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 штока фрезерного приспособления

Обучающийся А.А. Задорин
(Инициалы Фамилия) (личная подпись)

Руководитель канд. техн. наук, доцент А.А. Козлов
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультанты А.Н. Кирюшкина
(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

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке и оптимизации технологического процесса изготовления штока фрезерного приспособления. Шток, как ключевой элемент конструкции, обеспечивает точность позиционирования и надежность работы фрезерного оборудования, что определяет актуальность работы. Цель работы заключается в создании эффективного и экономически обоснованного технологического процесса производства штока, обеспечивающего высокую точность изготовления, надежность и соответствие требованиям стандартов.

Структура работы включает введение, обзор данных, технологический и конструкторский разделы, экономическое и экологическое обоснование, заключение и приложения. В структуру работы входит графическая часть в объеме 7 листов формата А1 и пояснительная записка, состоящая из 55 страниц.

В работе проведен анализ существующих технологий механической обработки, рассмотрены особенности конструкции и эксплуатационные нагрузки. На основе расчетов режимов резания, выбора инструмента и оборудования предложена модернизированная технология механической обработки, включающая операции токарной, фрезерной, шлифовальной и термической обработки. Особое внимание уделено этапам чистовой обработки и контролю геометрических параметров для минимизации погрешностей.

Использованы методы компьютерного моделирования для проектирования оснастки и верификации этапов обработки. Экономическая оценка подтвердила снижение себестоимости за счет оптимизации времени производственного цикла. Проведен анализ безопасности и экологичности предлагаемых решений. Результатом работы является разработанный технологический маршрут, сопровождаемый операционными картами и рекомендациями по внедрению в производство.

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 9
1.4 Задачи работы 10
2 Разработка технологии изготовления 12
2.1 Обоснование выбора и разработка заготовки 12
2.2 Разработка плана изготовления детали 22
2.3 Выбор оборудования и технологической оснастки 24
2.4 Проектирование операций технологического процесса 27
3 Разработка специальной технологической оснастки 31
3.1 Разработка цангового патрона 31
3.2 Разработка фрезы 36
4 Безопасность и экологичность технического объекта 40
4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта 40
4.2 Идентификация профессиональных рисков 40
4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков 41
4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта 43
4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта 45
5 Экономическая эффективность работы 46
Заключение 50
Список используемых источников 51
Приложение А Технологическая документация 55
Приложение Б Спецификации к сборочным чертежам 65

Введение

Современное машиностроение предъявляет высокие требования к точности, надежности и эффективности технологических процессов, особенно при производстве ответственных деталей оборудования. Одним из таких элементов является шток фрезерного приспособления, который выполняет важную функцию в обеспечении точности позиционирования и устойчивости при обработке заготовок. Качество изготовления штока напрямую влияет на производительность оснастки, долговечность его эксплуатации и минимизацию брака.

Основной проблемой при производстве штока является необходимость соблюдения жестких требований к геометрической точности, шероховатости поверхности, а также механическим свойствам материала. Традиционные методы обработки зачастую не обеспечивают необходимой эффективности из-за высокой трудоемкости, риска деформаций и зависимости от человеческого фактора. Это требует внедрения современных подходов, включая автоматизацию, компьютерное моделирование и оптимизацию режимов резания. Применение современных методов повышения точности и эффективности производства штока позволит провести модернизацию технологических операций. Основная идея такого решения заключается в комплексном подходе к интеграции цифровых технологий в процесс изготовления детали, а также в расчете оптимальных параметров обработки, минимизирующих деформации.

Цель работы заключается в разработке и обосновании технологического процесса изготовления штока фрезерного приспособления, обеспечивающего высокое качество детали при рациональном использовании ресурсов.

Реализация описанного подхода к проектированию технологических процессов в машиностроении может быть применена для производства аналогичных деталей.

