2 + 0,020^2} = 0,163 \text{ мм.}$$

$$z_{3min} = a_{\text{ТО}} + \sqrt{\Delta_{\text{ТО}}^2 + \varepsilon_3^2} = 0,250 + \sqrt{0,016^2 + 0,060^2} = 0,421 \text{ мм.}$$

$$z_{4min} = a_3 + \sqrt{\Delta_3^2 + \varepsilon_4^2} = 0,150 + \sqrt{0,090^2 + 0,020^2} = 0,242 \text{ мм} \gg [20].$$

«Максимальный припуск определяется по формуле:

$$z_{i \max} = z_{i \min} + 0,5(TD_{i-1} + TD_i), \quad (7)$$

где TD_i – операционный допуск размера текущего перехода, мм;

TD_{i-1} – операционный допуск размера предыдущего перехода, мм» [20].

$$\begin{aligned} \ll z_{1 \max} &= z_{1 \min} + 0,5(TD_0 + TD_1) = 0,691 + 0,5 \cdot (0,620 + 0,250) = \\ &= 1,146 \text{ мм}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z_{2 \max} &= z_{2 \min} + 0,5 \cdot (TD_1 + TD_2) = 0,163 + 0,5 \cdot (0,250 + \\ &+ 0,025) = 0,226 \text{ мм}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z_{3 \max} &= z_{3 \min} + 0,5 \cdot (TD_{\text{то}} + TD_3) = 0,421 + 0,5 \cdot (0,039 + \\ &+ 0,039) = 0,460 \text{ мм}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z_{4 \max} &= z_{4 \min} + 0,5 \cdot (TD_3 + TD_4) = 0,242 + 0,5 \cdot (0,039 + \\ &+ 0,025) = 0,274 \text{ мм} \gg [20]. \end{aligned}$$

«Средний припуск определяется по формуле:

$$z_{\text{ср}i} = 0,5 \cdot (z_{i \max} + z_{i \min}). \quad (8) \gg [20]$$

$$\ll z_{\text{ср}1} = 0,5(z_{1 \max} + z_{1 \min}) = 0,5(1,146 + 0,691) = 0,919 \text{ мм}.$$

$$z_{\text{ср}2} = 0,5(z_{2 \max} + z_{2 \min}) = 0,5(0,226 + 0,163) = 0,195 \text{ мм}.$$

$$z_{\text{ср}3} = 0,5(z_{3 \max} + z_{3 \min}) = 0,5(0,460 + 0,421) = 0,441 \text{ мм}.$$

$$z_{\text{ср}4} = 0,5(z_{4 \max} + z_{4 \min}) = 0,5(0,274 + 0,242) = 0,258 \text{ мм} \gg [20].$$

«Максимальные величины операционных размеров:

$$D_{(i-1)\max} = D_{i \max} - 2 \cdot z_{i \min}. \quad (9) \gg [20]$$

«При выполнении термической обработки максимальный размер:

$$D_{(to-1)max} = d_{(i-1)max} \cdot 0,999. \quad (10)» [20]$$

«Минимальные величины операционных размеров:

$$D_{(i-1)min} = D_{(i-1)max} - TD_{i-1}. \quad (11)» [20]$$

«Средние величины операционных размеров:

$$D_{i\text{ cp}} = 0,5 \cdot (D_{i\text{ max}} + D_{i\text{ min}}). \quad (12)» [20]$$

«Результаты расчетов.

$$D_{4\text{ max}} = 42,025 \text{ мм.}$$

$$D_{4\text{ min}} = 42,000 \text{ мм.}$$

$$D_{4\text{ cp}} = 0,5 \cdot (D_{4\text{ max}} + D_{4\text{ min}}) = 0,5 \cdot (42,025 + 42,000) = 42,012 \text{ мм.}$$

$$D_{3\text{ max}} = D_{4\text{ max}} - 2 \cdot z_{4\text{ min}} = 42,025 - 2 \cdot 0,242 = 41,580 \text{ мм.}$$

$$D_{3\text{ min}} = D_{3\text{ max}} - TD_3 = 41,580 - 0,039 = 41,541 \text{ мм.}$$

$$D_{3\text{ cp}} = 0,5 \cdot (D_{3\text{ max}} + D_{3\text{ min}}) = 0,5 \cdot (41,580 + 41,541) = 41,561 \text{ мм.}$$

$$D_{\text{To max}} = D_{3\text{ max}} - 2 \cdot z_{3\text{ min}} = 40,738 - 2 \cdot 0,421 = 40,738 \text{ мм.}$$

$$D_{\text{To min}} = D_{\text{To max}} - TD_3 = 40,738 - 0,039 = 40,699 \text{ мм.}$$

$$D_{\text{To cp}} = 0,5 \cdot (D_{\text{To max}} + D_{\text{To min}}) = 0,5 \cdot (40,738 + 40,699) = \\ = 40,719 \text{ мм.}$$

$$D_{2\text{ max}} = D_{3\text{ max}} \cdot 0,999 = 40,738 \cdot 0,999 = 40,701 \text{ мм.}$$

$$D_{2\text{ min}} = D_{2\text{ max}} - TD_2 = 40,701 - 0,250 = 40,451 \text{ мм.}$$

$$D_{2\text{ cp}} = 0,5 \cdot (D_{2\text{ max}} + D_{2\text{ min}}) = 0,5 \cdot (40,701 + 40,451) = 40,576 \text{ мм.}$$

$$D_{1\text{ max}} = D_{2\text{ max}} - 2 \cdot z_{2\text{ min}} = 40,701 - 2 \cdot 0,125 = 40,449 \text{ мм.}$$

$$D_{1\text{ min}} = D_{1\text{ max}} - TD_1 = 40,449 - 0,100 = 40,023 \text{ мм.}$$

$$D_{1\text{ cp}} = 0,5 \cdot (D_{2\text{ max}} + D_{2\text{ min}}) = 0,5 \cdot (40,449 + 40,023) = 40,073 \text{ мм.}$$

$$D_{0\text{ max}} = D_{1\text{ max}} - 2 \cdot z_{1\text{ min}} = 40,023 - 2 \cdot 0,691 = 38,641 \text{ мм.}$$

$$D_{0\text{ min}} = D_{0\text{ max}} - TD_0 = 38,641 - 0,62 = 38,021 \text{ мм.}$$

$$D_{0\text{cp}} = 0,5(D_{2\text{max}} + D_{2\text{min}}) = 0,5(38,641 + 38,021) = 38,331 \text{ мм}» [20].$$

«Величина минимального общего припуска:

$$2z_{min} = D_{4\ max} - D_{0\ min}. \quad (13)$$

$$2z_{min} = 42,025 - 38,021 = 4,004 \text{ мм} \gg [20].$$

«Величина максимального общего припуска:

$$2z_{max} = 2z_{min} + TD_0 + TD_3. \quad (14)$$

$$2z_{max} = 4,004 + 0,62 + 0,039 = 4,663 \text{ мм} \gg [20].$$

«Величина среднего общего припуска:

$$2z_{cp} = 0,5 \cdot (2z_{min} + 2z_{max}). \quad (15)$$

$$2z_{cp} = 0,5 \cdot (4,004 + 4,663) = 4,334 \text{ мм} \gg [20].$$

«Припуски на обработку оставшихся поверхностей определяются, используя табличный метод» [22]. Данный способ определения припусков на обработку основан на использовании нормативных таблиц, разработанных на основе статистических данных и практического опыта. Он применяется для стандартных условий производства и обеспечивает быстроту расчётов при минимальном риске ошибок.

Алгоритм расчета припусков с применением табличного метода:

- «выбор источника данных» [4];
- «определение параметров заготовки и детали» [4];
- «поиск таблицы, соответствующей условиям» [4];
- «выбор значения минимального припуска с учетом размеров детали и требуемой точности обработки» [4];
- расчет максимального припуска по формуле (7);
- расчет среднего припуска по формуле (8).

Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов припусков

Поверхность	Переход	Минимальный припуск, мм	Максимальный припуск, мм	Средний припуск, мм
1	черновой	1,5	2,325	1,913
	получистовой	0,7	0,875	0,788
	чистовой	0,3	0,4	0,35
2	черновой	0,45	1,4	0,925
3	черновой	1,5	2,305	1,903
6	черновой	1,0	1,95	1,475
	получистовой	0,15	0,36	0,255
	чистовой	0,13	0,213	0,172
	финишный	0,03	0,063	0,047
7	черновой	2,0	2,805	2,403
	получистовой	1,0	1,147	1,074
	чистовой	0,4	0,484	0,442
9	черновой	1,4	2,6	2,0
10	черновой	2,0	2,775	2,388
11	черновой	1,4	2,6	2,0
13	черновой	2,0	2,825	2,413
	получистовой	1,0	1,175	1,088
	чистовой	0,4	0,5	0,45
15	чистовой	0,5	1,675	1,088
16	чистовой	1,5	2,305	1,903
19	чистовой	1,3	2,105	1,703
21	черновой	0,5	1,588	1,044
	получистовой	0,35	0,595	0,473
	чистовой	0,3	0,397	0,349
	финишный	0,15	0,195	0,173

«На заключительном этапе проектирования заготовки определяем ее характеристики по ГОСТ 7505-89» [6].

