

Аннотация

Данная выпускная квалификационная работа посвящена разработке и оптимизации технологического процесса изготовления шестерни привода обрабатывающего центра «Huller-Nille», обеспечивающей передачу крутящего момента и точность работы оборудования.

Цель работы заключается в создании эффективной технологии производства, гарантирующей высокую износостойкость, точность геометрии и соответствие требованиям эксплуатации в условиях повышенных нагрузок.

В работе проведен анализ функциональных характеристик шестерни, определены критически важные параметры, а также проанализирован материал, сочетающий высокую прочность и устойчивость к усталостным нагрузкам.

Разработанный технологический маршрут включает этапы: подготовка заготовки, нарезание зубьев, термообработка, финишная шлифовка зубьев и контроль качества.

Особое внимание уделено выбору оборудования и режущего инструмента, обеспечивающих соблюдение параметров класса точности зубчатого венца. Для минимизации деформаций предложены режимы черновой и чистовой обработки, а также методы снижения внутренних напряжений при термообработке.

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

Структура работы отражает логику: от анализа требований к детали до экономического обоснования. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений, изложенных на 52 страницах пояснительной записки включая чертежи 7 листов формата А1 графической части.

Содержание

Введение.....	4
1 Определение задач работы на базе анализа исходных данных.....	5
1.1 Анализ функционального назначения детали и условий эксплуатации ..	5
1.2 Анализ технологических показателей детали	6
1.3 Анализ типа производства.....	10
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.....	23
2.4 Проектирование операций технологического процесса	25
3 Разработка специальной технологической оснастки	28
3.1 Разработка токарного патрона	28
3.2 Разработка сверла	36
4 Безопасность и экологичность технического объекта	39
4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта.....	39
4.2 Идентификация профессиональных рисков	39
4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	40
4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта	42
4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта	43
5 Экономическая эффективность работы	44
Заключение	48
Список используемых источников.....	49
Приложение А Технологическая документация.....	53
Приложение Б Спецификации к сборочным чертежам	61

Введение

Современное машиностроение предъявляет высокие требования к точности, надежности и долговечности компонентов промышленного оборудования, особенно в узлах, работающих в условиях экстремальных нагрузок. Одним из ключевых элементов обрабатывающих центров, таких как «Huller-Hille», являются шестерни привода, обеспечивающие передачу крутящего момента и синхронизацию движений. От их геометрической точности, прочности и износостойкости напрямую зависит производительность и ресурс всего оборудования. Однако разработка технологического процесса изготовления таких деталей сопряжена с рядом сложностей, включая выбор оптимальных методов обработки, минимизацию деформаций и соблюдение строгих стандартов качества. Это определяет актуальность темы исследования, направленного на совершенствование технологий производства шестерен для высоконагруженных систем.

Технологический процесс изготовления включает в себя множество этапов, начиная от разработки чертежей и выбора материалов до внедрения в производство. В условиях растущей конкуренции на рынке промышленного оборудования крайне важно иметь оптимальную технологию, чтобы обеспечить высокое качество продукции и снизить затраты на ее производство. Это требует внедрения современных подходов на всех этапах технологической подготовки производства. Для этого необходимо проанализировать и применить современные технологии обработки. Особое внимание необходимо уделить вопросам совершенствования средств технологического оснащения.

Цель работы заключается в создании эффективной технологии производства, гарантирующей высокую износостойкость, точность геометрии и соответствие требованиям эксплуатации в условиях повышенных нагрузок.

1 Определение задач работы на базе анализа исходных данных

1.1 Анализ функционального назначения детали и условий эксплуатации

«Шестерня привода обрабатывающего центра «Huller-Hille» является элементом кинематической цепи, обеспечивающей передачу крутящего момента» [5] и синхронизацию движений в высокоточных узлах оборудования.

Шестерня служит для преобразования и передачи энергии от электродвигателя к исполнительным механизмам станка (шпинделю, осям перемещения стола). Это обеспечивает возможность работы с высокими нагрузками при обработке твердых материалов, минимизацию пульсаций и вибраций, что важно для качества обработки поверхности.

Шестерня привода обрабатывающего центра «Huller-Hille» функционирует в условиях интенсивных механических, термических и динамических нагрузок. Её работоспособность и ресурс определяются совокупностью факторов, которые необходимо учитывать при проектировании и изготовлении.

Шестерня передает крутящий момент от двигателя к шпинделю или осям перемещения, испытывая переменные нагрузки, особенно при обработке твердых материалов. Ударные воздействия возникают при резком изменении режимов резания или старте и остановке оборудования.

Частота вращения валов может достигать 3000 об/мин, что приводит к значительным центробежным силам и инерционным нагрузкам. Вибрации от неравномерности вращения или дисбаланса валов создают дополнительные напряжения в зубьях. Высокий класс точности изготовления и балансировка шестерни снижают амплитуду вибраций.

В зоне зацепления зубьев температура может повышаться до 120°C из-за трения и действия смазочно-охлаждающих жидкостей. Локальный нагрев

вызывает тепловое расширение материала, что может нарушить геометрию зацепления. Для компенсации этого эффекта важна стабильность микроструктуры, достигнутая закалкой и цементацией.

Смазочно-охлаждающие жидкости, содержащие эмульсии и химические добавки, могут провоцировать поверхностную коррозию. Материал шестерни и защитное покрытие (оксидная пленка после термообработки) минимизируют этот риск.

Попадание частиц стружки или загрязнений в зону зацепления ускоряет износ зубьев. Эффективная фильтрация смазочно-охлаждающих жидкостей и высокая твердость поверхности снижают влияние абразивов.

Обрабатываемые центры часто работают в многосменном режиме, что приводит к усталостным нагрузкам. Материал шестерни должен обладать высокой сопротивляемостью усталости. Требуемый срок службы шестерни не менее 10000 часов, что достигается оптимизацией режимов термообработки и финишной шлифовкой зубьев.

Работа в цехах с высокой влажностью или загрязненным воздухом повышает риск коррозии и заклинивания. Герметизация узла привода и применение коррозионностойких материалов минимизируют эти риски.

Шестерня привода обрабатываемого центра «Huller-Hille» выполняет важную роль в обеспечении точности, мощности и надежности оборудования. Её проектирование и изготовление требуют учета комплекса факторов: от выбора материала и методов обработки до контроля геометрических и физико-механических характеристик.

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 [5].

Сталь 20X2H4A относится к категории легированных конструкционных сталей повышенной прокаливаемости, предназначенных для изготовления ответственных деталей, работающих в условиях высоких нагрузок и износа. «Химический состав стали 20X2H4A ГОСТ 4543–71: углерод от 0,16% до 0,22%, хром от 1,25% до 1,65%, никель от 3,25% до 3,65%, кремний от 0,17% до 0,37%, марганец от 0,3% до 0,6%, медь до 0,3%, сера до 0,025%, фосфор до 0,025%» [20]. «Предел прочности в состоянии поставки составляет 850 МПа» [20]. Твердость в отожжённом состоянии от 180 до 230 единиц по шкале Бринелля, что позволяет проводить обработку стандартным инструментом при показателях коэффициента обрабатываемости 0,9 для твердосплавного инструмента и 0,8 для быстрорежущего инструмента. После закалки твердость составляет от 50 до 55 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 высокую прочность и износостойкость, хорошую прокаливаемость для крупных сечений, сочетание вязкости и твердости после термообработки. К недостаткам можно отнести сложность в обработке по сравнению с углеродистыми сталями, а также высокие требования к точности назначения режимов резания.

Сталь 20X2H4A обладает высокой прочностью и износостойкостью, но

её технологичность ограничена сложностью обработки. Она подходит для изготовления ответственных деталей в авиационной, автомобильной и тяжелой промышленности при условии соблюдения требований к термообработке и механической обработке.

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 внутренние шлицы, а также канавки. К проблемным элементам конструкции детали можно отнести наличие тонких стенок и сложный профиль внутренней поверхности. Шестерня имеет стандартный эвольвентный профиль зубьев, что позволяет использовать универсальный инструмент и типовое оборудование.

Проведем оценку точности и качества поверхностей. В рассматриваемой детали наиболее точная поверхность выполнена по шестому качеству точности, наименьшая шероховатость составляет 0,63 мкм, степень точности зубчатого венца 8-B.

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 и эвольвентного профиля зубьев.

Проанализируем технологичность заготовки для рассматриваемой детали [3]. Для заготовок из стали 20Х2Н4А чаще всего используются методы изготовления заготовок горячей штамповкой или прокат. Рассмотрим данные варианты применительно к рассматриваемой шестерне. 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. Поковка улучшает структуру металла, повышает прочность. Оптимальная область применения для получения ответственных деталей. Из проведенного анализа следует, что для данного случая в условиях серийного производства оптимальна штамповка. В случае применения штамповки заготовка будет максимально приближена к форме детали, что сократит объём мехобработки.

Заготовку из стали 20Х2Н4А для шестерни можно считать технологичной при использовании штамповки с минимальными припусками.

«Технологичность механической обработки детали определяется назначением ее поверхностей» [4]. «На рисунке 1 приведен эскиз детали с номерами поверхностей» [4]. «В результате проведения классификации получаем: поверхность 24 является основной конструкторской базой, поверхности 12, 13, 14, 15 являются вспомогательной конструкторской базой, поверхность 6 является исполнительной, все остальные поверхности являются свободными» [4].

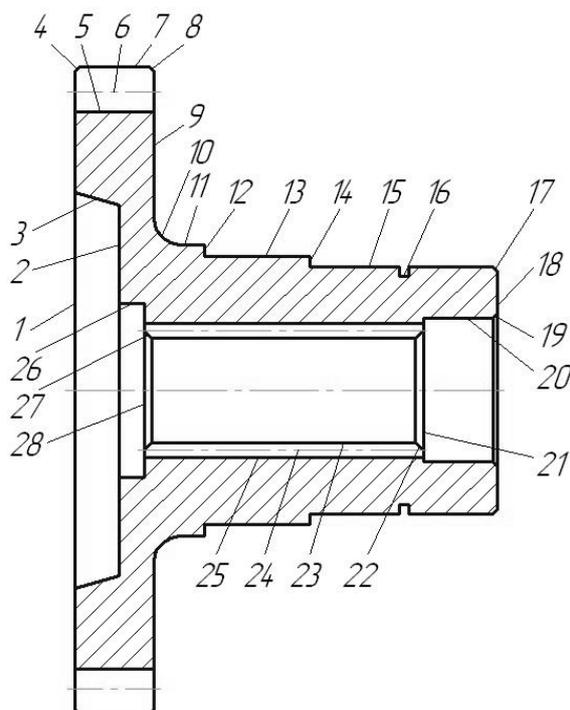


Рисунок 1 – Эскиз шестерни

Из полученных данных видно, что количество поверхностей, являющихся ответственными значительное. Размерные и геометрические допуски данных поверхностей предполагают использование точных методов обработки.