1 Определение задач работы на базе анализа исходных данных

1.1 Анализ функционального назначения детали и условий эксплуатации

Шток приспособления для закрепления деталей на фрезерной операции выполняет несколько ключевых функциональных задач, которые обеспечивают качество, точность и безопасность обработки деталей. Основная функция штока заключается в надежном и стабильном закреплении обрабатываемой детали. Это необходимо для предотвращения ее смещения во время фрезерования, что может привести к ухудшению точности и качества обработки. Шток должен гарантировать, что деталь будет зафиксирована в нужном положении относительно оси инструмента, что позволяет выполнить операции с требуемой точностью. Эффективное крепление детали помогает минимизировать вибрации. Шток, являясь частью механизированного приспособления, должен обеспечивать легкость в снятии и установке детали, что способствует повышению безопасности оператора, а также сокращает время настройки оборудования.

В процессе фрезерования происходит нагрев штока и закрепляемых деталей. При этом он может увеличиваться из-за трения и интенсивного использования инструмента.

Такие параметры как скорость фрезерования, тип используемого инструмента и повышенная производительность влияют на нагрузки, износ и приводят к возникновению вибраций. В случае длительной работы штока в условиях непрерывного производства возникают циклические нагрузки.

Выполнение операций предусматривает использование смазочно-охлаждающих жидкостей, поэтому шток работает в условиях повышенной влажности и воздействия агрессивных химикатов, что влияет на его коррозионную стойкость.

Влияние перечисленных факторов на шток может привести к ускоренному износу посадочных и рабочих поверхностей из-за дисбаланса, поломкам штока при пиковых нагрузках (усталостные трещины, деформации), повышению вибраций и шума, снижающих эффективности приспособления, риску аварийных остановок, угрозе безопасности персонала.

Выявленные особенности определяют повышенные требования к материалу штока, точности обработки, термообработке и контролю качества.

1.2 Анализ технологических показателей детали

Анализ технологических показателей детали – это комплексная оценка характеристик изделия, определяющих эффективность и целесообразность его изготовления в конкретных производственных условиях. Он направлен на выявление факторов, которые влияют на сложность, стоимость и качество производства, а также на соответствие детали эксплуатационным требованиям.

«Технологичность материала детали оценивается исходя из его химического состава и физико-механических свойств» [20]. «Данные показатели для стали 20ХГСА ГОСТ 4543-71: от 0,17% до 0,23% углерода, от 0,8% до 1,1% хрома, от 0,8% до 1,1% марганца, от 0,9% до 1,32% кремния, не более 0,3% меди, не более 0,025% серы и фосфора» [20].

Исходя из приведенных данных, можно сделать следующие выводы. Сталь хорошо поддается механической обработке как лезвийной, так и абразивной благодаря сбалансированному составу. Сталь 20ХГСА может закаливаться в масле или воде, что позволяет получать нужные механические свойства. Отжиг может быть выполнен для улучшения пластичности и снижения внутреннего напряжения. Наличие легирующих элементов, таких как хром, способствует повышению коррозионной стойкости, однако в агрессивных средах могут требоваться дополнительные меры защиты. Сталь

демонстрирует хорошую износостойкость благодаря легированию, что делает её подходящей для применения в условиях высоких механических нагрузок.

Технологичность точности и качества поверхностей оценивается исходя из их квалитетов точности и шероховатости. Наибольшие квалитеты точности на шейки с квалитетом точности 6, пазы с квалитетом точности 9, остальные поверхности имеют квалитет точности 12. Максимальная шероховатость на рабочие поверхности по параметру Ra составляет 0,32 мкм, на не ответственные поверхности 12,5 мкм. Данные параметры достижимы стандартными методами обработки, наиболее дорогостоящим из которых является чистовое шлифование с алмазной правкой кругов.

Технологичность конструкции детали оценивает, насколько геометрия детали упрощает или усложняет обработку (наличие сложных пазов, буртиков, доступность для инструмента). Однако, для полноты оценки необходимо определить какие поверхности являются наиболее значимыми для детали с точки зрения выполнения ей своего служебного назначения [4]. «Для этого выполняется эскиз детали, на котором каждой поверхности присваиваем свой индивидуальный номер (рисунок 1)» [12].