«Характеристики заготовки: класс точности заготовки Т4; группа марки материала заготовки М1; степень сложности заготовки С2; исходный индекс для определения допусков размеров заготовки И10» [6].

«Значения напусков: штамповочные уклоны наружные 5°, внутренние 7°; concentricность отверстий 1,0 мм; радиус закругления 3,5 мм; плоскостность торцовых поверхностей 0,8 мм; смещение по поверхности разъема штампов 0,6 мм; величина остаточного облоя не более 0,8 мм» [6].

Спроектированный чертеж заготовки приведен на листе графической части работы.

2.2 Разработка плана изготовления детали

В соответствии с типом производства принимаем следующий порядок проектирования плана изготовления:

- «разработка технологического маршрута изготовления детали;
- разработка эскизов операций;
- проектирование схем базирования;
- простановка операционных размеров;
- расчет технических требований на выполнение операций» [4].

«Разработка технологического маршрута изготовления детали заключается в формировании отдельных операций на основе маршрутов обработки поверхностей и типовых технологических маршрутов» [17], [22]. «Все операции при этом разделяются на этапы: подготовительные, черновые, получистовые, чистовые, отделочные» [4].

Сформированный маршрут обработки приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Технологический маршрут изготовления детали

Операция	Метод обработки	Номера поверхностей
005 Токарная	точение	1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 10
010 Токарная	точение	11, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21
015 Токарная	точение	1, 5, 6, 7
020 Токарная	точение	13, 17, 18, 19, 21
025 Фрезерная	фрезерование	8
030 Сверлильная	сверление	12, 22, 23
035 Термическая	закалка	все
040 Плоскошлифовальная	шлифование	1, 13
045 Круглошлифовальная	шлифование	6, 7
050 Внутришлифовальная	шлифование	18, 21
055 Круглошлифовальная	шлифование	6, 7
060 Внутришлифовальная	шлифование	18, 21
065 Моечная	мойка и сушка	все
070 Контрольная	контроль	согласно карте контроля.

Схемы базирования определяют, как заготовка фиксируется на станке для обеспечения точности обработки. Их разработка включает, прежде всего, выбор технологических баз. Для этого необходимо определить поверхности детали, требующие высокой точности обработки, а также выявить технологические требования, такие как, соосность, перпендикулярность, радиальное биение. В качестве черновых баз используются необработанные поверхности для первой установки. В качестве чистовых баз используются обработанные поверхности для последующих операций. «Разработка схем базирования ведется на основе типовых схем базирования, а также основных положений теории базирования» [25]. «Полученные результаты отражены на листе плана изготовления графической части работы» [4].

«Назначение операционных технических требований заключается в назначении параметров, которые должны соблюдаться на каждой технологической операции для достижения заданного качества поверхностей детали» [4]. «Они включают допуски на размеры, шероховатости, допуски формы поверхностей и пространственных отклонений, назначенных в соответствии с рекомендациями» [15].

«По результатам выполнения данного этапа, в соответствии с рекомендациями [15] формируется плана изготовления в виде листа графической части работы, а также маршрутная карта (приложение А «Технологическая документация»)» [4].

2.3 Выбор оборудования и технологической оснастки

Выбор оборудования и средств технологического оснащения требует комплексного подхода и зависит от множества факторов.

В первую очередь на выбор влияют:

- требования к качеству и точности изготовления детали, включая размеры, допуски и шероховатости поверхности;

- «материал, из которого будет изготовлена деталь и его физико-механические свойства» [4];
- «содержание операций технологического процесса» [4];
- «необходимость применения средств автоматизации» [4];
- «вид механической обработки» [4];
- объемы производства большие;
- наличие стандартных средств оснащения;
- стоимость инвестиций в оборудование и средства технологического оснащения, а также затраты на их эксплуатацию и обслуживание.

«Таким образом, выбор оборудования и средств технологического оснащения является важным этапом, который требует тщательного анализа всех аспектов производственного процесса и материальных ресурсов» [4].

Выбор конкретных средств технологического оснащения производится на основании данных [2], [9], [13], [16], [19], [27].

Результаты выбора средств технологического оснащения приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Средства технологического оснащения

Операция	Станок	Приспособление	Инструмент	Средство контроля
005 Токарная	токарный 16K20Ф3	патрон трехкулачковый самоцентрирующий ГОСТ 2675-80	сверло спиральное Р6М5 ГОСТ 10902-77, резец контурный Т5К10 специальный, резец расточной Т5К10 ГОСТ 18879-73	штангенциркуль ШЦ-I-ГОСТ 166-80
010 Токарная	токарный 16K20Ф3	патрон трехкулачковый самоцентрирующий ГОСТ 2675-80	резец контурный Т5К10 специальный, резец расточной Т5К10 ГОСТ 18879-73	штангенциркуль ШЦ-I-ГОСТ 166-80
015 Токарная	токарный 16K20Ф3	Оправка цанговая	резец контурный Т15К6 специальный	штангенциркуль ШЦ-I-ГОСТ 166-80
020 Токарная	токарный	патрон	резец контурный	штангенцир

Продолжение таблицы 3

Операция	Станок	Приспособление	Инструмент	Средство контроля
–	16К20Ф3	трехкулачковый самоцентрирующий ГОСТ 2675-80	Т15К6 специальный, резец расточной Т5К10 ГОСТ 18879-73	куль ШЦ-I-ГОСТ 166-80
025 Фрезерная	вертикально-фрезерный 6Р12	Оправка цанговая	фреза концевая Р6М5 ГОСТ 17025-71	штангенциркуль ШЦ-I-ГОСТ 166-80, калибры
030 Сверлильная	вертикально-сверлильный 2Н135Ф2	оправка цанговая специальная	сверло спиральное Р6М5 специальное, метчик М6 ГОСТ 3266-81 Р6М5, сверло спиральное ГОСТ 19544-74 Р6М5	калибры
040 Плоскошлифовальная	плоскошлифовальный 3Г71	плита магнитная ГОСТ16528-87	круг шлифовальный 1-500×45×305 23А46N8V 30м/с1А ГОСТ 52781-2007	скоба рычажная СР75 ГОСТ 11098-75
045 Круглошлифовальная	круглошлифовальный IS-40 CNC	оправка цанговая	круг шлифовальный 1-500×45×305 23А46N8V 30м/с1А ГОСТ 52781-2007	микрометр МК-100 ГОСТ 6507-90
050 Внутришлифовальная	внутришлифовальный 3К227В	патрон мембранный специальный	круг шлифовальный 1-32×40×10 23А46N8V 30м/с1А ГОСТ 52781-2007	нутромер НМ-150 ГОСТ 9244-75
055 Круглошлифовальная	круглошлифовальный IS-40 CNC	оправка цанговая	круг шлифовальный 1-500×45×305 24А60М5V 30м/с1А ГОСТ 52781-2007	микрометр МК-100 ГОСТ 6507-90
060 Внутришлифовальная	внутришлифовальный 3К227В	патрон мембранный специальный	круг шлифовальный 1-32×40×13 24А46К6V 40м/с1А ГОСТ 52781-2007	нутромер НМ-150 ГОСТ 9244-75
065 Моечная	моечная машина	–	–	–

«Данные таблицы 3 используются при проектировании плана изготовления, приведенного в графической части работы, а также маршрутной карты и операционных карт, приведенных в приложении А «Технологическая документация»» [4].

2.4 Проектирование операций технологического процесса

«Проектирование технологической операции заключается в разработке и документировании последовательности действий и процессов, которые необходимы для выполнения определенной производственной задачи» [4].

«Ключевым этапом проектирования операции, непосредственно влияющим на эффективность и рациональность производства, является определение режимов резания и нормирование» [26].

«Режимы резания определим по методике» [12].

«Скорость резания рассчитывается по формуле:

$$V = V_T \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (16)$$

где V_T – нормативная скорость резания, м/мин;

K_1 – коэффициент, учитывающий свойства материала детали;

K_2 – коэффициент, учитывающий свойства материала инструмента;

K_3 – коэффициент, учитывающий метод обработки» [12].

«Частота вращения рассчитывается по формуле:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d}, \quad (17)$$

где d – размер обрабатываемой поверхности, мм» [12].

«Действительная скорость резания рассчитывается по формуле:

$$V_d = \frac{\pi \cdot d \cdot n_d}{1000}, \quad (18)$$

где n_d – действительная частота вращения шпинделя, об/мин» [12].

«Далее выполняем нормирование операций механической обработки, которое представляет собой комплексный процесс установления норм

времени и трудозатрат на выполнение различных операций технологического процесса» [4]. «Грамотно проведенное нормирование позволяет оптимизировать производственный процесс, улучшить планирование и снизить затраты» [4]. «В данном случае для нормирования операций технологического процесса применим расчетный метод» [12].