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, шестерня представляет собой высокотехнологичную деталь, которая играет ключевую роль в обеспечении надежности и эффективности работы обрабатывающего центра. Изготовленная с использованием современных материалов и передовых методов обработки, она обеспечивает прочность и долговечность, что критически важно в условиях интенсивной эксплуатации. Современные технологии производства позволяют достигать высокой точности геометрических параметров.

Высокая технологичность детали не только повышает общую производительность оборудования, но и способствует значительному снижению эксплуатационных рисков, что является важным фактором в современных производственных условиях.

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 [9], при массе детали равной 2,5 кг и годовой производственной программы

составляющей 4000 штук в год тип производства соответствует среднесерийному» [9].

Среднесерийное производство является формой организации производственного процесса, которая занимает промежуточное положение между единичным и массовым производством.

Рассмотри ключевые характеристики среднесерийного типа производства [9].

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» [5];
- «изучить вопросы утилизации отходов и минимизации экологической нагрузки» [5];
- «провести расчёт себестоимости изготовления детали, оценить эффективность предложенного процесса» [5].

В данном разделе проведен анализ исходных данных, включающий требования к функциональным характеристикам шестерни привода обрабатывающего центра «Huller-Hille», условия её эксплуатации, свойства материала и возможности производственной базы, что позволило сформулировать четкие и обоснованные задачи выпускной квалификационной работы. Поставленные задачи взаимосвязаны и направлены на достижение главной цели работы, которая заключается в создании технологического процесса, обеспечивающего высокую надежность и точность шестерни привода при минимальных производственных издержках. Результаты анализа исходных данных подтвердили необходимость комплексного подхода, объединяющего инженерные расчеты и экономическую оптимизацию. Определение задач на основе анализа исходных данных обеспечило системность исследования, позволив выделить приоритетные направления для разработки эффективного и экономически целесообразного технологического процесса.

2 Разработка технологии изготовления

2.1 Обоснование выбора и разработка заготовки

Анализ технологичности показал, что оптимальный метод получения заготовки для детали из стали 20Х2Н4А 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 в закрытых штампах на молоте и штамповку на горизонтально-ковочной машине» [17]. «Проведем экономический анализ затрат получения детали из заготовок предлагаемыми методами» [17].

«Определение общих затрат:

$$C_i = C_{zi} + C_{обри}, \quad (1)$$

где C_{zi} – себестоимость получения заготовки, руб.;

$C_{обри}$ – себестоимость механической обработки заготовки, руб.;

i – вариант получения заготовки» [5].

«Индекс заготовки штамповкой на молоте обозначим 1, а индекс заготовки штамповкой на горизонтально-ковочной машине обозначим 2» [5].

«Определение себестоимости получения заготовки:

$$C_{zi} = \frac{C_{mi} \cdot M_{zi}}{1000} \cdot K_{сп} \cdot K_T \cdot K_{сл}, \quad (2)$$

где C_{mi} – стоимость тонны материала заготовки, руб.;

M_{zi} – масса заготовки, кг;

$K_{сп}$ – коэффициент способа получения заготовки;

K_T – коэффициент точности заготовки;

$K_{сл}$ – коэффициент сложности заготовки» [5].

«Масса заготовки:

$$M_{3i} = M_d \cdot K_p, \quad (3)$$

где M_d – масса детали, кг;

K_p – коэффициент формы заготовки и способа ее получения» [5].

«Масса детали:

$$M_d = \frac{\pi}{4} \cdot (d_1^2 \cdot l_1 + d_2^2 \cdot l_2 + d_3^2 \cdot l_3 + d_4^2 \cdot l_4 - d_5^2 \cdot l_5 - d_6^2 \cdot l_6 - d_7^2 \cdot l_7 - d_8^2 \cdot l_8) \cdot \rho, \quad (4)$$

где $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8$ – диаметры поверхностей образующих контур детали, мм;

$l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7, l_8$ – длины поверхностей образующих контур детали, мм;

ρ – плотность материала, кг/мм³» [5].

$$M_d = \frac{\pi}{4} \cdot (130,78^2 \cdot 16 + 55^2 \cdot 10 + 50^2 \cdot 20 + 45^2 \cdot 45 - 29^2 \cdot 13 - 80^2 \cdot 10 - 36^2 \cdot 7 - 25^2 \cdot 63) \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 2,5 \text{ кг.}$$

«Рассчитываем массу заготовки.

$$M_{31} = 2,5 \cdot 1,48 = 3,7 \text{ кг.}$$

$$M_{32} = 2,5 \cdot 1,36 = 3,4 \text{ кг}» [5].$$

Далее рассчитываем себестоимость получения заготовки.

$$C_{31} = \frac{27000 \cdot 3,7}{1000} \cdot 0,82 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 81,9 \text{ р.}$$

$$C_{32} = \frac{27000 \cdot 3,4}{1000} \cdot 0,82 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 75,3 \text{ р.}$$

«Определение себестоимости механической обработки:

$$C_{\text{обр}i} = \frac{C_{\text{уд}} \cdot \left(\frac{1}{K_{\text{им}i}} - 1\right) \cdot M_d}{K_o}, \quad (5)$$

где $C_{\text{уд}}$ – стоимость снятия стружки, руб./кг;

$K_{\text{им}i}$ – коэффициент использования материала;

K_o – коэффициент обрабатываемости материала» [5].

«Коэффициент использования материала:

$$K_{\text{им}i} = \frac{M_{di}}{M_{zi}}. \quad (6)» [5]$$

$$K_{\text{им}1} = \frac{2,5}{3,7} = 0,68.$$

$$K_{\text{им}2} = \frac{2,5}{3,4} = 0,74.$$

«Определяем себестоимости механической обработки заготовки.

$$C_{\text{обр}1} = \frac{6,04 \cdot \left(\frac{1}{0,68} - 1\right) \cdot 2,5}{1,1} = 6,5 \text{ р.}$$

$$C_{\text{обр}2} = \frac{6,04 \cdot \left(\frac{1}{0,74} - 1\right) \cdot 2,5}{1,1} = 4,8 \text{ р.}» [5].$$

«Определяем общие затраты.

$$C_1 = 81,9 + 6,5 = 88,4 \text{ р.}$$

$$C_2 = 75,3 + 4,8 = 80,1 \text{ р.}» [5]$$

«Выбираем штамповку на горизонтально-ковочной машине для дальнейшего проектирования заготовки» [17].

«На следующем этапе проектирования заготовки необходимо составить маршруты обработки поверхностей детали» [11]. 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);
- полустистовые (достижение предварительной точности, с параметрами шероховатости до 3,2 мкм);
- «чистовые (финишная обработка, с параметрами шероховатости до 1,6 мкм)» [5];
- «отделочные (шлифование, полирование, с параметрами шероховатости до 0,63 мкм)» [5].

«Как правило, имеется несколько вариантов маршрутов обработки поверхности, поэтому окончательный выбор проводится на основе определения суммарных удельных затрат» [13]. «Результаты проектирования маршрутов обработки поверхностей отражены на листе плана изготовления детали в графической части работы» [5].

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 $50k6^{(+0,018)}_{(+0,002)}$ мм рассчитываем расчетно-аналитическим методом» [16].

«Определение минимального припуска:

$$z_{imin} = a_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}, \quad (7)$$

где a – величина дефектного слоя, мм;

Δ – величина суммарных пространственных отклонений, мм;

ε – величина погрешности установки заготовки, мм;

i – индекс текущего перехода;

$i - 1$ – индекс предыдущего перехода» [16].

«Величина дефектного слоя:

$$a = Rz + h, \quad (8)$$

где Rz – среднеарифметическая величина микронеровностей профиля поверхностного слоя, мм;

h – глубина дефектного слоя образовавшегося от предыдущей обработки, мм» [16].

«Величина суммарных пространственных отклонений:

$$\Delta = 0,25 \cdot Td, \quad (9)$$

где Td – поле допуска выполняемого размера, мм» [16].

«Определение максимального припуска:

$$z_{i \max} = z_{i \min} + 0,5 \cdot (Td_{i-1} + Td_i), \quad (10)$$

где Td_i – поле допуска выполняемого размера, мм;

Td_{i-1} – поле допуска выполняемого размера на предыдущем переходе, мм» [16].

«Определение среднего припуска:

$$z_{\text{ср}i} = 0,5 \cdot (z_{i \max} + z_{i \min}). \quad (11) \text{» [16]}$$

«Проводим расчеты.

$$z_{1min} = a_0 + \sqrt{\Delta_0^2 + \varepsilon_1^2} = 0,400 + \sqrt{0,400^2 + 0,025^2} = 0,801 \text{ мм.}$$

$$z_{2min} = a_1 + \sqrt{\Delta_1^2 + \varepsilon_2^2} = 0,200 + \sqrt{0,063^2 + 0,025^2} = 0,268 \text{ мм.}$$

$$z_{3min} = a_{T0} + \sqrt{\Delta_{T0}^2 + \varepsilon_3^2} = 0,025 + \sqrt{0,040^2 + 0,012^2} = 0,292 \text{ мм.}$$

$$z_{4min} = a_3 + \sqrt{\Delta_3^2 + \varepsilon_4^2} = 0,050 + \sqrt{0,010^2 + 0,012^2} = 0,066 \text{ мм.}$$

$$z_{1max} = z_{1min} + 0,5 \cdot (Td_0 + Td_1) = 0,801 + 0,5 \cdot (1,6 + 0,25) = 1,714 \text{ мм.}$$

$$z_{2max} = z_{2min} + 0,5 \cdot (Td_1 + Td_2) = 0,268 + 0,5 \cdot (0,25 + 0,10) = 0,443 \text{ мм.}$$

$$z_{3max} = z_{3min} + 0,5 \cdot (Td_{T0} + Td_3) = 0,292 + 0,5 \cdot (0,16 + 0,10) = 0,422 \text{ мм.}$$

$$z_{4max} = z_{4min} + 0,5 \cdot (Td_3 + Td_4) = 0,066 + 0,5 \cdot (0,039 + 0,016) = 0,094 \text{ мм.}$$

$$z_{cp1} = 0,5 \cdot (z_{1max} + z_{1min}) = 0,5 \cdot (1,714 + 0,801) = 1,258 \text{ мм.}$$

$$z_{cp2} = 0,5 \cdot (z_{2max} + z_{2min}) = 0,5 \cdot (0,443 + 0,268) = 0,356 \text{ мм.}$$

$$z_{cp3} = 0,5 \cdot (z_{3max} + z_{3min}) = 0,5 \cdot (0,422 + 0,292) = 0,357 \text{ мм.}$$

$$z_{cp4} = 0,5 \cdot (z_{4max} + z_{4min}) = 0,5 \cdot (0,094 + 0,066) = 0,080 \text{ мм} \gg [16].$$

«Минимальный диаметр:

$$d_{(i-1)min} = d_{imin} + 2 \cdot z_{imin}. \quad (12) \gg [16]$$

«Для перехода предшествующего термическому минимальный диаметр:

$$d_{(T0-1)min} = d_{(i-1)min} \cdot 0,999. \quad (13) \gg [16]$$

«Максимальный диаметр:

$$d_{(i-1)max} = d_{(i-1)min} + Td_{i-1}. \quad (14) \gg [16]$$

«Средний диаметр:

$$d_{i \text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{i \text{ max}} + d_{i \text{ min}}). \quad (15) \gg [16]$$