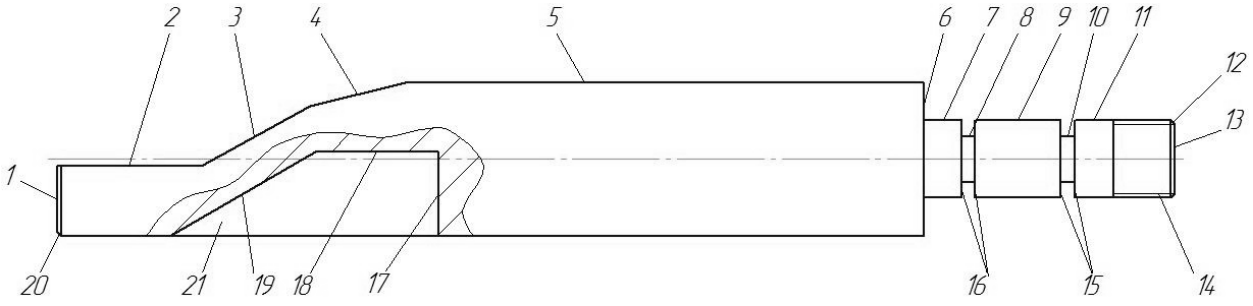


Рисунок 1 – Эскиз детали

«Классифицируем поверхности по их назначению с использованием методики» [4]. «Основными конструкторскими базами являются поверхности 5, вспомогательными конструкторскими базами являются поверхности 6, 7,

9, 21, исполнительными поверхностями являются 2, 3, 4» [4].

Проведем оценку геометрических особенностей. Посадочные шейки и пазы стандартизированы, что упрощает обработку. В конструкции присутствуют упорные буртики, галтели, которые снижают концентрацию напряжений, а также центровые отверстия, которые обеспечивают базирование при обработке.

Плюсы такой конструкции заключаются в отсутствии сложных внутренних полостей, а также применением преимущественно тел вращения, что упрощает обработку. Кроме того, в конструкции применены стандартные элементы (пазы, канавки), которые позволяют использовать универсальные средства оснащения для их получения.

Минусы конструкции заключаются в необходимости обеспечения высокой точности посадочных поверхностей, что требует использования шлифовальных операций. Кроме того, следует отметить наличие переходов с малыми радиусами (галтели), требующих специального инструмента.

С целью повышения технологических показателей детали можно предложить снижение издержек за счет оптимизации режимов резания и сокращения цикла обработки, например, совмещение операций на станках с числовым программным управлением. Основные затраты времени приходятся на чистовое шлифование и термообработку.

Сталь 20ХГСА обеспечивает высокие эксплуатационные характеристики штока, но требует сложного многоэтапного технологического процесса. Ключевые проблемы заключаются в высокой трудоемкости обработки и риске деформаций. Оптимизация режимов резания, внедрение обработки на станках с числовым программным управлением и модернизация термообработки позволяют снизить себестоимость и повысить качество изделия. Материал обоснован для применения в ответственных узлах.

Конструкция штока имеет среднюю технологичность. Несмотря на рациональную геометрию, процесс изготовления трудоемок из-за требований к материалу и высокой точности.

1.3 Анализ типа производства

В машиностроении тип производства часто определяется по таблицам, связывающим массу детали и годовую программу [8]. Для детали массой 2,08 кг годовая программа 6000 шт. попадает в категорию среднесерийного производства [8].

Среднесерийное производство – это тип организации изготовления продукции, при котором выпуск осуществляется партиями среднего размера с периодическим повторением циклов. Оно занимает промежуточное положение между мелкосерийным и крупносерийным производством.

Основные характеристики [8]:

- оборудование универсальные станки с возможностью переналадки и станки с числовым программным управлением для гибкости и точности;
- универсальная и специализированная оснастка для ключевых операций;
- рабочие выполняют несколько операций;
- применение групповой технологии для обработки деталей со схожими характеристиками;
- выпуск партиями;
- периодическое повторение производственных циклов;
- оптимизация размера партий для снижения затрат на переналадку;
- себестоимость ниже, чем в мелкосерийном производстве, за счет частичной стандартизации;
- трудоёмкость выше, чем в массовом производстве, из-за частых переналадок оборудования;

– выборочный контроль (например, проверка каждой 10-й детали в партии);
– использование стандартизированных методов для измерения геометрии, проверки твёрдости.