«Основное время определяется по формуле:

$$T_0 = \frac{L_{\text{рх}}}{S_0 \cdot n_d}, \quad (19)$$

где $L_{\text{рх}}$ – длина рабочего хода инструмента в процессе обработки, мм;
 S_0 – подача инструмента, мм/об» [12].

«Длина рабочего хода инструмента определяется по формуле:

$$L_{\text{рх}} = l_1 + l_{\text{рез}} + l_2, \quad (20)$$

где l_1 – длина врезания инструмента, мм;
 $l_{\text{рез}}$ – длина обработки, мм;
 l_2 – длина перебега инструмента, мм» [12].

«Результаты определения режимов резания и нормирования технологических операций представим в виде таблицы 4» [4].

«Полученные данные используются для заполнения маршрутной карты и операционных карт, приведенных в приложении А «Технологическая документация» » [4].

«Дальнейший анализ режимов резания поможет оптимизировать производственные процессы и добиться повышения качества обработки» [4].

Таблица 4 – Режимы резания и нормирование

Операция	Номер перехода	Подача, мм/об	Скорость, м/мин	Частота вращения, об/мин	Основное время, мин
005 Токарная	1	0,4	23	360	0,06
	2	0,32	116	250	0,85
	3	0,16	80	360	0,77
010 Токарная	1	0,32	116	250	0,4
	2	0,16	80	360	1,4
015 Токарная	1	0,25	203	520	0,31
020 Токарная	1	0,25	205	450	0,2
	2	0,12	156	450	0,41
025 Фрезерная	1	0,03	32	500	0,95
030 Сверлильная	1	0,05	20	1600	1,3
	2	1,0	9	450	0,23
	3	0,08	31	1600	0,31
040 Плоскошлифовальная	1	25	0,07	–	5,16
045 Круглошлифовальная	1	30	0,017	120	1,14
050 Внутришлифовальная	1	25	0,01	250	0,34
	2	25	0,01	250	0,38
055 Круглошлифовальная	1	35	0,011	160	1,48
060 Внутришлифовальная	1	30	0,008	360	0,36
	2	30	0,008	360	0,39

Оптимальные параметры резания (скорость, подача, глубина резания), обеспечивают максимальную эффективность и минимизацию времени обработки, снижают износ инструмента, позволяют улучшить качество поверхности, способствуют снижению себестоимости изделий, снижают риск аварий и поломок оборудования, обеспечивая более безопасные условия труда.

В качестве результата выполнения раздела можно отметить, что проведенные мероприятия позволили создать оптимальный процесс, обеспечивающий высокое качество и надежность продукции. Разработанные технологические операции, позволяют значительно повысить эффективность производства и сократить сроки изготовления. Особое внимание было уделено внедрению современных технологий, что отвечает современным требованиям индустрии, способствует уменьшению влияния человеческого фактора и повышению стабильности производственных показателей.

3 Разработка технологической оснастки и режущего инструмента

3.1 Разработка станочного приспособления

Проанализировав базовый технологический процесс, приходим к выводу, что для 060 Внутршлифовальной операции необходимо спроектировать специальное станочное приспособление. Такое решение объясняется необходимостью обеспечения стабильности зажима и позиционирования детали, что позволяет добиться высокой точности обработки. Это особенно важно для деталей, которые требуют строгих допусков размеров и геометрии. Применение специализированного приспособления позволит оптимизировать процессы загрузки, установки и снятия деталей, что сократит время, необходимое для выполнения операции, и повышает общую производительность.

«Наиболее подходящим в данном случае является мембранный зажимной механизм» [20]. Проектирование осуществим по методике и данным [21].

«Мощность резания определяется по формуле:

$$N = C_N \cdot v_3^r \cdot s^y \cdot d^q \cdot b^z, \quad (21)$$

где C_N , r , q , z – поправочные коэффициенты и показатели степеней, учитывающие фактические условия операции;

v_3 – скорость заготовки в процессе обработки, м/мин;

s – продольная подача, мм/об;

d – диаметр обрабатываемой поверхности, мм;

b – ширина шлифования, мм» [20].

$$N = 0,36 \cdot 28^{0,35} \cdot 0,173^{0,4} \cdot 0,008^{0,4} \cdot 118^{0,3} = 0,4 \text{ кВт.}$$

«Составляющая силы резания P_Z рассчитывается по формуле:

$$P_Z = \frac{N \cdot 102 \cdot 60}{21} \cdot K_{PZ}, \quad (22)$$

где K_{PZ} – коэффициент условий операции» [20].

«Составляющая силы резания P_Y рассчитывается по формуле:

$$P_Y = (1,3 \dots 1,8) \cdot P_Z \cdot K_{PY}, \quad (23)$$

где K_{PY} – коэффициент условий операции» [20].

Проводим расчеты.

$$P_Z = \frac{0,4 \cdot 102 \cdot 60}{21} \cdot 1,25 = 146 \text{ Н.}$$

$$P_Y = (1,3 \dots 1,8) \cdot 146 \cdot 1,25 = 329 \text{ Н.}$$

«Силу закрепления определяем по формуле:

$$Q = \frac{k \cdot M_P}{n \cdot f \cdot b}, \quad (24)$$

где k – коэффициент, учитывающий условия выполнения операции;

M_P – момент резания, Н;

n – количество кулачков, шт.;

f – коэффициент трения по поверхностям контакта детали и кулачка;

b – половина диаметра базовой поверхности детали, мм» [21].

$$Q = \frac{1,5 \cdot 6355}{3 \cdot 0,15 \cdot 3,6} = 5884 \text{ Н.}$$

«Момент для деформации мембраны определяем по формуле:

$$M_{изг} = \frac{Q \cdot n \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot b}, \quad (25)$$

где l – расстояние между средней плоскостью мембраны и серединой кулачков, мм» [21].

$$M_{\text{изг}} = \frac{5884 \cdot 3 \cdot 50}{2 \cdot \pi \cdot 3,6} = 156 \text{ Н.}$$

«Момент закрепления определяется по формуле:

$$M_3 = 0,58 \cdot M_{\text{изг}}. \quad (26)$$

$$M_3 = 0,58 \cdot 156 = 90,5 \text{ Н} \gg [21].$$

«Жесткость мембраны определяется по формуле:

$$D = \frac{E \cdot h}{12 - (1 - \mu^2)}, \quad (27)$$

где E – модуль упругости мембраны, МПа;

h – толщина мембраны, см.

μ – коэффициент Пуассона» [21].

$$D = \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,7}{12 - (1 - 0,3^2)} = 13462 \text{ Н} \cdot \text{см.}$$

«Угол разжима мембраны определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{M_3 \cdot b}{D \cdot (1 + \mu)}. \quad (28)$$

$$\varphi = \frac{90,5 \cdot 3,6}{13462 \cdot (1 + 0,3)} = 0,0186 \gg [21].$$

«Наибольший угол разжима мембраны определяется по формуле:

$$\varphi' = \varphi + \frac{\delta}{2 \cdot l} + \frac{\Delta}{2 \cdot l}. \quad (29)$$

где δ – допуск на диаметр, мм;

Δ – зазор для обеспечения закладывания заготовки в кулачки, мм;

$$\varphi' = 0,0186 + \frac{0,025}{2 \cdot 5} + \frac{0,35}{2 \cdot 5} = 0,0561 \gg [21].$$

«Сила для обеспечения деформации мембраны определяется по

формуле:

$$P = \frac{4 \cdot \pi \cdot D \cdot \varphi'}{2,3 \cdot \lg \frac{a}{b}}, \quad (30)$$

где a – половина диаметра мембраны, мм.

$$P = \frac{4 \cdot \pi \cdot 13462 \cdot 0,0561}{2,3 \cdot \lg \frac{1,1}{3,6}} = 8506 \text{ Н} \gg [21].$$

«Напряжение в мембране определяется по формуле:

$$\sigma_2 = \frac{3 \cdot P \cdot (1 + \mu)}{2 \cdot \pi \cdot h^2} \cdot \left(\ln \frac{a}{r_0} + \frac{r_0^2}{4 \cdot a^2} \right), \quad (31)$$

где r_0 – радиус окружности контакта штока и мембраны, мм.

$$\sigma_2 = \frac{3 \cdot 8506 \cdot (1 + 0,3)}{2 \cdot \pi \cdot 0,7^2} \cdot \left(\ln \frac{11}{0,3} + \frac{0,3^2}{4 \cdot 11^2} \right) = 10778 \text{ МПа} \gg [21].$$

Выбор материала мембраны выполняем исходя из полученного значения напряжения.