«Выполняем расчеты.

$$d_{4 \text{ min}} = 50,002 \text{ мм.}$$

$$d_{4 \text{ max}} = 50,018 \text{ мм.}$$

$$d_{4 \text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{4 \text{ max}} + d_{4 \text{ min}}) = 0,5 \cdot (50,018 + 50,002) = 50,100 \text{ мм.}$$

$$d_{3 \text{ min}} = d_{4 \text{ min}} + 2 \cdot z_{4 \text{ min}} = 50,002 + 2 \cdot 0,066 = 50,150 \text{ мм.}$$

$$d_{3 \text{ max}} = d_{3 \text{ min}} + Td_3 = 50,150 + 0,039 = 50,189 \text{ мм.}$$

$$d_{3 \text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{3 \text{ max}} + d_{3 \text{ min}}) = 0,5 \cdot (50,189 + 50,150) = 50,170 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{то min}} = d_{3 \text{ min}} + 2 \cdot z_{3 \text{ min}} = 50,189 + 2 \cdot 0,292 = 51,229 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{то max}} = d_{\text{то min}} + Td_{\text{то}} = 51,229 + 0,160 = 51,389 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{то ср}} = 0,5 \cdot (d_{\text{то max}} + d_{\text{то min}}) = 0,5 \cdot (51,389 + 51,229) = \\ = 51,309 \text{ мм.}$$

$$d_{2 \text{ min}} = d_{\text{то min}} \cdot 0,999 = 51,229 \cdot 0,999 = 51,188 \text{ мм.}$$

$$d_{2 \text{ max}} = d_{2 \text{ min}} + Td_2 = 51,188 + 0,100 = 51,288 \text{ мм.}$$

$$d_{2 \text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{2 \text{ max}} + d_{2 \text{ min}}) = 0,5 \cdot (51,288 + 51,188) = 51,238 \text{ мм.}$$

$$d_{1 \text{ min}} = d_{2 \text{ min}} + 2 \cdot z_{2 \text{ min}} = 51,288 + 2 \cdot 0,268 = 51,824 \text{ мм.}$$

$$d_{1 \text{ max}} = d_{1 \text{ min}} + Td_1 = 51,824 + 0,250 = 52,074 \text{ мм.}$$

$$d_{1 \text{ ср}} = 0,5 \cdot (d_{1 \text{ max}} + d_{1 \text{ min}}) = 0,5 \cdot (52,074 + 51,824) = 51,949 \text{ мм.}$$

$$d_{0 \text{ min}} = d_{1 \text{ min}} + 2 \cdot z_{1 \text{ min}} = 52,074 + 2 \cdot 0,801 = 53,676 \text{ мм.}$$

$$d_{0 \text{ max}} = d_{0 \text{ min}} + Td_0 = 53,676 + 1,600 = 55,276 \text{ мм.}$$

$$d_{0 \text{ ср}} = 0,5(d_{0 \text{ max}} + d_{0 \text{ min}}) = 0,5(55,276 + 53,676) = 54,476 \text{ мм} \gg [16].$$

«Общий минимальный припуск:

$$2z_{\text{min}} = d_{0 \text{ min}} - d_{4 \text{ max}}. \quad (16) \gg [16]$$

$$2z_{\text{min}} = 53,676 - 50,018 = 3,658 \text{ мм.}$$

«Общий максимальный припуск:

$$2z_{max} = 2z_{min} + Td_0 + Td_4. \quad (17)» [16]$$

$$2z_{max} = 3,658 + 1,600 + 0,016 = 5,274 \text{ мм.}$$

«Общий средний припуск:

$$2z_{cp} = 0,5 \cdot (2z_{min} + 2z_{max}). \quad (18)» [16]$$

$$2z_{cp} = 0,5 \cdot (3,658 + 5,724) = 4,466 \text{ мм.}$$

«Припуски на обработку оставшихся поверхностей определяются, используя табличный метод» [23]. 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. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов припусков

Поверхность	Переход	Минимальный припуск, мм	Максимальный припуск, мм
1	точение черновое	2,0	3,175
	точение чистовое	1,2	1,445
	шлифование	0,5	0,614
6	шевингование	0,15	0,23
12	точение черновое	1,8	2,705
	точение чистовое	1,0	1,147
	шлифование	0,4	0,459
13	точение черновое	2,0	3,125
	точение чистовое	0,3	0,475
	шлифование	0,25	0,32
14	точение черновое	1,6	2,525
	точение чистовое	0,9	1,075
	шлифование	0,4	0,47
	шлифование чистовое	0,3	0,339
18	точение черновое	2,0	3,175
	точение чистовое	1,2	1,445

«На заключительном этапе проектирования заготовки определяем ее характеристики по ГОСТ 7505-89» [7].

«Характеристики заготовки: класс точности заготовки Т4; группа марки материала заготовки М3; степень сложности заготовки С2; исходный индекс для определения допусков размеров заготовки И11» [7].

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

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» [5].

«Разработка технологического маршрута изготовления детали заключается в формировании отдельных операций на основе маршрутов обработки поверхностей и типовых технологических маршрутов» [19]. Все операции при этом разделяются на этапы: подготовительные, черновые, получистовые, чистовые, отделочные.

Сформированный маршрут обработки приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Технологический маршрут изготовления детали

Метод обработки	Номера поверхностей	Операция
точение	1, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18	005 Токарная
сверление	23	010 Сверлильная
точение	1, 2, 3, 4, 8, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 26, 27, 28	015 Токарная
протягивание	24, 25	020 Протяжная
зубофрезерование	5, 6	025 Зубофрезерная
шевингование	6	030 Шевинговальная
фрезерование	–	035 Зубофасочная
закалка, отпуск	все	040 Термическая
шлифование	1	045 Внутришлифовальная
шлифование	12, 13	050 Шлифовальная
шлифование	14, 15	055 Шлифовальная
шлифование	14, 15	060 Шлифовальная
мойка	все	065 Моечная
контроль	все	070 Контрольная

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» [13]. «Назначение операционных технических требований заключается в назначении допусков на размеры, шероховатости, допусков формы поверхностей и пространственных отклонений в соответствии с рекомендациями» [13].

«По результатам выполнения данного этапа, в соответствии с рекомендациями [19] формируется плана изготовления в виде листа графической части работы, а также маршрутная карта (приложение А «Технологическая документация»)» [5].

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.
- содержание операций технологического процесса;
- необходимость применения средств автоматизации и механизации;
- вид механической обработки;
- объемы производства большие;
- наличие стандартных средств оснащения;
- стоимость инвестиций в оборудование и средства технологического оснащения, а также затраты на их эксплуатацию и обслуживание.

Выбор конкретных средств технологического оснащения производится на основании данных [2], [8], [15], [18], [21], [22].

Результаты выбора средств технологического оснащения приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Средства технологического оснащения

Операция	Станок	Приспособление	Инструмент	Средство контроля
005 Токарная	токарный L550	патрон трехкулачковый специальный	резец контурный ГОСТ18879-73	штангенциркуль ШЦ-I-ГОСТ 166-80
010 Сверлильная	вертикально-сверлильный FPV 361	приспособление специальное	сверло спиральное диаметром 21 мм специальное	нутромер НМ-50 ГОСТ 10-88
015 Токарная	токарный L550 CNC	патрон трехкулачковый специальный	резцы ГОСТ 18879-73	нутромер НМ-50 ГОСТ 10-88

Продолжение таблицы 3

Операция	Станок	Приспособление	Инструмент	Средство контроля
020 Протяжная	протяжной Н 30–60	опора шаровая	протяжка шлицевая ГОСТ 25969–83	шаблон
025 Зубофрезерная	зубофрезерный 53А30П	оправка шлицевая	фреза червячная диаметром 100 мм ГОСТ 9324–80	шаблон
030 Шевинговальная	шевинговальный 5702В	оправка шлицевая	шевер дисковый диаметром 180 ГОСТ 8570–75	шаблон
035 Зубофасочная	зубофасочный ВС-320	оправка шлицевая	фреза специальная	шаблон
040 Термическая	закалочная печь	–	–	–
045 Внутришлифовальная	внутришлифовальный JH1–150 NC	оправка шлицевая	круг шлифовальный 6–50х13х32 24А80К7V30 м/с1А	скоба рычажная СР ГОСТ 11098–75
050 Шлифовальная	торцекруглошлифовальный ВUA 25В NC	оправка шлицевая	круг шлифовальный 1–300х127х100 24А54К7V2 35м/с1А	скоба рычажная СР ГОСТ 11098–75
055 Шлифовальная	торцекруглошлифовальный ВUA 25В NC	оправка шлицевая	круг шлифовальный 1–300х127х100 24А54К7V2 35м/с1А	скоба рычажная СР ГОСТ 11098–75
060 Шлифовальная	торцекруглошлифовальный ВUA 25В NC	оправка шлицевая	круг шлифовальный 1–300х127х100 24А54К7V2 35м/с1А	скоба рычажная СР ГОСТ 11098–75
065 Моечная	камерная моечная машина	–	–	–
070 Контрольная	контрольный стол	–	–	набор средств контроля

«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»» [5].

2.4 Проектирование операций технологического процесса

«Ключевым этапом проектирования операции является определение режимов резания и нормирование» [14].

Расчет режимов резания на операциях механической обработки является важным этапом в подготовке производства. Он позволяет оптимизировать параметры обработки, увеличить производительность, улучшить качество обрабатываемых деталей и продлить срок службы инструмента. «Режимы резания определим по методике» [14].

«Скорость резания:

$$V = V_T \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (19)$$

где V_T – скорость резания табличная, м/мин;

K_1 – коэффициент характеристик материала заготовки;

K_2 – коэффициент характеристик материала инструмента;

K_3 – коэффициент типа обработки» [14].

«Частота вращения шпинделя заготовки или инструмента:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d}, \quad (20)$$

где d – диаметр обрабатываемой поверхности или диаметр режущего инструмента, мм» [14].

«Далее выполняем нормирование операций механической обработки. В данном случае для нормирования операций технологического процесса применим расчетный метод» [14].

«Длина рабочего хода инструмента для каждого перехода:

$$L_{p.x.} = l_1 + l_{рез} + l_2, \quad (21)$$

где l_1 – длина врезания, мм.;

$l_{рез}$ – длина резания, мм.;

l_2 – длина перебега, мм» [14].

«Основное время на обработку:

$$T_o = \frac{L_{р.х.}}{S \cdot n}, \quad (22)$$

где S – подача, мм/об» [14].

«Результаты определения режимов резания и нормирования технологических операций представим в виде таблицы 4» [5].

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

Дальнейший анализ режимов резания поможет оптимизировать производственные процессы и добиться повышения качества обработки.