Преимущества среднесерийного производства заключаются в его гибкости, что обеспечивает быстрое переключение между разными типами деталей. Также данный тип производства обеспечивает снижение затрат за счёт средних объёмов выпуска и обеспечить оптимальное соотношение между универсальностью и специализацией.

К недостаткам можно отнести высокие затраты на переналадку оборудования между партиями, сложности в логистике, связанную с необходимостью управления запасами сырья и готовой продукции, ограниченная автоматизация.

С целью повышения эффективности предлагается внедрение станков с числовым программным управлением для сокращения времени переналадки, использование универсально-сборной оснастки, оптимизация размера партий, внедрение MES-систем для контроля производственных процессов.

Среднесерийное производство идеально подходит для выпуска деталей со средними объёмами и умеренной сложностью, обеспечивая баланс между гибкостью и экономической эффективностью.

1.4 Задачи работы

На основе проведенного анализа для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

– «исследовать существующие методы механической обработки валов» [8];
– «разработать технологический маршрут, включающий выбор оборудования, инструмента, режимов резания и контроля» [8];
– «выполнить проектирование оснастки и инструмента» [8];

– оценить экологическую безопасность предложенных решений;
– оценить экономическую эффективность предложенных решений.

В данном разделе проведен анализ исходных данных для разработки технологического процесса изготовления штока приспособления в ходе которого было проведено всестороннее исследование существующих методов, материалов и технологий, применяемых в данной области. Установлено, что выбор оптимальных параметров обработки и использование современных технологий способны существенно повысить качество и точность изготавливаемых изделий. Выявлены важные требования, касающиеся прочности, устойчивости и удобства в использовании, что даст возможность избежать ошибок на следующих этапах разработки и внедрения.

На основе проведенного анализа будет разработан более эффективный и экономичный вариант технологического процесса, что, в конечном итоге, положительно скажется на производительности и снижении затрат.

Таким образом, полученные результаты анализа исходных данных являются важным шагом к созданию конкурентоспособного и высококачественного продукта, отвечающего актуальным требованиям современной промышленности.

2 Разработка технологии изготовления

2.1 Обоснование выбора и разработка заготовки

В рамках методологии проектирования технологических процессов, адаптированной к условиям среднесерийного типа производства, ключевым этапом является разработка рациональной конструкции заготовки [3].

«На основании анализа технологических характеристик детали установлено» [12], что наиболее целесообразными методами получения заготовки являются: штамповка в открытых штампах на молоте и на горизонтально-ковочной машине, обеспечивающие минимизацию припусков и повышение механических свойств за счёт пластической деформации с последующей механической обработкой, характеризующаяся низкими затратами на подготовку производства.

Для определения оптимального варианта требуется выполнить сравнительную оценку экономической эффективности, включающую:

- расчёт себестоимости заготовки с учётом затрат на материал, энергоресурсы, оборудование и оплату труда;
- анализ трудоёмкости операций механической обработки в зависимости от выбранного метода;
- учёт факторов масштаба производства и возможности применения специализированной оснастки.

Критерием выбора служит минимизация совокупных затрат при соблюдении требований к качеству готовой детали по ГОСТ 7505-89 для штамповок. Результаты анализа позволят обосновать технологическую и экономическую целесообразность применения одного из методов в условиях заданного типа производства [3].

«Технологические себестоимости заготовок полученных каждым из методов, рассчитываются по формуле:

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

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» [3].

«Определение приведенных затрат:

$$C_{\text{ЗАГ}\,i} = C_{\text{б}} \cdot h_{\text{Т}} \cdot h_{\text{С}} \cdot h_{\text{В}} \cdot h_{\text{М}} \cdot h_{\text{П}}, \quad (2)$$

где i – индекс метода получения заготовки;

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

$h_{\text{Т}}$ – коэффициент, характеризующий точность метода штамповки;

$h_{\text{С}}$ – коэффициент, характеризующий сложности метода;

$h_{\text{В}}$ – коэффициент, характеризующий массу заготовки полученной данным методом;

$h_{\text{М}}$ – коэффициент, характеризующий марку материала;

$h_{\text{П}}$ – коэффициент, характеризующий годовую программу выпуска» [3].