«Далее рассчитываем диаметр поршня гидроцилиндра для создания требуемого усилия закрепления по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{1,27 \cdot Q}{P} + d^2}, \quad (32)$$

где d – диаметр штока, мм;

P – давление в системе, МПа» [21].

$$D = \sqrt{\frac{1,27 \cdot 8506}{1,0} + 30^2} = 89 \text{ мм}.$$

«По данному значению подбираем гидроцилиндр стандартного исполнения с округлением диаметра поршня до ближайшего большего значения равного 90 мм» [21].

«Приспособление должно обеспечивать требуемую точность

выполнения операции. В данном случае она составляет 0,0075 мм. Выполнение данного требования проверяется путем определения погрешность установки в приспособлении по формуле» [28]:

$$\epsilon_y = \sqrt{\epsilon_6^2 + \epsilon_3^2 + \epsilon_{\text{пр}}^2}, \quad (33)$$

где ϵ_6 – погрешность базирования от несовпадения измерительной и технологической баз, мм;

ϵ_3 – погрешность, возникающая при закреплении вследствие смещения измерительных баз, мм;

$\epsilon_{\text{пр}}$ – погрешность точности изготовления базирующих элементов приспособления, мм» [28].

$$\epsilon_y = \sqrt{0^2 + 0^2 + 0,003^2} = 0,003 \text{ мм.}$$

Требование по точности приспособления выполнено, следовательно, приспособление может быть использовано на данной операции.

Рассмотрим подробнее конструкцию приспособления. Основной частью патрона является корпус, выполненный из устойчивых к коррозии материалов, которая обеспечивает защиту внутренних компонентов. В корпус устанавливается мембрана, представляющая собой гибкую перегородку, обычно изготовленная из эластичного материала. Мембрана деформируется под воздействием давления, создаваемого гидроцилиндром. Подробно конструкция приспособления представлена на чертеже графической части работы и в спецификации (приложение Б «Спецификации»).

Мембранный патрон для закрепления заготовок работает по принципу создания равномерного давления на поверхность детали за счет мембраны, которая деформируется под воздействием внешнего давления. Это позволяет эффективно и надежно удерживать заготовку. Заготовка помещается в

патрон по установочным элементам. Мембрана деформируется и закрепляет заготовку в патроне.

Основным преимуществом такого патрона является обеспечение равномерного распределения давления по всей поверхности заготовки. Это предотвращает ее деформацию и обеспечивает надежное закрепление.

3.2 Разработка токарного резца

В ходе анализа технологического процесса была выявлена проблема, связанная со снижением точности обработки на токарных черновых операциях. Проанализировав причины данного явления, был сделан вывод о том, что проблема заключается в недостаточной жесткости крепления пластины. Это приводит к смещению пластины во время обработки и как следствие этого потере точности обработки. Решением данной проблемы является увеличение жесткости крепления режущей пластины. Наиболее простым и эффективным решением в данном случае является применение резца с клеевым соединением пластины [18].

«Проектирование резца выполняем с использованием методики» [18].

«Сечение державки резца рассчитывается по формуле:

$$b = \sqrt[3]{6 \cdot P_z \cdot \frac{l}{2.56} \cdot \sigma_{ид}}, \quad (34)$$

где P_z – составляющая силы резания, Н;

l – вылет, мм;

$\sigma_{ид}$ – допускаемое напряжение на изгиб, МПа» [18].

$$b = \sqrt[3]{6 \cdot 1576 \cdot \frac{60}{2.56} \cdot 200} = 15,6 \text{ мм.}$$

«С целью упрощения конструирования принимаем сечение равным 16 мм» [18].

«Рабочая высота резца рассчитывается по формуле:

$$h = 1,6 \cdot b. \quad (35)$$

$$h = 1,6 \cdot 16 = 25,3 \text{ мм} \text{ [18].}$$

Резец должен отвечать требованиям по жесткости и прочности.

«Максимально допустимая нагрузка по прочности рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{здоп}} = \frac{b \cdot h^2 \cdot \sigma_{\text{ид}}}{6 \cdot l}. \quad (36)$$

$$P_{\text{здоп}} = \frac{16 \cdot 10^{-3} \cdot (25 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 200 \cdot 10^6}{6 \cdot 60 \cdot 10^{-3}} = 2500 \text{ Н} \text{ [18].}$$

«Максимально допустимая нагрузка по жесткости рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{зжест}} = \frac{3 \cdot f \cdot E \cdot J}{l^3}. \quad (37)$$

где f – допускаемая стрела прогиба резца при черновом точении, мм;

E – модуль упругости материала корпуса резца, Па;

J – модуль инерции сечения державки, мм⁴» [18].

«Модуль инерции рассчитывается по формуле:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}. \quad (38) \text{ [18]}$$

Проводим расчеты.

$$J = \frac{16 \cdot 25^3}{12} = 20800 \text{ мм}^4.$$

$$P_{\text{зжест}} = \frac{3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 11^{11} \cdot 2,08 \cdot 10^{-8}}{(60 \cdot 10^{-3})^3} = 2770 \text{ Н}.$$

«Резец отвечает всем необходимым требованиям, если выполняется условие:

$$P_{\text{здоп}} > P_z < P_{\text{зжест}}. \quad (39)» [18]$$

В данном случае условие выполнено. «Следовательно, можно назначить конструктивные параметры резца: рабочая высота резца 25 мм; длина державки 140 мм; радиус скругления рабочей кромки 0,4 мм; длина твердосплавной пластины 25,5 мм; задний угол 6°; передний угол 20°; главный угол в плане 92°; вспомогательный угол в плане 8°» [24]. Конструкция резца подробно представлена на листе графической части работы.

В результате выполнения раздела, спроектирован мембранный патрон и токарный резец с клеевым соединением режущей пластины. Разработанные решения позволяют значительно повысить эффективность и точность обработки. Мембранный патрон обеспечивает равномерное зажатие заготовок, что минимизирует возможность их повреждения и улучшает качество обработки. «Токарный резец с клеевым соединением режущей пластины демонстрирует отличные эксплуатационные характеристики, включая устойчивость к внешним нагрузкам и долговечность» [18].

4 Безопасность и экологичность технического объекта

4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта

Проведем схематичное описание технологического процесса изготовления крышки привода.

Технологический процесс состоит из токарных и шлифовальных операций разной степени сложности. Для их выполнения используются: «станок токарно-винторезный 16К20ФЗ, патрон трехкулачковый, сверло ступенчатое, резец расточной; внутришлифовальный станок 3К227В, патрон мембранный специальный, круг шлифовальный 1-32×40×13 24А46К6V 40м/с1А ГОСТ 52781-2007» [4]. «В ходе технологического процесса используются следующие материалы и вещества: 20Х ГОСТ 4543-71, смазочно-охлаждающая жидкость, обтирочная ветошь» [4]. «Работники, выполняющие операции технологического процесса: операторы станков с числовым управлением, шлифовщики» [4].

4.2 Идентификация профессиональных рисков

Идентификацию профессиональных рисков проводим по ГОСТ 12.0.003–2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» и по Приказу Минтруда России от 28.12.2021 N 926 «Об утверждении Рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков». Результаты заносим в таблицу 5.

Таблица 5 – Идентификация профессиональных рисков

Перечень источников опасностей	Опасные и вредные производственные факторы	Риски
вращающийся шпиндель/патрон	физические (движущиеся части)	затягивание одежды, волос; травмы конечностей
металлическая стружка	физические (механические)	порезы, попадание стружки в глаза (особенно острой стружки стали 20х)
шум от станка (до 90 дб)	физические (шум)	снижение слуха, повышенная утомляемость
смазочно-охлаждающие жидкости	химические	раздражение кожи, аллергические реакции
статическая поза оператора	психофизиологические (физические перегрузки)	боли в спине, суставах, усталость
нагретая заготовка	физические (термические)	ожоги при контакте с кожей
абразивный круг	физические (механические, вибрация)	разрыв круга, травмы от разлетающихся частей
абразивная пыль (сталь 20х)	физические (пыль), химические (примесь хрома)	заболевания дыхательных путей (пневмокониоз), аллергия, интоксикация
монотонные движения	психофизиологические (монотонность)	снижение концентрации, ошибки в работе
острые кромки детали	физические (механические)	порезы рук при финишной обработке

Из таблицы 5 видно, что количество опасных и вредных производственных факторов и возникающих рисков достаточно велико. Это требует разработки мероприятий по снижению их влияния на работников производства.