Таблица 4 – Режимы резания и нормирование

Операция	Номер перехода	Подача, мм/об	Скорость, м/мин	Частота вращения, об/мин	Основное время, мин
005 Токарная установ А	1	0,4	83	320	1,1
005 Токарная установ Б	2	0,4	83	320	0,7
010 Сверлильная	1	0,25	18	280	1,2
015 Токарная установ А	1	0,1	140	800	1,5
	2	0,1	114	1200	0,3
	3	0,04	99	630	0,16
	4	0,04	99	630	0,12
015 Токарная установ Б	5	0,1	158	630	0,9
	6	0,1	130	320	1,7
020 Протяжная	1		3,5		0,27
025 Зубофрезерная	1	1,5	60	200	1,8
030 Зубошевинговальная	1	120	12	260	0,8

Продолжение таблицы 4

Операция	Номер перехода	Подача, мм/об	Скорость, м/мин	Частота вращения, об/мин	Основное время, мин
035 Зубофасочная	1	0,3	35	600	0,6
045 Внутришлифовальная	1	1,4	30	300	0,92
050 Шлифовальная	1	1,8	35	300	0,9
055 Шлифовальная	1	1,8	35	300	0,85
060 Шлифовальная	1	0,4	40	300	1,6

Оптимальные параметры резания (скорость, подача, глубина резания), обеспечиваю­ют 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 данном разделе выполнена разработка технологии изготовления шестерни привода обрабатывающего центра «Huller-Hille» с учетом требований к точности, надежности и экономической эффективности. В ходе проектирования были успешно решены ключевые задачи, направленные на создание оптимальной технологии, соответствующей условиям эксплуатации и производственным возможностям. Предложенная технология изготовления шестерни обеспечивает соблюдение всех технических и эксплуатационных требований. Комплексный подход, объединяющий традиционные методы обработки и инновационные решения, позволил создать конкурентоспособный технологический процесс.

3 Разработка специальной технологической оснастки

3.1 Разработка токарного патрона

Проектирование специализированного токарного патрона для чистовой обработки шестерни привода обрабатывающего центра «Huller-Hille» является важным этапом совершенствования технологического процесса. Это обусловлено следующими техническими, технологическими и экономическими факторами.

Чистовая обработка шестерни (рисунок 3) предполагает достижение высокого класса точности и шероховатости поверхности. Стандартные универсальные патроны не всегда обеспечивают точное центрирование заготовки, что приводит к радиальным и осевым биениям более 0,02 мм. Специализированный патрон с индивидуальной настройкой под геометрию шестерни исключает эти погрешности.

При обработке посадочных отверстий и торцов шестерни соосность элементов напрямую влияет на работоспособность зубчатой передачи. Шестерня имеет ступицу, шлицы и зубчатый венец, что требует надежного закрепления заготовки без деформации тонкостенных участков. Универсальные патроны часто создают локальные напряжения в заготовке, особенно при чистовой обработке, где припуски минимальны. Специальный патрон с адаптивными кулачками и гидравлическим приводом обеспечивает равномерный прижим без перекосов.

Стандартные патроны требуют частой перенастройки под разные типы заготовок. Специализированный патрон, спроектированный под конкретную шестерню, уменьшает время подготовки оборудования до 40%. Интеграция патрона с ЧПУ-станком позволяет использовать программное управление зажимом, что актуально для гибкого производства.

Погрешности закрепления является одной из основных причин брака при чистовой обработке. Специальный патрон снижает риск отклонений на

20%, что экономит материал и время на переделку. Стабильное закрепление уменьшает вибрации, продлевая срок службы резцов.

Проектирование токарного патрона для чистовой операции обработки шестерни необходимое условие для достижения требуемого качества, точности и экономической эффективности процесса. Специализированное крепление устраняет риски, связанные с деформациями, биениями и человеческим фактором, обеспечивая воспроизводимость результатов в серийном производстве.

Для шестерни привода «Huller-Hille» необходимо спроектировать патрон с тремя самоцентрирующими кулачками, по рекомендациям [1].

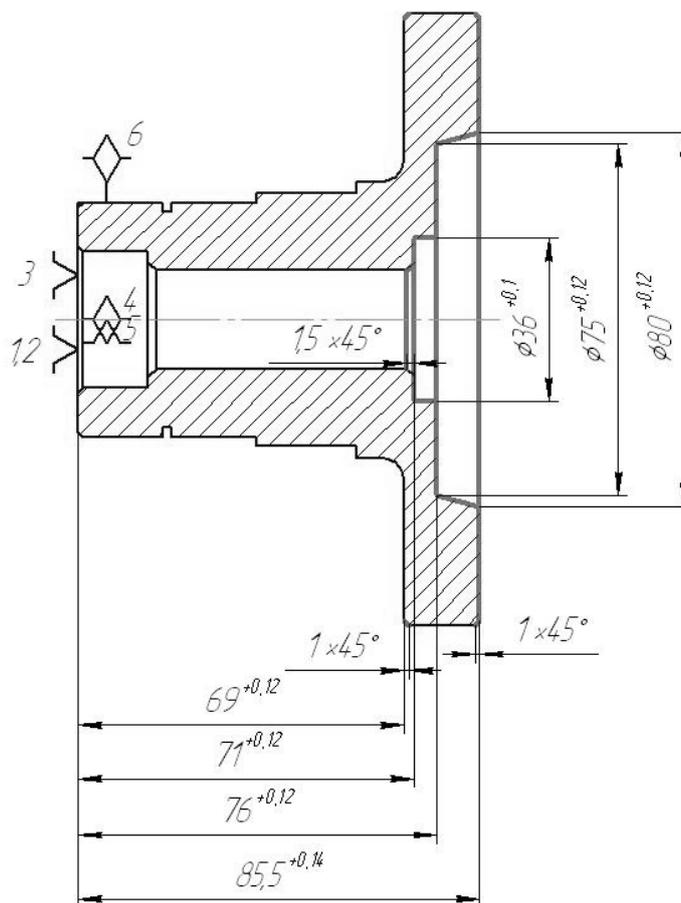


Рисунок 3 – Операционный эскиз

«Составляющие силы резания:

$$P_{Y,Z} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (23)$$

где C_p , x , y , n – коэффициент и показатели степеней, зависящие от конкретных условий обработки;

t – глубина резания, мм;

S – подача инструмента, мм/об;

V – скорость резания, м/мин;

K_p – коэффициент, учитывающий условия обработки» [16].

$$P_Y = 10 \cdot 243 \cdot 3,18^{0,9} \cdot 0,2^{0,6} \cdot 130^{-0,3} \cdot 0,9 = 547 \text{ Н.}$$

$$P_Z = 10 \cdot 300 \cdot 3,18^{1,0} \cdot 0,2^{0,75} \cdot 130^{-0,15} \cdot 0,9 = 1237 \text{ Н.}$$

«Следующим этапом является расчет моментов сил, воздействующих на заготовку в процессе обработки» [16]. «Для этого на основе расчетной схемы фиксации заготовки (рисунок 4) формируется система уравнений, описывающая моменты, возникающие под действием составляющих сил резания и силовых факторов, связанных с закреплением» [16].

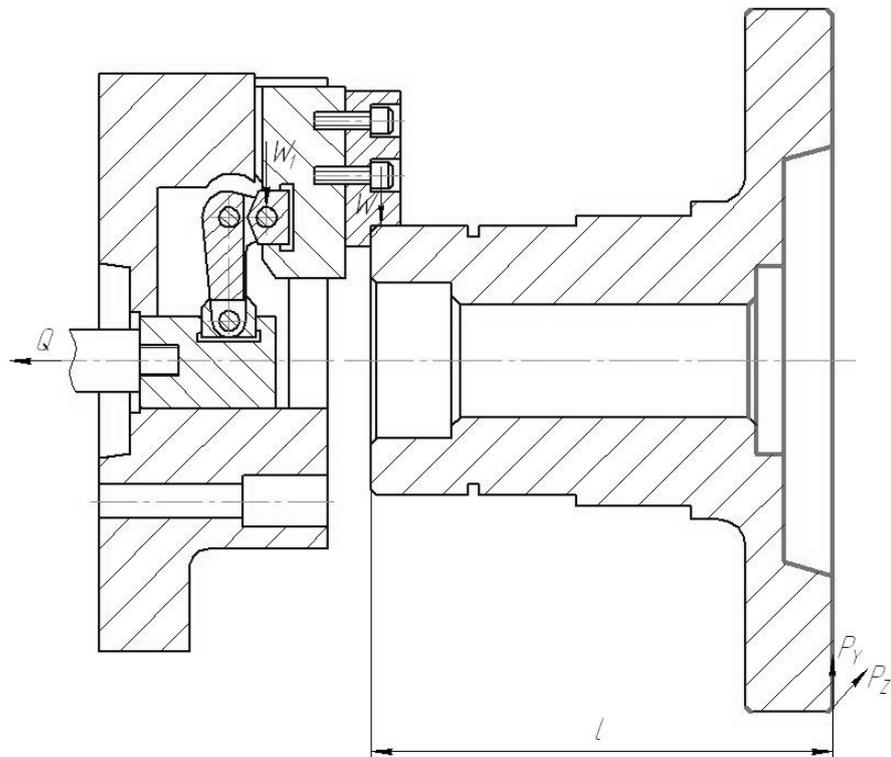


Рисунок 4 – Схема закрепления заготовки во время обработки

«Крутящий момент от составляющей P_Z силы резания:

$$M_{P_Z} = P_Z \cdot \frac{d_o}{2}, \quad (24)$$

где d_o – диаметр обрабатываемой поверхности, мм» [16].

«Момент силы зажима:

$$M_{3P_Z} = \frac{W \cdot f \cdot d_3}{2}, \quad (25)$$

где W – усилие необходимое для закрепления заготовки во время обработки, Н;

f – коэффициент;

d_3 – диаметр, за который происходит закрепление, мм» [1].

«Выводим уравнение усилия необходимого для закрепления заготовки:

$$W = \frac{P_Z \cdot d_o}{f \cdot d_3} \cdot K, \quad (26)$$

где K – коэффициент запаса, учитывающий условия выполнения операции» [1].

«Коэффициент запаса:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (27)$$

где: K_0 – гарантированный коэффициент запаса;

K_1 – коэффициент, учитывающий влияние неровностей обрабатываемой поверхности;

K_2 – коэффициент, учитывающий состояние режущего инструмента;

K_3 – коэффициент, учитывающий непостоянство сил резания;

K_4 – коэффициент, учитывающий колебания усилия на приводе;

K_5 – коэффициент, учитывающий эргономические характеристики зажимного механизма;

K_6 – вводится в расчёт только при наличии моментов, стремящихся повернуть заготовку, установленную плоской технологической базой на опоры-штыри» [1].

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,5.$$

$$W = \frac{1237 \cdot 130}{0,3 \cdot 50} \cdot 2,5 = 26801 \text{ Н.}$$

«Крутящий момент от составляющей P_Z силы резания:

$$M_{P_Z} = P_Z \cdot \frac{d_o}{2}, \quad (24)$$

где d_o – диаметр обрабатываемой поверхности, мм» [1].