«Индекс 1 для штамповки в открытых штампах на молоте, индекс 2 для горизонтально-ковочной машины» [3].

$C_{\text{ЗАГ}\,1,2} = 75{,}12 \cdot 1{,}06 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}82 \cdot 2{,}2 \cdot 0{,}5 = 50{,}28$ р.

«Масса заготовки:

$$«Q_i = q \cdot K_P, \quad (3)$$

где K_P – коэффициент, зависящий от метода получения заготовки и геометрических особенностей детали» [3].

«Масса детали определяется по формуле:

$$q = V \cdot \rho, \quad (4)$$

где V – коэффициент, учитывающий особенности метода получения и формы заготовки, см^3;

ρ – плотность материала детали, кг/см^3» [3].

«Выполняем расчеты.

$q = (\frac{\pi}{4} \cdot (0{,}04^2 \cdot 0{,}065 + 0{,}04^2 \cdot 0{,}225) - 0{,}032 \cdot 0{,}022 \cdot 0{,}012 - 0{,}5 \times$

$\times\, 0{,}038 \cdot 0{,}022 \cdot 0{,}012) \cdot 0{,}776 = 2{,}7$ кг.

$Q_1 = 2{,}7 \cdot 1{,}6 = 4{,}32$ кг.

$Q_2 = 2{,}7 \cdot 1{,}4 = 3{,}78$ кг» [3].

«Приведенные затрат на снятие стружки:

$$C_{\text{МЕХ}\,i} = C_{\text{С}} + E_{\text{Н}} \cdot C_{\text{К}}, \quad (5)$$

где $C_{\text{С}}$ – текущие затраты на снятие одного кг стружки, руб.;

$C_{\text{К}}$ – капитальные вложения на снятие одного кг стружки, руб.;

$E_{\text{Н}}$ – коэффициент, характеризующий эффективности капитальных вложений» [3].

$C_{\text{МЕХ}\,1,2} = 3{,}56 + 0{,}1 \cdot 10{,}35 = 4{,}6$ р.

«Определяем значения технологических себестоимостей» [3].

$C_{\text{Т1}} = 50{,}28 \cdot 4{,}32 + 4{,}6 \cdot (4{,}32 - 2{,}08) - 1{,}4 \cdot (4{,}32 - 2{,}08) = 224{,}38$ р.

$C_{\text{Т1}} = 50{,}28 \cdot 3{,}78 + 4{,}6 \cdot (3{,}78 - 2{,}08) - 1{,}4 \cdot (3{,}78 - 2{,}08) = 195{,}5$ р.

Метод получения заготовки на горизонтально-ковочной машине имеет лучшие показатели, поэтому дальнейшее проектирование будем проводить для данного метода получения заготовки [3].

Последующей стадией проектирования заготовки является формирование технологических маршрутов обработки. Оптимизация данного

этапа достигается посредством сравнительного анализа суммарных удельных трудоёмкостей альтернативных технологических маршрутов, с учётом заданных эксплуатационных параметров поверхности (шероховатость, твёрдость, точность геометрии).

Критерием выбора оптимального варианта выступает минимизация ресурсных затрат при обеспечении соответствия обработанных поверхностей требованиям технической документации (например, ГОСТ 2789-73 для шероховатости, ГОСТ 2.309-73 для обозначения покрытий). Для реализации метода применяются:

- расчётные модели, связывающие режимы обработки (скорость резания, подача, глубина) с достижимыми параметрами качества;
- нормативные данные по трудоёмкости операций (токарная, фрезерная, шлифовальная обработка);
- эмпирические зависимости для оценки износа инструмента и энергопотребления.

Синтез маршрута базируется на принципах системного подхода, где последовательность операций определяется иерархией точности (от черновой к финишной обработке) и технологической совместимостью методов, например, сочетание токарной обработки с последующим шлифованием. Результатом этапа является рациональная схема, обеспечивающая воспроизводимость характеристик при заданном типе производства, приведенная в таблице 1 по данным [7].