4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Методы и средства снижения профессиональных рисков выбираются в соответствии с Приказом Минтруда России № 771н от 29 октября 2021 г. «Об утверждении Примерного перечня ежегодно реализуемых работодателем мероприятий по улучшению условий и охраны труда, ликвидации или снижению уровней профессиональных рисков либо недопущению повышения их уровней» и Приказом Минтруда России от 29.10.2021 N 776н

«Об утверждении Примерного положения о системе управления охраной труда» [5]. Полученные данные приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Мероприятия по улучшению условий труда и снижению профессиональных рисков

Риск	Мероприятия по улучшению условий и охраны труда (Приказ № 771н)	Методы и средства снижения рисков (Приказ № 776н, иерархия контроля рисков)
травмы от вращающихся частей станка	установка защитных экранов и блокировок (п. 9 приказа № 771н), обучение работников безопасным методам работы (п. 4)	модернизация станков с автоматической блокировкой при открытии кожуха, регулярные инструктажи, защитные очки, спецодежда
поражение металлической стружкой	внедрение систем местной вытяжки для удаления стружки (п. 10), оснащение рабочих мест крючками для безопасного удаления стружки (п. 9)	установка стружколомателей на резцах, контроль за использованием СИЗ, перчатки с антипорезным покрытием
воздействие шума (до 90–95 дБ)	установка шумопоглощающих кожухов на оборудование (п. 10), проведение аудиометрических обследований работников (п. 7)	замена оборудования на менее шумное, ограничение времени работы в шумной зоне, противошумные наушники
вдыхание абразивной пыли и паров СОЖ	монтаж пылеулавливающих установок с НЕРА-фильтрами (п. 10), замена токсичных СОЖ на менее опасные аналоги (п. 11)	системы принудительной вентиляции, обучение правилам работы с химикатами, респираторы
термические ожоги при контакте с заготовкой	автоматизация подачи/снятия деталей (п. 9), обеспечение рабочих термостойкими средствами защиты (п. 12)	использование роботов-манипуляторов, введение «холодных зон» для остывания заготовок, термостойкие перчатки
психофизиологические перегрузки	внедрение эргономичной мебели и подъемников (п. 9), организация производственной гимнастики (п. 6)	оптимизация рабочего пространства, график с перерывами каждые 50 минут, профилактика профзаболеваний

Приведенные в таблице 6 мероприятия по улучшению условий труда и снижению профессиональных рисков, разработанные с учетом действующих нормативных документов, являются достаточными для обеспечения безопасности работников, осуществляющих спроектированный технологический процесс.

4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

Определим возможные классы пожара на производственном участке. Класс D (металлы) при механической обработке возможно образование искр и металлической пыли, что приводит к риску локальных возгораний. Класс В (СОЖ и масла) возгорание промасленной ветоши или утечек СОЖ. Класс Е (электрооборудование) короткое замыкание в станках, что приводит к риску возникновения дугового разряда.

«Определяем опасные факторы пожара: пламя и искры, тепловой поток, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения, пониженная концентрация кислорода» [5].

Определим технические средства по обеспечению пожарной безопасности. Системы обнаружения и сигнализации: дымовые извещатели, тепловые извещатели, газовые анализаторы, системы видеонаблюдения. Системы автоматического пожаротушения: водяные (спринклерные), порошковые, газовые (углекислотные), аэрозольные. Средства первичного пожаротушения: огнетушители ОП-8 (порошковые), огнетушители ОУ-5 (углекислотные), пожарные краны, ящики с песком (0,5 м³). Инженерные средства защиты: противодымная вентиляция, огнестойкие перегородки, искрогасители, огнезащитная обработка. Защита электрооборудования: устройства защитного отключения, огнестойкая изоляция кабелей, молниезащита. Средства эвакуации и оповещения: световые табло «выход», звуковые оповещатели, аварийное освещение.

С целью обеспечения пожарной безопасности должны проводиться следующие организационные (организационно-технические) мероприятия: обучение и инструктажи, разработка плана эвакуации, разработка документации, организация тренировок и учений, организация контроля и аудита.

4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

Источниками экологических рисков в ходе выполнения технологического процесса приведены в таблице 7.

Таблица 7 –Источники экологических рисков

Источник	Воздействие
металлическая стружка	загрязнение почвы и воды при неправильной утилизации (сталь 20Х содержит хром)
СОЖ и масла	химическое загрязнение грунта и водоемов (токсичные компоненты)
абразивная пыль	выбросы в атмосферу (частицы металла и абразива)
шум и вибрация	акустическое загрязнение (превышение 80 дБ)
энергопотребление	углеродный след (выбросы CO ₂ от станков и печей)

С целью снижения рисков предлагается проведение следующих организационно-технических мероприятий.

Для снижения выбросов в атмосферу предлагается использовать пылеулавливающих фильтров циклон или рукавных фильтров на шлифовальных станках, использовать СОЖ с низкой токсичностью, внедрить закрытые системы обработки. При обращении с отходами предлагается выполнять сепарацию стружки и СОЖ, рециклинг металла, утилизация масел и СОЖ. Защита от шума и вибрации предполагает использование звукоизоляции оборудования и вибропоглощающих опор.

В результате выполнения данного раздела было установлено, что технологический процесс соответствует современным требованиям экологической и производственной безопасности. Реализованные меры обеспечивают защиту окружающей среды и здоровья работников. Дальнейшее улучшение показателей экологичности и безопасности технологического процесса возможно через цифровизацию контроля и расширение использования «зеленых» технологий.

5 Экономическая эффективность работы

Задача раздела – «рассчитать технико-экономические показатели проектируемого технологического проекта. Произвести сравнительный анализ с показателями базового варианта и определить экономический эффект от предложенных в проекте технических решений» [10].

Решение поставленной задачи основано на данных предыдущих разделов. Обобщенная схема изменений процесса производства представлена на рисунке 2.

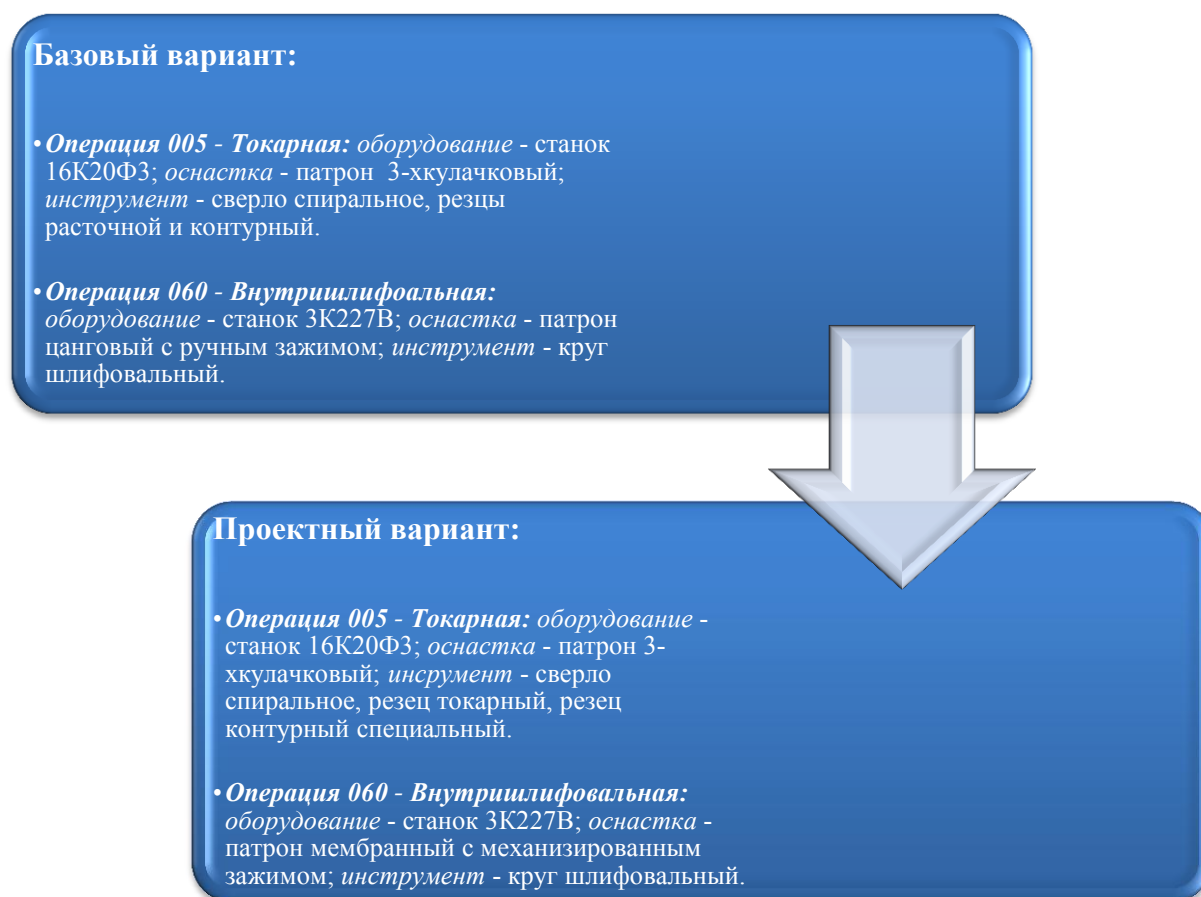


Рисунок 2 – Обобщенная схема изменений процесса производства

Обобщенная схема выделяет операции, наиболее значимые с точки зрения формирования затрат. Количественная оценка этих операций стартует с расчета технологической себестоимости по установленной методике [10].