«Крутящий момент от составляющей P_Y силы резания:

$$M_{P_Y} = P_Y \cdot l, \quad (28)$$

где l – расстояние между точкой приложения силы закрепления и силы резания, мм» [1].

«Момент силы зажима:

$$M_{3_{P_Y}} = \frac{2 \cdot W \cdot f \cdot d_3}{3}. \quad (29) \gg [1]$$

«Выводим уравнение усилия необходимого для закрепления заготовки:

$$W = \frac{3 \cdot P_Y \cdot l}{2 \cdot f \cdot d_3} \cdot K. \quad (30) \gg [1]$$

Выполняем расчет.

$$W = \frac{3 \cdot 547 \cdot 85}{2 \cdot 0,3 \cdot 50} \cdot 2,5 = 11623 \text{ Н.}$$

«Усилие на постоянных кулачках будет отличаться от расчетного и составит:

$$W_1 = \frac{W}{1 - \frac{3 \cdot l}{H} \cdot f_1}, \quad (31)$$

где l – вылет кулачка, мм;

H – размер направляющей постоянного кулачка, мм;

f_1 – коэффициент трения в зоне контакта направляющей и постоянного кулачка» [1].

$$W_1 = \frac{26801}{1 - \frac{3 \cdot 62}{80} \cdot 0,1} = 34919 \text{ Н.}$$

«Расчет усилия на силовом приводе:

$$Q = \frac{W_1}{i_c}, \quad (32)$$

где i_c – передаточное отношение зажимного механизма» [1].

«Передаточное отношение определяется выражением:

$$i_c = \frac{A}{B}, \quad (33)$$

где A и B – размеры плеч рычага, мм» [1].

Проводим расчет.

$$Q = \frac{34919}{2,5} = 13968 \text{ Н.}$$

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

$$D = \sqrt{\frac{1,27 \cdot Q}{P} + d^2}, \quad (34)$$

где d – диаметр штока, мм;

P – давление масла в гидросистеме, МПа» [1].

$$D = \sqrt{\frac{1,27 \cdot 13968}{5,0} + 30^2} = 90 \text{ мм.}$$

«По данному значению подбираем гидроцилиндр стандартного исполнения с округлением диаметра поршня до ближайшего большего значения равного 90 мм» [1].

«Приспособление должно обеспечивать требуемую точность выполнения операции. Выполнение данного требования проверяется путем определения погрешность установки в приспособлении по формуле, составленной по размерной схеме, приведенной на рисунке 5» [1].

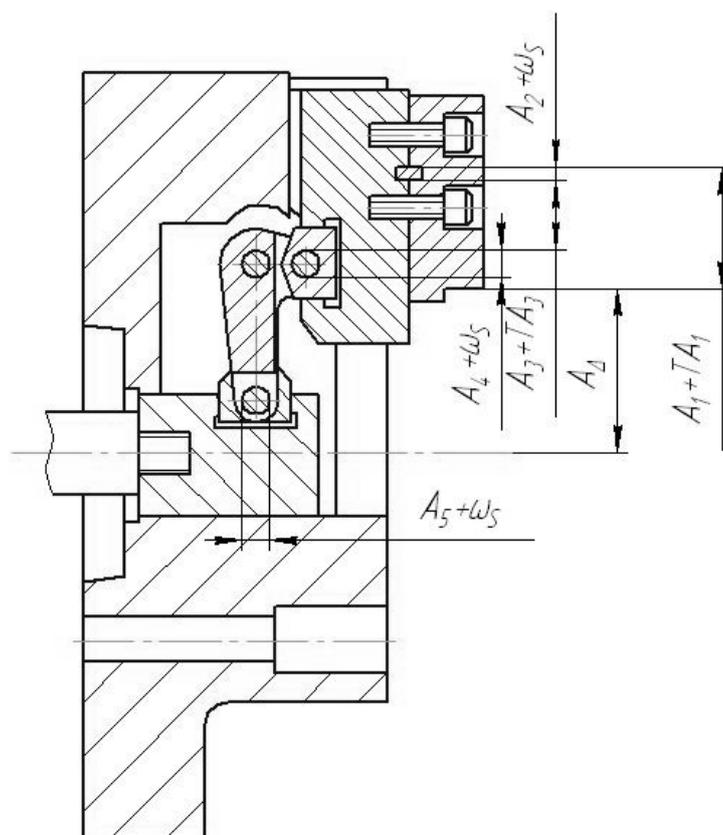


Рисунок 5 – Размерная схема патрона

«Расчетная погрешность установки в патроне:

$$\varepsilon_y = \frac{\omega \cdot A_{\Delta}}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2}, \quad (35)$$

где Δ_1 – допуск размера A_1 , мм;

Δ_2 – колебание зазора в сопряжении A_2 , мм;

Δ_3 – допуск размера A_3 , мм;

Δ_4 – колебание зазора в сопряжении A_4 , мм;

Δ_5 – колебание зазора в сопряжении A_5 , мм» [1].

$$\varepsilon_y = \frac{1}{2} \sqrt{0,025^2 + 0,015^2 + 0,018^2 + 0,015^2 + 0,015^2} = 0,02 \text{ мм.}$$

«Допустимая погрешность:

$$\varepsilon_y = 0,3 \cdot Td, \quad (36)$$

где Td – технологический допуск на выполняемый размер, мм» [1].

$$\varepsilon_y = 0,3 \cdot 0,084 = 0,026 \text{ мм.}$$

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

Токарный самоцентрирующий трехкулачковый патрон с рычажным механизмом предназначен для надежной фиксации заготовок во время обработки на токарных станках. Его конструкция обеспечивает высокую точность центрирования и равномерное распределение усилия зажима, что важно для качественного выполнения чистовых операций.

Основу патрона составляет массивный корпус, выполненный из чугуна или стали, с коническим посадочным отверстием для крепления к шпинделю станка. Внутри корпуса расположены три радиальных паза, в которых перемещаются закаленные стальные кулачки. На рабочей поверхности кулачков нанесена насечка или установлены сменные твердосплавные накладки, предотвращающие проскальзывание заготовки. Синхронное

движение кулачков обеспечивается через рычажную систему, соединенную с приводом. Благодаря синхронности движения кулачков заготовка автоматически центрируется относительно оси шпинделя с погрешностью не более 0,02 мм.

Рычажный механизм не только упрощает управление, но и усиливает прижимное усилие за счет принципа рычага. После зажима система блокируется, исключая самопроизвольное ослабление даже при высоких скоростях резания. Усилие зажима можно регулировать, изменяя длину рычагов или используя дополнительные прижимные элементы.

Патрон отличается универсальностью: сменные кулачки и накладки позволяют работать с заготовками различной формы (круглые, шестигранные) и диаметром от 10 до 300 мм.

Для долговечности механизма необходима регулярная смазка рычагов, а также своевременная замена изношенных кулачков. Благодаря сочетанию простоты, надежности и точности такой патрон остается незаменимым в серийном производстве.

3.2 Разработка сверла

Необходимость проектирования специализированного сверла обусловлено следующими техническими, технологическими и экономическими факторами. Быстрый износ режущей кромки обычных сверл из быстрорежущей стали. Риск перегрева и потери геометрии инструмента. Посадочные отверстия в шестернях должны соответствовать высоким качествам точности и шероховатости поверхности, что стандартные сверла не гарантируют. Также возможно отклонение по стабильности диаметра из-за воздействия вибраций, смещение оси отверстия из-за неравномерного распределения усилий. Кроме того геометрия специального сверла адаптирована под особенности материала, что уменьшает количество переточек благодаря износостойкости и минимизирует брак из-за поломки

инструмента.

«Проектирования сверла проведем по рекомендациям» [10].

«Диаметр сверла рассчитывается по формуле:

$$D = D_{min} + \frac{TD}{2}, \quad (37)$$

где D_{min} – минимальный диаметр отверстия, мм;

TD – допуск на выполняемый размер, мм» [10].

$$D = 21 + \frac{0,084}{2} = 21,042 \text{ мм.}$$

«Дополнительным решением для увеличения стойкости инструмента служит установка в центральной зоне сверла вставки из поликристаллического нитрида бора» [10]. «Для повышения эффективности работы режущие кромки инструмента покрывают слоем нитрида молибдена толщиной до 10 мкм» [10].

«Расчет минимального диаметра вставки:

$$d = \frac{D}{9}. \quad (38) \gg [10]$$

$$d = \frac{21,042}{9} = 2,34 \text{ мм.}$$

«Диаметр хвостовика сверла:

$$d = \frac{6 \cdot \mu_{cp} \cdot \sin \theta}{\mu \cdot P_0 \cdot (1 - 0,04 \cdot \Delta \theta)}, \quad (39)$$

где μ_{cp} – момент сопротивления силам резания, Н·м;

θ – угол конуса, град;

μ – коэффициент трения на поверхности контакта;

P_0 – осевая сила, Н;

$\Delta \theta$ – допуск угла конуса, град» [10].

$$d = \frac{6 \cdot 3,47 \cdot \sin 1^\circ 30'}{0,1 \cdot 645 \cdot (1 - 0,04 \cdot 5)} = 21,5 \text{ мм.}$$

Конструкция сверла подробно представлена на листе графической части работы и в приложении Б «Спецификации к сборочным чертежам».

В данном разделе было выполнено проектирование трёхкулачкового патрона и специализированного сверла для обработки шестерни привода обрабатывающего центра «Huller-Hille», что позволило оптимизировать технологический процесс. Разработанный патрон обеспечивает точное центрирование заготовки с погрешностью не более 0,02 мм благодаря синхронному движению кулачков и усиленной конструкции корпуса, что минимизирует деформации даже при высоких нагрузках. Его универсальность позволяет работать с заготовками различного диаметра и геометрии, сохраняя стабильность зажима и безопасность операций.

Специальное сверло сочетает быстрорежущую сталь P18Ф, вставку из поликристаллического нитрида бора и покрытие нитридом молибдена. Эти решения повысили износостойкость инструмента, снизили трение и осевые усилия, что особенно важно для сохранения геометрии тонкостенных участков шестерни. Оптимизированная геометрия сверла, включая угол при вершине 135° и спиральные каналы, обеспечила эффективный отвод стружки и сократила время обработки.

Внедрение данных элементов оснащения позволило не только повысить точность и качество отверстий, но и значительно снизить производственные издержки. Данные технологичные решения не только соответствуют требованиям высокоточной обработки, но и расширяют возможности производства, обеспечивая надёжность обработки в условиях серийного производства.

4 Безопасность и экологичность технического объекта

4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта

Проведем схематичное описание технологического процесса изготовления.

Технологический процесс изготовления шестерни включает две ключевые операции: сверление и шлифование. На этапе сверления сверловщик использует вертикально-сверлильный станок FPV 361 со специальным спиральным сверлом диаметром 21 мм, закрепляя заготовку в специальном приспособлении. При шлифовании шлифовщик применяет торцекруглошлифовальный станок BUA 25B NC с абразивным кругом. В обеих операциях используются смазочно-охлаждающие жидкости и ветошь для очистки.