Таблица 1 – Маршрут обработки поверхностей

Поверхность	Тип поверхности	Квалитет точности	Шероховатость Ra, мкм	Маршрут обработки
1	плоская	12,5	12	фрезерование, закалка и отпуск
2	плоская	2,5	10	фрезерование, закалка и отпуск, шлифование
3	плоская	2,5	10	фрезерование, закалка и отпуск, шлифование

Продолжение таблицы 1

Поверхность	Тип поверхности	Квалитет точности	Шероховатость Ra, мкм	Маршрут обработки
4	плоская	2,5	10	фрезерование, закалка и отпуск, шлифование
5	цилиндрическая	0,32	6	точение, точение чистовое, закалка и отпуск, шлифование, шлифование чистовое, полирование
6	плоская	1,6	12	точение, точение чистовое, закалка и отпуск, шлифование, шлифование чистовое
7	цилиндрическая	0,63	6	точение, точение чистовое, закалка и отпуск, шлифование, шлифование чистовое
8	цилиндрическая	6,3	10	точение чистовое, закалка и отпуск
9	цилиндрическая	0,63	6	точение, точение чистовое, закалка и отпуск, шлифование, шлифование чистовое
10	цилиндрическая	6,3	10	точение чистовое, закалка и отпуск
11	цилиндрическая	0,63	6	точение, точение чистовое, закалка и отпуск, шлифование, шлифование чистовое
12	коническая	12,5	12	точение чистовое, закалка и отпуск
13	плоская	12,5	12	фрезерование, закалка и отпуск
14	винтовая	6,3	10	резьбонарезание, закалка и отпуск
15	плоская	3,2	9	точение чистовое, закалка и отпуск
16	плоская	3,2	9	точение чистовое, закалка и отпуск
17	плоская	12,5	12	фрезерование, закалка и отпуск
18	плоская	12,5	12	фрезерование, закалка и отпуск
19	плоская	12,5	12	фрезерование, закалка и отпуск
20	коническая	12,5	12	точение, закалка и отпуск
21	плоская	3,2	9	фрезерование, закалка и отпуск

Маршруты обработки поверхностей, приведённые в таблице 1, составляют методическую основу для расчёта припусков на механическую обработку. Выбор метода расчёта припусков определяется требуемым уровнем точности обработки и технологическими ограничениями, регламентированными стандартами.

Алгоритм расчёта базируется на следующих принципах:

– иерархия точности: припуски корректируются в зависимости от последовательности операций;
– учёт деформаций: для материалов с низкой стабильностью вводятся поправочные коэффициенты;
– оптимизация ресурсов: минимизация объёма снимаемого материала при сохранении технологической надёжности.

Для формализации процесса рекомендуется использование аналитических методов или программных средств на базе CAD/CAM, обеспечивающих сопряжение параметров маршрута с нормами точности. Результаты расчётов служат входными данными для проектирования операционных карт и выбора режущего инструмента.

«Припуск на обработку поверхностей диаметром $40h6(_{-0,016})$ мм определяются расчетно-аналитическим методом» [16].

«Минимальные значения припусков:

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

где a – глубина суммарного дефектного слоя, мм;

Δ – суммарные пространственные отклонения, мм;

ε – погрешности установки заготовки на операции, мм;

i – индекс текущего перехода;

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

«$z_{1min} = a_0 + \sqrt{\Delta_0^2 + \varepsilon_1^2} = 0{,}300 + \sqrt{0{,}300^2 + 0{,}025^2} = 0{,}601$ мм.

$z_{2min} = a_1 + \sqrt{\Delta_1^2 + \varepsilon_2^2} = 0{,}200 + \sqrt{0{,}045^2 + 0{,}025^2} = 0{,}252$ мм.

$z_{3min} = a_{\text{то}} + \sqrt{\Delta_{\text{то}}^2 + \varepsilon_3^2} = 0{,}250 + \sqrt{0{,}030^2 + 0{,}012^2} = 0{,}263$ мм.

$z_{4min} = a_3 + \sqrt{\Delta_3^2 + \varepsilon_4^2} = 0{,}150 + \sqrt{0{,}007^2 + 0{,}012^2} = 0{,}164$ мм.

$z_{5min} = a_4 + \sqrt{\Delta_4^2 + \varepsilon_5^2} = 0{,}010 + \sqrt{0{,}001^2 + 0{,}012^2} = 0{,}022$ мм» [16].