«Величина технологической себестоимости и показатели, ее определяющие, представлены на рисунке 3» [4].

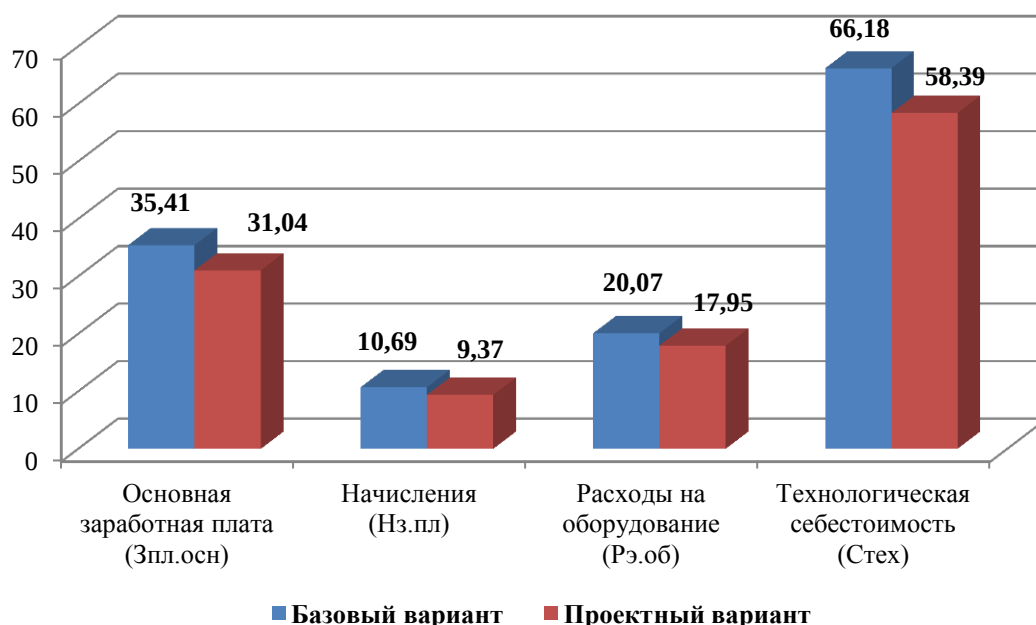


Рисунок 3 – Величина технологической себестоимости, а также, показатели из которых она формируется, руб.

Из рисунка 3 наглядно просматривается зависимость величины технологической себестоимости от основной заработной платы, которые составляют чуть более 53% от общего объема, в обоих вариантах. При этом, технологическая себестоимость не значительно зависит от величины начислений на заработную плату, доля которых составляет чуть более 16 %, также в обоих вариантах.

После выполнения всех требуемых вычислений, следующим шагом является определение объема капиталовложений в данный процесс производства, иначе говоря, требуется оценить необходимый масштаб инвестиций. Для этого прибегнем к «методике расчета капитальных вложений (инвестиций) по сравниваемым вариантам технологического процесса» [10]. «По причине того, что изменения технологического процесса касаются лишь оснастки и инструмента, инвестиции буду состоять из

частичного перечня затрат» [4]. Это будут: «затраты на проектирование ($K_{ПР}$), оснастку (K_O), инструмент ($K_{И}$) и корректировку программного обеспечения ($K_{К.П.ОБ}$)» [10]. На рисунке 4 представлены данные экономических показателей и общий объем инвестиций.

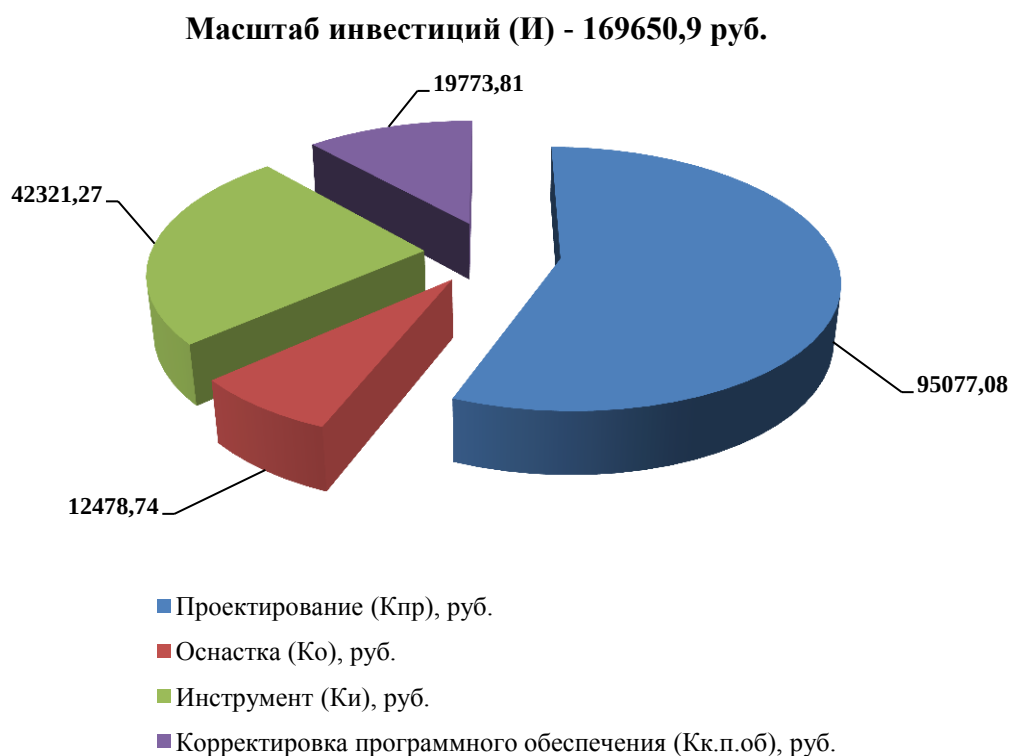


Рисунок 4 – Данные экономических показателей и общий масштаб инвестиций, руб.

Анализ данных рисунка 4 показывает, что большая часть инвестиций (56 %) приходится на проектирование. В то же время, затраты на оснастку составляют лишь 7,4 %, что является незначительной долей общих вложений.

Следующим шагом является расчет количественных значений ключевых экономических показателей: «чистой прибыли, срока окупаемости и интегрального экономического эффекта» [10]. Расчет выполняется в соответствии с «методикой расчета показателей экономической эффективности проектируемого варианта технологического процесса» [10]. Полученные значения данных показателей отражены на рисунке 5.

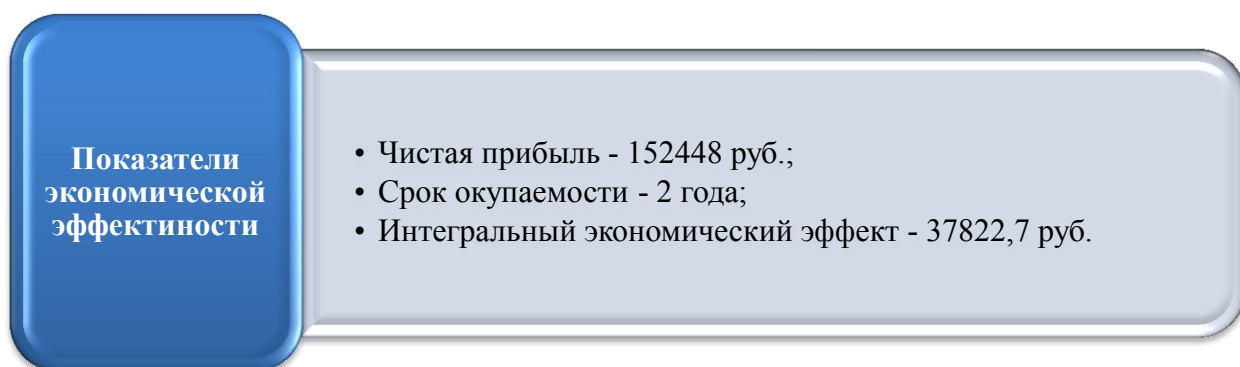


Рисунок 5 – Параметры экономических показателей

«Основываясь на проделанных расчетах, можно сделать заключение об эффективности данного технологического процесса. Все проведенные экономические исследования, подтверждают его эффективность, поскольку его реализация приведет к получению совокупного экономического эффекта в размере 37822,7 рублей» [4].

«В результате выполнения данного раздела произведена экономическая оценка преимуществ и рисков их внедрения, а также предложены рекомендации по реализации спроектированной технологии на практике» [4].

Заключение

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы были рассмотрены все этапы технологического процесса изготовления крышки привода конвейера, начиная с выбора материала и завершая определением экономической эффективности. Использование современных методов обработки на всех этапах изготовления позволило оптимизировать технологический процесс, повысив его показатели.

В ходе проведения анализа были установлены технологические параметры, оказывающие существенное влияние на эксплуатационные показатели крышки. Результаты проведенных расчетов продемонстрировали, что корректный выбор технологии и режимов обработки обеспечивает соблюдение всех необходимых показателей качества детали без увеличения ее стоимости.