«Приведенные данные по рассматриваемому технологическому процессу используем для его дальнейшего анализа на наличие профессиональных рисков, обеспечение пожарной безопасности и соответствие экологическим нормам» [6].

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» [6].

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» [6].

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»» [6]. 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, противозумные 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» [6].

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 B (СОЖ и масла) возгорание промасленной ветоши или утечек СОЖ. Класс E (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» [6].

«Определим технические средства по обеспечению пожарной безопасности» [6]. «Системы обнаружения и сигнализации: дымовые извещатели, тепловые извещатели, газовые анализаторы, системы видеонаблюдения» [6]. «Системы автоматического пожаротушения: водяные (спринклерные), порошковые, газовые (углекислотные), аэрозольные» [6]. 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)
смазочно-охлаждающая жидкость 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 смазочно-охлаждающую жидкость с низкой токсичностью, внедрить закрытые системы обработки. При обращении с отходами предлагается выполнять сепарацию стружки и смазочно-охлаждающей жидкости, рециклинг металла, утилизация масел и смазочно-охлаждающей жидкости. Защита от шума и вибрации предполагает использование звукоизоляции оборудования и вибропоглощающих опор.

В данном разделе были рассмотрены вопросы обеспечения безопасности и экологичности при изготовлении шестерни на основе комплексного подхода, объединяющего защиту персонала, минимизацию рисков и снижение воздействия на окружающую среду. Технологический процесс соответствует базовым нормам охраны труда благодаря использованию средств индивидуальной защиты, регулярным инструктажам и техническому обслуживанию оборудования.

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» [12].

Решение поставленной задачи основано на данных предыдущих разделов. Обобщенная схема процесса производства приведена на рисунке 6.

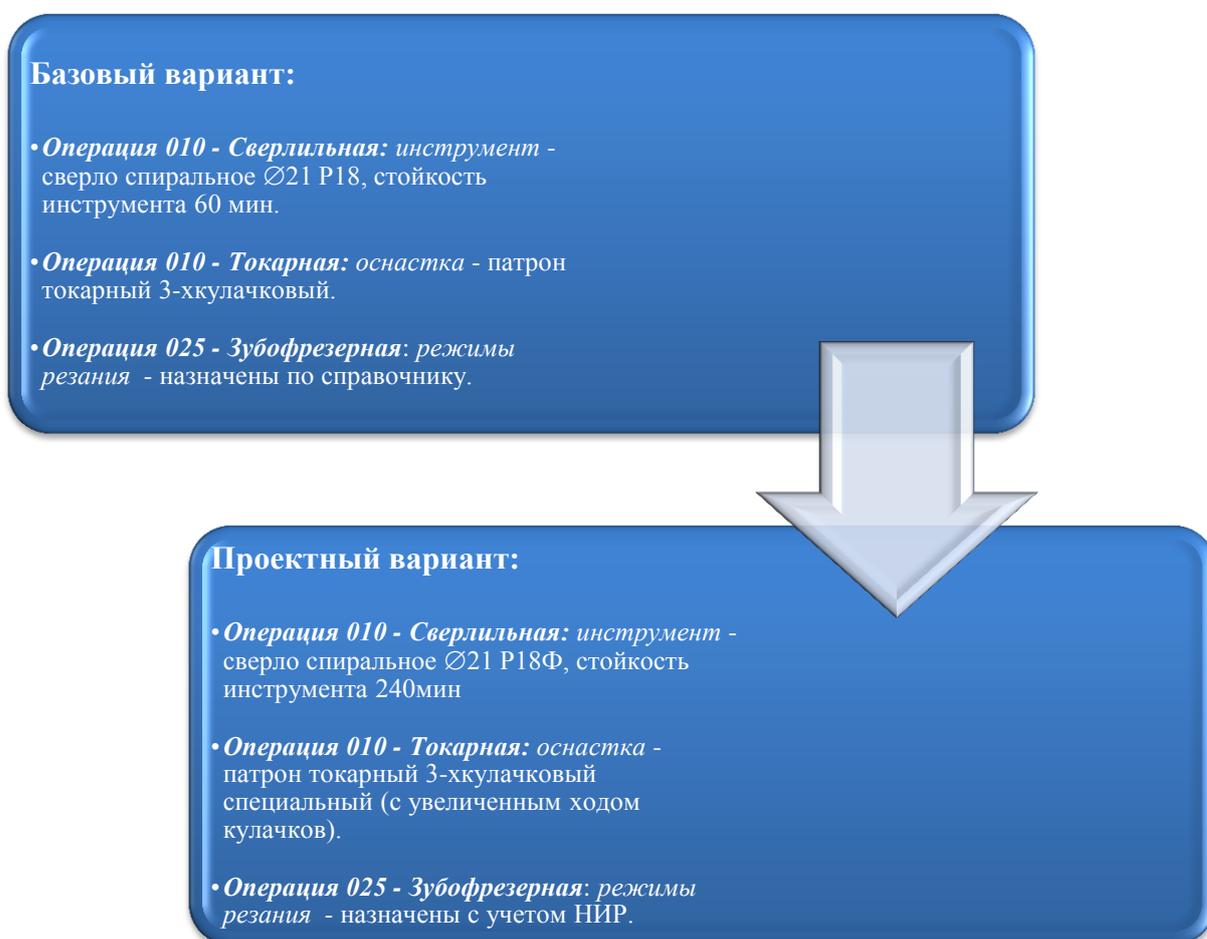


Рисунок 6 – Обобщенная схема процесса производства

Обобщенная схема содержит операции, наиболее значимые с точки зрения формирования затрат. Количественная оценка этих операций стартует с расчета технологической себестоимости по установленной методике [12].

Величина технологической себестоимости и показатели, ее определяющие, представлены на рисунке 7.

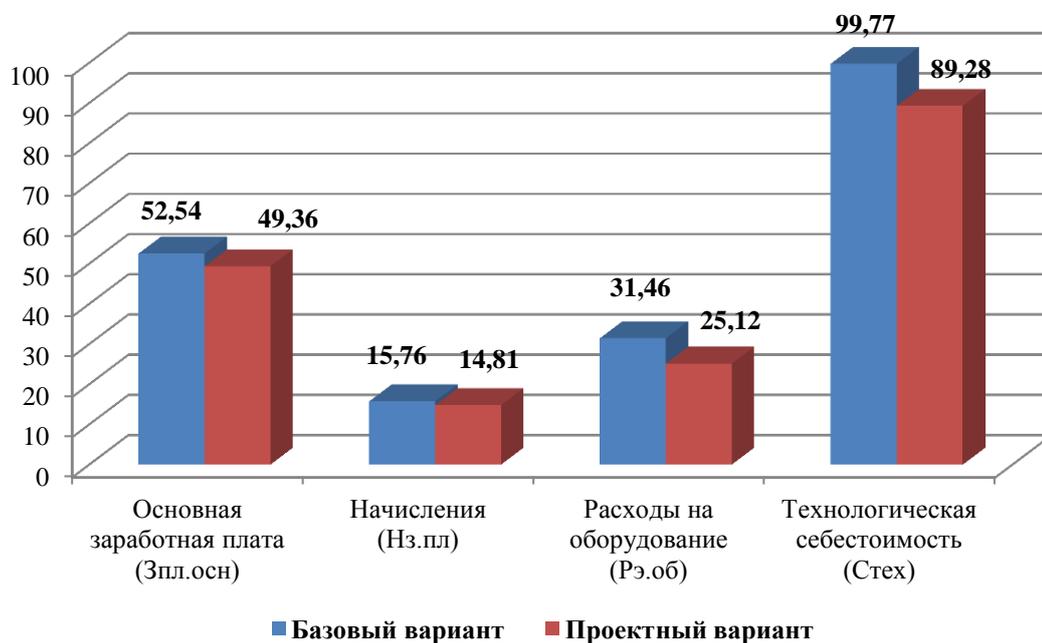


Рисунок 7 – Величина технологической себестоимости, а также, показатели из которых она формируется, руб.

Из рисунка 7 наглядно просматривается зависимость величины технологической себестоимости от основной заработной платы, которые составляют около 55 % от общего объема, в обоих вариантах. При этом, технологическая себестоимость не значительно зависит от величины начислений на заработную плату, доля которых составляет около 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» [12]. По причине того, что изменения технологического процесса касаются лишь оснастки и инструмента, расчет инвестиций будет

основываться на частичном перечне затрат. Это будут: «затраты на проектирование ($K_{ПР}$), оснастку ($K_{О}$), инструмент ($K_{И}$) и корректировку программного обеспечения ($K_{К.П.ОБ}$)» [12]. На рисунке 8 представлены данные заявленных показателей и общий масштаб инвестиций.

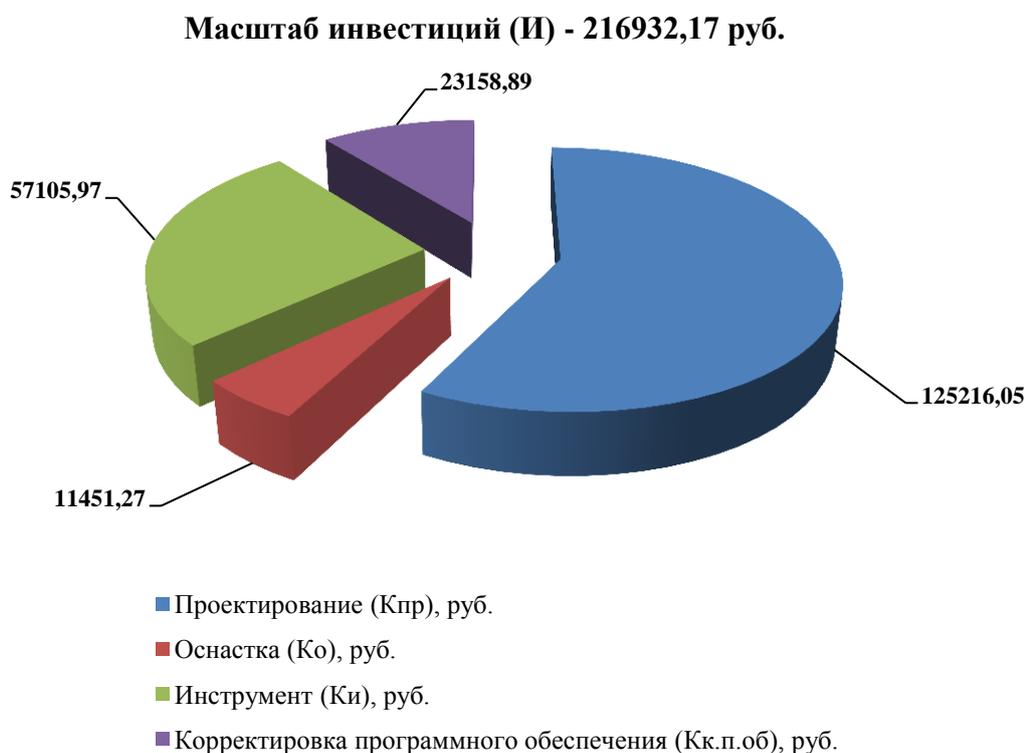


Рисунок 8 – Данные экономических показателей и общий объем инвестиций, руб.

Анализ данных рисунка 8 показывает, что подавляющая часть инвестиций (57,7 %) приходится на проектирование. В то же время, затраты на оснастку составляют лишь 5,3 %, что является незначительной долей общих вложений.

Следующим шагом является расчет количественных значений ключевых экономических показателей: «чистой прибыли, срока окупаемости и интегрального экономического эффекта» [12]. Расчет выполняется в соответствии с «методикой расчета показателей экономической

эффективности проектируемого варианта технологического процесса» [12].
Полученные значения данных показателей отражены на рисунке 9.

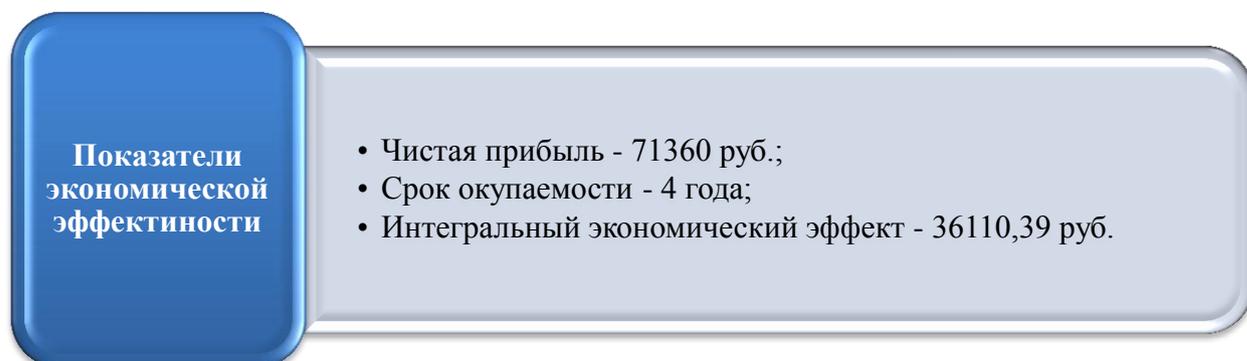


Рисунок 9 – Демонстрация параметров экономических показателей

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 36110,39 рублей.

В результате выполнения данного раздела произведена экономическая оценка преимуществ и рисков внедрения изменений в производственный процесс, которая показала, что предлагаемые мероприятия экономически эффективны.

Заключение

Выполненная выпускная квалификационная работа позволила разработать и оптимизировать технологический процесс изготовления шестерни привода обрабатывающего центра «Huller-Hille», обеспечивающий высокую точность, надежность и соответствие эксплуатационным требованиям.

В ходе выполнения работы были достигнуты следующие результаты. Установлены критические параметры шестерни, определены условия её работы в высоконагруженных узлах. Сформирован поэтапный процесс изготовления, внедрены методы минимизации деформаций: оптимизация режимов резания, использование черновой и чистовой стадий обработки, контроль внутренних напряжений при термоупрочнении. Выполнено проектирование специальных средств оснащения с применением современных методов проектирования, таких как САД моделирование.

Произведена экономическая оценка преимуществ и рисков их внедрения, которая показала, что оптимизация технологических режимов позволила сократить время обработки на 18% и снизить себестоимость на 12% за счет уменьшения брака и энергозатрат. При этом ресурс шестерни увеличен на 25%, что повысило надежность привода оборудования.

Проведенная работа демонстрирует, что рациональный выбор методов обработки, сочетание традиционных и инновационных подходов, а также строгий контроль на всех этапах производства являются залогом создания высоконадежных компонентов для промышленного оборудования.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования разработанного технологического процесса на машиностроительных предприятиях для серийного выпуска шестерен, а также в адаптации методик к другим типам зубчатых передач.

Цель данной выпускной квалификационной работы можно считать достигнутой.

Список используемых источников

1. Блюменштейн В. Ю. Проектирование технологической оснастки / В. Ю. Блюменштейн, А. А. Клепцов. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2023. – 220 с. – ISBN 978-5-507-45503-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/271247> (дата обращения: 25.04.2025)
2. Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога / У Болтон. – М. : ДМК Пресс, 2010. – 380 с.
3. Бочкова Д. Е. Проектирование заготовок в машиностроении: практикум : учебное пособие / Д. Е. Бочкова, М. Н. Бобков. – Тула : ТулГУ, 2023. – 198 с. – ISBN 978-5-7679-5333-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/427247> (дата обращения: 05.03.2025).
4. Василевская С. И. Технология машиностроения. Точность механической обработки : учебное пособие / С. И. Василевская. – Новосибирск : НГТУ, 2023. – 164 с. – ISBN 978-5-7782-5053-6. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/404756> (дата обращения: 21.03.2025).
5. Горбацевич А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие для вузов / А.Ф. Горбацевич, В.А. Шкред. М. : ООО ИД «Альянс», 2007 – 256 с.
6. 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.
7. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – Введ. 1990-01-07. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 83 с.
8. Жидяев А. Н. Режущий инструмент для станков с ЧПУ : учебное пособие / А. Н. Жидяев. – Самара : Самарский университет, 2023. – 80 с. –

ISBN 978-5-7883-1980-3. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/406526> (дата обращения: 28.04.2025).

9. Забирова Г. Р. Технология машиностроения : учебно-методическое пособие / Г. Р. Забирова. – Ульяновск : УлГУ, 2022. – 272 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/314603> (дата обращения: 18.04.2025).

10. Зубарев Ю. М. Основы резания материалов и режущий инструмент : учебник / Ю. М. Зубарев, Р. Н. Битюков. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 228 с. – ISBN 978-5-8114-4012-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/207107> (дата обращения: 06.04.2025).

11. Ковшов А. Н. Технология машиностроения : учебник / А. Н. Ковшов. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 320 с. – ISBN 978-5-8114-0833-7. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/212438> (дата обращения: 11.04.2025).

12. 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: 29.04.2025).

13. Маталин А. А. Технология машиностроения : учебник для вузов / А. А. Маталин. – 6-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 512 с. – ISBN 978-5-507-47642-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/399728> (дата обращения: 28.03.2025).

14. Назначение рациональных режимов резания при механической обработке: учебное пособие / В.М. Кишуров, М.В. Кишуров, П.П. Черников, Н. В. Юрасова. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 216 с.

[Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/121986> (дата обращения: 16.04.2025).

15.Справочник технолога : справочник / А. Г. Суслов, В. Ф. Безъязычный, Б. М. Базров [и др.] ; под общей редакцией А. Г.Суслова. – 2-е изд. – Москва : Машиностроение, 2023. – 800 с. – ISBN 978-5-907523-51-7. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/387530> (дата обращения: 27.03.2025).

16.Справочник технолога-машиностроителя в 2-х тт : справочник / В. И. Аверченков, А. В. Аверченков, Б. М. Базров [и др.] ; под редакцией А. С. Васильева, А. А. Кутина. – 7-е изд. испр. – Москва : Машиностроение, 2023. – 1574 с. – ISBN 978-5-907523-26-5. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/307325> (дата обращения: 02.04.2025).

17.Стародубов С. Ю. Проектирование заготовок в машиностроении : учебное пособие / С. Ю. Стародубов, С. Н. Кучма. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 228 с. – ISBN 978-5-9729-1630-6. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/428483> (дата обращения: 18.03.2025).

18.Тарабарин О. И. Проектирование технологической оснастки в машиностроении : учебное пособие / О. И. Тарабарин, А. П. Абызов, В. Б. Ступко. – 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 304 с. – ISBN 978-5-8114-1421-5. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/211214> (дата обращения: 26.04.2025).

19.Технология машиностроения в курсовом проектировании и в выпускной квалификационной работе : учебное пособие / И. Д. Белоновская, Н. Ю. Глинская, А. Н. Гончаров, К. В. Марусич. – 2-е изд., перераб. и доп. – Оренбург : ОГУ, 2024. – 208 с. – ISBN 978-5-7410-3249-7. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/437753> (дата обращения: 09.03.2025).

20. Химический состав и физико-механические свойства стали 20X2H4A [Электронный ресурс]. – URL: http://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/stk/20X2H4A (дата обращения: 02.03.2025).

21. Шаламов В. Г. Режущий инструмент в машиностроении : учебное пособие / В. Г. Шаламов. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 132 с. – ISBN 978-5-9729-2078-5. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/428507> (дата обращения: 14.04.2025).

22. Шишкин В.П. Основы проектирования станочных приспособлений: теория и задачи : учебное пособие / В.П. Шишкин, В.В. Закураев, А.Е. Беляев. – Москва : НИЯУ МИФИ, 2010. – 288 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/75715> (дата обращения: 18.04.2025).

23. Ямников А. С. Расчет припусков и проектирование заготовок : учебник / А. С. Ямников, Е. Ю. Кузнецов, М. Н. Бобков. – 2-е изд. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 328 с. – ISBN 978-5-9729-2012-9. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/428501> (дата обращения: 22.04.2025).

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

A	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наименование операции	Обозначение документа											
						СМ	проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпоз	Тшт	
Т 19	396171 Приспособление специальное; 391290 Сверло $\phi 21$ специальное Р18Ф; 393311 Штангенциркуль																
Т 20	ШЦ-1 ГОСТ 166-89.																
21																	
A 22	XX XX XX 015 4110 Токарная																
Б 23	381101 Токарный L550					3	18217	312	1Р	1	1	1	1200	1			5,1
О 24	Точить последовательно поверхность и торцы; Установ А пов. 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22																
О 25	в размер $\phi 51,288_{-0,1}$; $\phi 55,59_{-0,12}$; $\phi 30_{+0,004}$; $26,9_{+0,004}$; $47,2_{+0,1}$; $66_{+0,12}$; $70_{+0,12}$; $86,7_{+0,14}$ Установ Б пов.																
О 26	1, 2, 3, 4, 8, 26, 27, 28 размер $\phi 36_{+0,1}$; $\phi 75_{+0,12}$; $\phi 80_{+0,12}$; $69_{+0,12}$; $71_{+0,12}$; $76_{+0,12}$; $85,5_{+0,14}$.																
Т 27	396110 Патрон 3-х кулачковый специальный; 392101 Резец контурный ГОСТ 18879-73 Т5К10;																
Т 28	392152 Резец расточной ГОСТ 18879-73 Т30К4; 392135 Резец канавочный ГОСТ 18879-73 Т30К4;																
Т 29	392104 Резец канавочный ГОСТ 18879-73 Т30К4; 394233 Микрометр МК-80 ГОСТ 6507-90; 394253																
Т 30	Нутромер НМ-50 ГОСТ 10-88.																
31																	
A 32	XX XX XX 020 4155 Протяжная																
Б 33	381573 Горизонтально-протяжной Н30-60 3 16458 312 1Р					1	1	1	1200	1							1,2
О 34	Протянуть поверхности 24, 25 в размер; $\phi 25_{+0,032}$; $\phi 27_{+0,1}$.																
Т 35	396171 Приспособление специальное; 392341 Протяжка шлицевая Р9 ГОСТ 25969-83; 393400 Калибр.																
36																	
A 37	XX XX XX 025 4153 Зубофрезерная																
Б 38	381572 Зубофрезерный 53А30П 3 12287 312 1Р					1	1	1	1200	1							2,6
О 39	Фрезеровать пов. 6, 5 в размер 10-й степени точности																
Т 40	396171 Приспособление специальное; 391810 Фреза червячная $\phi 100$ ГОСТ 9324-80 Р9К10; 394590 Прибор																
Т 41	измерительный универсальный.																
МК																	