В ходе выполнения работы рассмотрены вопросы автоматизации и развития базовой технологии. В ходе проектирования техпроцесса изготовления были решены задачи определения последовательности выполнения операций, при этом особое внимание уделялось выбору оптимальных технологических решений, что позволило сократить производственные затраты.

Выполнено проектирование специальных средств оснащения с применением современных методов проектирования, таких как CAD моделирование. Произведена экономическая оценка преимуществ и рисков их внедрения, а также предложены рекомендации по реализации спроектированной технологии на практике. Результаты проектирования могут быть полезны для повышения эффективности не только процесса изготовления крышки привода конвейера, но и для более широкого спектра изделий в машиностроении.

Цель данной выпускной квалификационной работы можно считать достигнутой.

Список используемых источников

1. Антимонов А. М. Основы технологии машиностроения : учебник / А. М. Антимонов. – 2-е изд., стер. – Москва : ФЛИНТА, 2020. – 176 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/143717> (дата обращения: 11.01.2025).
2. Боровский Г.В. Справочник инструментальщика / Г.В. Боровский, С.Н. Григорьев, А.Р. Маслов ; под общ. ред. А.Р. Маслова. - 2-е изд., испр. – Москва. : Машиностроение, 2007. – 463 с.
3. Воронов Д.Ю. Проектирование и производство заготовок изделий машиностроительного производства: учебно–методическое пособие / Д.Ю. Воронов, В.М. Боровков, И.В. Кузьмич. – Тольятти: ТГУ, 2018. –203 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/140032> (дата обращения: 26.01.2025).
4. Горбачевич А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие для вузов/ А.Ф. Горбачевич, В.А. Шкред. М: – ООО ИД «Альянс», 2007 – 256 с.
5. Горина Л.Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта»: учеб. –метод. пособие / Л.Н. Горина, М.И. Фесина. – Тольятти.: Изд –во ТГУ, 2021. – 22 с.
6. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – Введ. 1990-06-30. – М. : Стандартинформ, 2010. – 36 с.
7. Иванов И.С. Технология машиностроения: учеб. пособие / И.С. Иванов. - 2-е изд., перераб. и доп. – Москва. : ИНФРА-М, 2016. – 240 с. [Электронный ресурс]. – URL: <http://znanium.com/catalog/product/504931> (дата обращения: 07.04.2025).
8. Клепиков В.В. Технология машиностроения / В.В Клепиков., А.Н. Бодров. – М. : ФОРУМ ИНФРА, 2004. – 860 с.
9. Клименков С.С. Обработывающий инструмент в машиностроении:

учебник / С.С. Клименков. – Москва. : ИНФРА-М, 2013. - 459 с. [Электронный ресурс]. – URL: <http://znanium.com/catalog/product/435685> (дата обращения: 24.03.2025).

10.Краснопевцева И.В. Экономика и управление машиностроительным производством: электрон. учеб. –метод. пособие / И.В. Краснопевцева, Н.В. Зубкова. – Тольятти.: ТГУ, 2014. – 183 с. [Электронный ресурс]. – URL: <http://hdl.handle.net/123456789/13> (дата обращения: 28.04.2025).

11.Маталин А.А. Технология машиностроения : учеб. Для студ. Вузов, обуч. По спец. 151001 напр. «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроит. Производств» / А.А. Маталин. – Изд. 3-е, стер. ; Гриф УМО. – СПб. : Лань, 2010. – 512 с.

12.Назначение рациональных режимов резания при механической обработке: учеб. пособие / В.М. Кишуров [и др.]. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Санкт-Петербург. : Лань, 2018. – 216 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/102222> (дата обращения: 30.03.2025).

13.Пелевин В.Ф. Метрология и средства измерений: учеб. пособие / В.Ф. Пелевин. – Москва. : ИНФРА-М, 2017. – 273 с. [Электронный ресурс]. – URL: <http://znanium.com/catalog/product/774201> (дата обращения: 16.01.2025).

14.Пухаренко Ю.В. Механическая обработка конструкционных материалов: курсовое и диплом. проектирование: учеб. пособие / Ю.В. Пухаренко, В.А. Норин. - Санкт-Петербург. : Лань, 2018. – 240 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/99220> (дата обращения: 18.02.2025).

15.Расторгуев Д.А. Технологическая часть выпускной квалификационной работы машиностроительного направления: электронное учеб.-метод. пособие / Д.А. Расторгуев ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". – ТГУ. – Тольятти. : ТГУ, 2017. – 34 с. [Электронный ресурс] – URL: <http://hdl.handle.net/123456789/6204> (дата обращения: 11.03.2025).

16.Режущий инструмент: учебник для вузов / Д.В. Кожевников [и др.] ;

под общ. ред. С.В. Кирсанова. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – Москва. : Машиностроение, 2014. – 520 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/63256> (дата обращения: 10.03.2025).

17.Скворцов В.Ф. Основы технологии машиностроения: учеб. пособие / В.Ф. Скворцов. - 2-е изд. – Москва. : ИНФРА-М, 2016. – 330 с. [Электронный ресурс] – URL: <http://znanium.com/catalog/product/505001> (дата обращения: 20.02.2025).

18.Солоненко В.Г. Резание металлов и режущие инструменты: учеб. пособие / В.Г. Солоненко, А.А. Рыжкин. – Москва. : ИНФРА-М, 2016. – 416 с. [Электронный ресурс]. – URL: <http://znanium.com/catalog/product/549074> (дата обращения: 26.02.2025).

19.Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / А.М. Дальский [и др.] ; под ред. А. М. Дальского [и др.]. – 5-е изд., испр. – Москва. : Машиностроение-1, 2003. – 910 с.

20.Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / А.М. Дальский [и др.] ; под ред. А. М. Дальского [и др.]. – 5-е изд., испр. – Москва. : Машиностроение-1, 2003. – 941 с.

21.Схиртладзе А.Г. Технологическая оснастка машиностроительных производств: учеб. пособие для студентов вузов, обуч. по направлению "Конструкторско-технол. обеспечение машиностр. пр-в". Т. 3 / А.Г. Схиртладзе, В.П. Борискин. – 3-е изд., перераб. и доп. ; гриф УМО. – Старый Оскол. : ТНТ, 2016. – 536 с.

22.Сысоев С.К. Технология машиностроения: Проектирование технол. процессов: учеб. пособие для студентов вузов, обуч. по направлению подготовки дипломир. специалистов "Конструкторско-технол. обеспечение машиностр. пр-в" / С.К. Сысоев, А.С. Сысоев, В.А. Левко. - Санкт-Петербург. : Лань, 2016. – 349 с.

23.Химический состав и физико–механические свойства стали 20X [Электронный ресурс]. – URL: http://metallischekiy-portal.ru/marki_metallov/stk/20X (дата обращения: 18.01.2025).

24. Chryssolouris, George. Manufacturing Systems: Theory and Practice. George Chryssolouris – Patras: Publishing University of Patras, 2005. – 603 page.
25. Ertürk S., Kayabaşı O. Investigation of the cutting performance of cutting tools coated with the thermo-reactive diffusion (trd) technique. / IEEE Access. 2019. T. 7. P. 106824 – 106838.
26. Integrated processing of ferrous materials in blank production for mechanical engineering facilities. Predein V., Popov A., Komarov O., Zhilin S. // E3S WEB OF CONFERENCES. VIII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Georesources” (PCDG 2020). – 2020. C. 02009.
27. Mikołajczyk T. Predicting tool life in turning operations using neural networks and image processing. / Mikołajczyk T., Nowicki K., Bustillo A., Pimenov D.Y. // Mechanical Systems and Signal Processing. 2018. T. 104. P. 503 – 513.
28. Swic A. Method of control of machining accuracy of low-rigidity elastic-deformable shafts / A. Swic, D. Dariusz, G. Litak. // Elsevier. – 2014. V.26. P. 357-365.