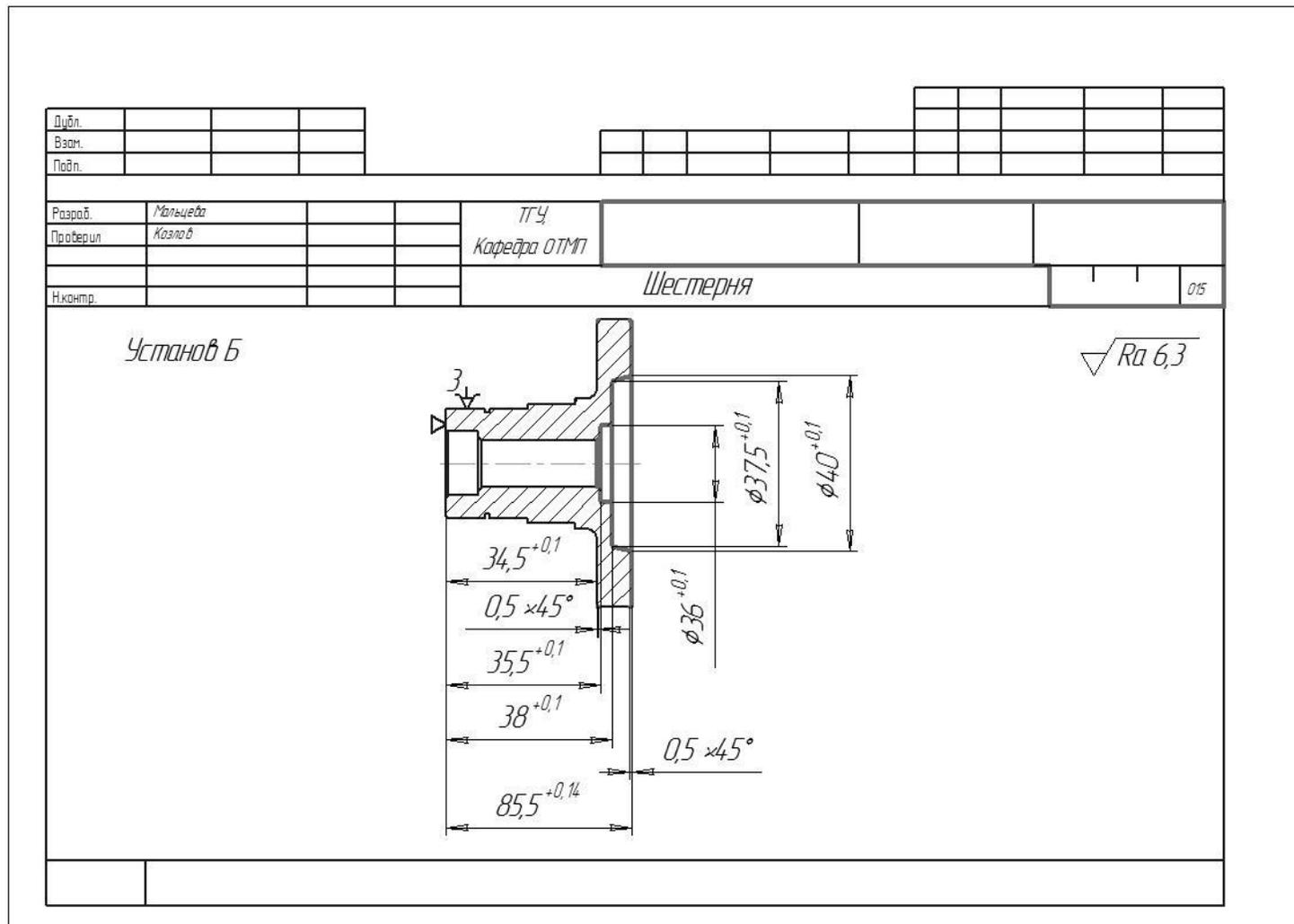
Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

А	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наименование операции	Обозначение документа											
						СМ	проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпоз	Тшт	
А 69	XX	XX	XX	030	4157 Шевинговальная												
Б 70	381574	Зубошевинговальный	5702В	3	12287	312	1Р	1	1	1	1200	1				14	
О 71	Шевинговать пов. 6 в размер 6-й степени точности																
Т 72	396171 Приспособление специальное; 391810 Шейвер дисковый Р9Ф5 ГОСТ8570-75 394300 Прибор																
Т 73	измерительный универсальный.																
74																	
А 75	XX	XX	XX	035	4162 Зубофасочная												
Б 76	381574	Зубофасочная	ВС-320А	3	12287	312	1Р	1	1	1	1200	1				12	
О 77	Выполнить фаски на зубьях.																
Т 78	396171 Приспособление специальное; 391810 Фреза Р6М5 специальная; 393400 Калибр.																
79																	
А 80	XX	XX	XX	040	Термическая												
81																	
А 82	XX	XX	XX	045	4132 Внутршлифовальная												
Б 83	381312	Внутршлифовальный	НИ-150 НС	3	18873	312	1Р	1	1	1	1200	1				1,5	
О 84	Шлифовать поверхность 1 в размер 85 ^{±0,007} .																
Т 85	396171 Приспособление специальное; 39810Круг шлифовальный; 394300Скоба рычажная СР ГОСТ11098-75.																
86																	
А 87	XX	XX	XX	050	4131 Шлифовальная												
Б 88	381311	Торцекругшлифовальный	ВУА25ВНС	3	18873	312	1Р	1	1	1	1200	1				1,5	
О 89	Шлифовать пов. 12, 13 размер $\phi 54_{-0,039}^{+0,033}$; 26 ^{±0,033} .																
Т 90	396171 Приспособление специальное; 39810Круг шлифовальный; 394300Скоба рычажная СР ГОСТ11098-75.																
91																	
МК																	

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1



Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

ГОСТ 2118-82										Форм 1			
Дубл.													
Взам.													
Подп.													
Разраб.	Мальцева			ТГУ									
Проверил	Козлов			Кафедра ОТМП									
Исполн.				Шестерня						Цех	Уч.	Р.М.	Опер.
Наименование операции		Материал		Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры			МВ	КОИД		
Токарная		Сталь 20Х2Н4А ГОСТ 4543-71		НВ 220	166	2,5	φ134x87,4			3,4	1		
Оборудование, устройства ЧПУ		Обозначение программы		то	тв	тгв	тип	сок					
L550				4,68			5,1	Blasocut 1000 CF					
		пи	о или в	L	t	i	s	p	v				
от	1. Установить заготовку												
Т.з.	396110 Патрон 3-х кулачковый специальный; 392101 Резец контурный ГОСТ 18879-73 Т5К10;												
Т.з.	392152 Резец расточной ГОСТ 18879-73 Т30К4; 392104 Резец канавочный ГОСТ 18879-73 Т30К4.												
о.з.	2. Точить последовательно поверхности и торцы: 2, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22 выдерживая												
о.з.	размеры согласно эскиза.												
Р.з.		1				1,1		0,1	800	14,0			
Р.з.		2				1,5		0,1	1200	11,4			
Р.з.		3				2,15		0,4	630	9,9			
Р.з.		4				0,9		0,4	630	9,9			
о.з.	3. Переустановить заготовку												

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

ГОСТ 2118-82										Форм 1			
Дубл.													
Взам.													
Подп.													
Разраб.	Мальцева			ТГУ									
Проверил	Козлов			Кафедра ОТМП									
Исполн.				Шестерня						Цех	Уч.	Р.М.	Опер.
Наименование операции		Материал		Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры			МВ	КОИД		
Токарная		Сталь 20Х2Н4А ГОСТ 4543-71		НВ 220	166	25	φ134x87,4			3,4	1		
Оборудование, устройство ЧПУ		Обозначение программы		то	тв	тгв	тип	сок					
L550				4,68			5,1	Blasocut 1000 CF					
		пи	о или в	L	t	i	s	p	v				
0 ₁₁	4. Точить последовательно поверхности и торцы: 33, 34, 35, 36, 40, 41, 42, 43, 44, 46 выдерживая												
0 ₁₂	размеры согласно эскиза.												
P ₁₃		3				2,5		0,1	630	158			
P ₁₄		4				3,2		0,1	320	130			
0 ₁₅	5. Открепить, снять деталь с приспособления, уложить на тележку.												
8													
17													
18													
19													
20													

Приложение Б

Спецификации к сборочным чертежам

Таблица Б.1 – Спецификации к сборочным чертежам

Формат Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме- чание
<u>Документация</u>					
A1		25.БР.ОТМП.064.65.00.000СБ	Сборочный чертеж		
<u>Детали</u>					
А4	1	25.БР.ОТМП.064.65.00.001	Корпус патрона	1	
А4	2	25.БР.ОТМП.064.65.00.002	Втулка	1	
А4	3	25.БР.ОТМП.064.65.00.003	Гидроцилиндр	1	
А4	4	25.БР.ОТМП.064.65.00.004	Сменный кулачок	3	
А4	5	25.БР.ОТМП.064.65.00.005	Крышка цилиндра	1	
А4	6	25.БР.ОТМП.064.65.00.006	Корпус гидроцилиндра	1	
А4	7	25.БР.ОТМП.064.65.00.007	Поршень	1	
А4	8	25.БР.ОТМП.064.65.00.008	Рычаг	1	
А4	9	25.БР.ОТМП.064.65.00.009	Постоянный кулачок	3	
А4	10	25.БР.ОТМП.064.65.00.010	Втулка	1	
А4	11	25.БР.ОТМП.064.65.00.011	Шток	1	
А4	12	25.БР.ОТМП.064.65.00.012	Ось	9	
А4	13	25.БР.ОТМП.064.65.00.013	Пробка	3	
<u>Стандартные изделия</u>					
	14		Винт установочный ГОСТ Р50384-92	3	
	15		Кольцо ОСТ 92-8969-78	1	
	16		Манжета ГОСТ 8752-79	3	
25.БР.ОТМП.064.65.00.000					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.	Мальцева				
Проб.	Козлов				
Н.контр.	Козлов				
Утв.	Логинов				
Патрон трехкулачковый			Лит.	Лист	Листов
				1	2
			ТГУ, ИМ гр. ТМп-2001дс		
			Копировал Формат А4		