Приложение А Технологическая документация

Таблица А.1 – Технологическая документация

Директор																			
Взам																			
Подп																			
Разработал	Голощабова				ТГУ Кафедра ОТМП														
Проверил	Козлов																		
Утвердил																			
Н. контр					Крышка														
М01	Сталь 20Х ГОСТ 4543-71																		
М02	Код	ЕВ	МД	ЕН	Н. расх.	КИМ	Код заготовки	Профиль и размеры				КД	МЗ						
		166	168	1		0,51	412003	φ52,2x44,3				1	3,27						
А	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наименование операции				Обозначение документа										
Б					Код, наименование оборудования				СМ	проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпрз	Тшт
А03	XX XX XX 000 Заготовительная																		
Б04	Кривошипный горячештамповочный пресс																		
О5																			
А06	XX XX XX 005 4114 Токарная																		
Б07	381148 Токарный с ЧПУ 16К20ФЗ 3 18219 312 1Р 1 1 1 1500 1 21																		
О 08	Точить поверхности 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 10 в размер φ20 ^{+0,21} , φ93,17 ^{+0,35} , φ81,32 ^{+0,3} , φ124 ^{+0,15} , 14, 1 ^{+0,21} , 24, 1 ^{+0,21}																		
О 09	32,5 ^{+0,21} , 42,1 ^{+0,25}																		
Т 10	396110 Патрон 3-х кулачковый ГОСТ 2675-80; 392101 Резец контурный специальный Т5К10; 392152																		
Т 11	Резец расточной Т5К10 ГОСТ18879-73; 391290 Сверло φ20 ГОСТ10902-77 Р6М5; 393311																		
Т 12	Штангенциркуль ШЦ-I ГОСТ 166-80.																		
13																			
А 14	XX XX XX 010 4114 Токарная																		
Б 15	381148 Токарный с ЧПУ 16К20ФЗ 3 18219 312 1Р 1 1 1 1500 1 2,25																		
О 16	Точить поверхности 11, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21 в размер φ32 ^{+0,25} , φ40,023 ^{+0,25} , φ102 ^{+0,35} , φ116,4 ^{+0,35}																		
МК																			

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

А	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наименование операции					Обозначение документа						
					Код, наименование оборудования					Код, наименование документа						
Б					СМ	проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпоз	Тшт	
0 19					0,25	33 ^{+0,25}	23 ^{+0,21}	22 ^{+0,21}	21 ^{+0,21}							
Т 20																
Т 21																
22																
А 23																
Б 24																
0 25																
Т 26																
Т 27																
28																
А 29																
Б 30																
0 31																
0 32																
Т 33																
Т 34																
35																
А 36																
Б 37																
0 38																
Т 39																
Т 40																
41																
МК																

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

А	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наименование операции	Обозначение документа										
Б	Код, наименование оборудования				СМ	проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпоз	Тшт	
А 69	XX XX XX	030	4223	Сверлильная												
Б 70	381263	Сверлильный с ЧПУ 2Н135Ф2	3	15292	312	1Р	1	1	1	1500	1				2,3	
О 71	Сверлить поверхности 12, 22, 23 в размеры $\phi 6^{+0,040}_{-0,040}$, М6.															
Т 72	396171 Оправка цанговая; 391290 Сверло $\phi 4,5$ специальное Р6М5; 391290 Сверло $\phi 6$ ГОСТ19544-74															
Т 73	Р6М5; 391311 Метчик М6 ГОСТ 3266-81 Р6М5; 393400 Калибры.															
74																
А 75	XX XX XX	035	Термическая													
76																
А 77	XX XX XX	040	4133	Плоскошлифовальная												
Б 78	381313	Плоскошлифовальный ЗГ 71	3	18873	312	1Р	1	1	1	1500	1				6,45	
О 79	Шлифовать поверхности 1, 13 в размер $37^{+0,1}_{-0,1}$.															
Т 80	396161 Плита магнитная ГОСТ16528-87; 39810 Круг шлифовальный; 394300 Скоба рычажная СР-75.															
81																
А 82	XX XX XX	045	4131	Круглошлифовальная												
Б 83	381311	Круглошлифовальный с ХГЕ IS40 3	18873	312	1Р	1	1	1	1	1500	1				1,45	
О 84	Шлифовать поверхности 6, 7 в размеры $\phi 80,06^{+0,004}_{-0,016}$, $27,1^{+0,004}_{-0,004}$.															
Т 85	396171 Оправка цанговая; 39810 Круг шлифовальный; 393413 Микрометр МК-100 ГОСТ6507-90.															
86																
А 87	XX XX XX	050	4132	Внутришлифовальная												
Б 88	381312	Внутришлифовальный ЗК227В	3	18873	312	1Р	1	1	1	1500	1				0,9	
О 89	Шлифовать поверхности 18, 21 в размеры $\phi 4,1541^{+0,007}_{-0,007}$, $\phi 117,7^{+0,054}_{-0,054}$.															
Т 90	396190 Патрон мембранный; 39810 Круг шлифовальный; 394253 Нитромер НМ-150 ГОСТ 9244-75.															
91																
МК																

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

Цех						Уч	РМ	Опер	Код, наименование операции	Обозначение документа									
Б	Код, наименование оборудования	СМ	проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпоз	Тшт							
А 94	XX XX XX 055 4131 Круглошлифовальная																		
Б 95	381311 Круглошлифовальный с XGE IS40 3 18873 312 1Р 1 1 1 1500 1												1,85						
О 96	Шлифовать поверхности 6, 7 в размеры $\phi 80_{-0,019}^{+0,004}$, $27_{-0,019}^{+0,004}$.																		
Т 97	396171 Оправка цанговая; 39810 Круг шлифовальный; 393413 Микрометр МК-100 ГОСТ 6507-90.																		
98																			
А 99	XX XX XX 060 4132 Внутришлифовальная																		
Б 100	381312 Внутришлифовальный ЗК227В 3 18873 312 1Р 1 1 1 1500 1												4,0						
О 101	Шлифовать поверхности 18, 21 в размеры $\phi 42_{-0,025}^{+0,025}$, $\phi 118_{-0,035}^{+0,035}$.																		
Т 102	396190 Патрон мембранный; 39810 Круг шлифовальный; 394253 Нитромер НМ-150 ГОСТ 9244-75.																		
103																			
А 104	XX XX XX 065 Моечная.																		
105																			
А 106	XX XX XX 070 Контрольная.																		
107																			
108																			
109																			
110																			
111																			
112																			
113																			
114																			
115																			
116																			
МК																			

Продолжение таблицы А.1



Продолжение таблицы А.1

ГОСТ 2188-82

Формат 1

Дубл.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Продолжение таблицы А.1

56

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

ГОСТ 2.116-82										Форм 1			
Дубл.													
Взам.													
Подп.													
Разраб.	Голощукова			ТГУ									
Проверил	Козлов			Кафедра ОТМП									
Н.контр.				Крышка						Цех	Уч.	Р.М.	Опер.
Наименование операции		Материал			Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры		МЗ	КОИД		
Внутришлифовальная						166	168	#152,2x44,3		3,27	1		
Оборудование, устройство ЧПУ		Обозначение программы			то	тв	тгв	тип	слож				
ЖК227В					3,2			4,0	Украина-1				
		пи	о или в	l	f	i	s	p	v				
0 ₀₁	1. Установить заготовку												
Т ₀₂	396190 Патрон мембранный; 39810 Круг шлифовальный												
0 ₀₃	2. Шлифовать поверхности 18, 21 выдерживая размеры согласно эскиза												
Р ₀₄	1 0,008 360 28												
Р ₀₅	2 0,008 360 28												
0 ₀₆	3. Открепить, снять деталь с приспособления, уложить на тележку												
0 ₀₇													
0 ₀₈													
0 ₀₉													
0 ₁₀													

Спецификации к сборочным чертежам

<i>Перед. примен.</i>						<i>Формат</i>	<i>Зона</i>	<i>Лист</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Наименование</i>	<i>Кол.</i>	<i>Примечание</i>		
										<u>Документация</u>				
									A1	25.BP.O.TM.P.018.65.00.000.CB	Сборочный чертеж			
										<u>Детали</u>				
									A3	1	25.BP.O.TM.P.018.65.00.001	Корпус патрона	1	
									A4	2	25.BP.O.TM.P.018.65.00.002	Сухарь	1	
									A4	3	25.BP.O.TM.P.018.65.00.003	Гильза	1	
									A3	4	25.BP.O.TM.P.018.65.00.004	Мембрана	1	
									A3	5	25.BP.O.TM.P.018.65.00.005	Крышка гидроцилиндра	1	
									A3	6	25.BP.O.TM.P.018.65.00.006	Коопрус гидроцилиндра	1	
									A3	7	25.BP.O.TM.P.018.65.00.007	Поршень	1	
									A4	8	25.BP.O.TM.P.018.65.00.008	Упор	3	
									A3	9	25.BP.O.TM.P.018.65.00.009	Толкатель	1	
									A4	10	25.BP.O.TM.P.018.65.00.010	Кулачок	1	
									A3	11	25.BP.O.TM.P.018.65.00.011	Шток	1	
											<u>Стандартные изделия</u>			
										12	Винт М4х22 ГОСТ 1491-80	3		
										13	Прока М8 ГОСТ 12202-66	2		
										14	Прока М10 ГОСТ 12202-66	1		
										15	Кольцо стопорное ГОСТ 9060-69	1		
										16	Уплотнение ГОСТ 8752-79	2		
										17	Уплотнение ГОСТ 8752-79	2		
									25.BP.O.TM.P.018.65.00.000					
									<i>Изм. Лист № докум Подп. Дата</i> Разработчик Голощубова Проверил Казлов Инженер Углов Адаптирование станочного приспособления ТГУ ИМ гр. ТМБдо-2101а Формат А4					

Продолжение таблицы Б.1

59