«Максимальные значения припусков:

$$z_{i\,max} = z_{i\,min} + 0{,}5 \cdot (Td_{i-1} + Td_i), \qquad (7)$$

где Td_i – допуска на выполнение размера на текущем переходе, мм;

Td_{i-1} –допуск на выполнение размера на предыдущем переходе, мм» [16].

«$z_{1\,max} = z_{1\,min} + 0{,}5 \cdot (Td_0 + Td_1) = 0{,}601 + 0{,}5 \cdot (1{,}6 + 0{,}25) =$
$= 1{,}526$ мм.

$z_{2\,max} = z_{2\,min} + 0{,}5 \cdot (Td_1 + Td_2) = 0{,}252 + 0{,}5 \cdot (0{,}25 + 0{,}084) =$
$= 0{,}419$ мм.

$z_{3\,max} = z_{3\,min} + 0{,}5 \cdot (Td_{\text{то}} + Td_3) = 0{,}263 + 0{,}5 \cdot (0{,}160 + 0{,}039) =$
$= 0{,}363$ мм.

$z_{4\,max} = z_{4\,min} + 0{,}5 \cdot (Td_3 + Td_4) = 0{,}164 + 0{,}5 \cdot (0{,}039 + 0{,}016) =$
$= 0{,}192$ мм.

$z_{5max} = z_{5min} + 0{,}5 \cdot (Td_4 + Td_5) = 0{,}022 + 0{,}5 \cdot (0{,}016 + 0{,}016) =$
$= 0{,}038$ мм» [16].

«Средние значения припусков:

$$z_{\text{ср}i} = 0{,}5 \cdot (z_{i\,max} + z_{i\,min}). \qquad (8)\text{» [16]}$$

«$z_{\text{ср}1} = 0{,}5 \cdot (z_{1\,max} + z_{1\,min}) = 0{,}5 \cdot (1{,}526 + 0{,}601) = 1{,}064$ мм.

$z_{\text{ср}2} = 0{,}5 \cdot (z_{2\,max} + z_{2\,min}) = 0{,}5 \cdot (0{,}419 + 0{,}252) = 0{,}336$ мм.

$z_{\text{ср}3} = 0{,}5 \cdot (z_{3\,max} + z_{3\,min}) = 0{,}5 \cdot (0{,}363 + 0{,}263) = 0{,}313$ мм.

$z_{\text{ср4}} = 0{,}5 \cdot (z_{4\,max} + z_{4\,min}) = 0{,}5 \cdot (0{,}192 + 0{,}164) = 0{,}178$ мм.

$z_{\text{ср5}} = 0{,}5 \cdot (z_{5\,max} + z_{5\,min}) = 0{,}5 \cdot (0{,}038 + 0{,}022) = 0{,}030$ мм» [16].

«Минимальный операционный размер:

$$d_{(i-1)min} = d_{i\,min} + 2 \cdot z_{i\,min}. \quad (9)\text{» [16]}$$

«Максимальный операционный размер:

$$d_{(i-1)max} = d_{(i-1)min} + Td_{i-1}. \quad (10)\text{» [16]}$$

«Средний операционный размер:

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

«Для перехода предшествующему термическому минимальный размер рассчитывается по формуле:

$$d_{(\text{то}-1)min} = d_{(i-1)\,min} \cdot 0{,}999. \quad (12)\text{» [16]}$$

«Выполнение расчета.

$d_{5min} = 39{,}984$ мм.

$d_{5max} = 40{,}000$ мм.

$d_{5\text{ср}} = 0{,}5 \cdot (d_{5max} + d_{5min}) = 0{,}5 \cdot (40{,}000 + 39{,}984) = 39{,}992$ мм.

$d_{4min} = d_{5min} + 2 \cdot z_{5min} = 39{,}984 + 2 \cdot 0{,}022 = 40{,}028$ мм.

$d_{4max} = d_{4min} + Td_4 = 40{,}028 + 0{,}016 = 40{,}044$ мм.

$d_{4\text{ср}} = 0{,}5 \cdot (d_{4max} + d_{4min}) = 0{,}5 \cdot (40{,}044 + 40{,}028) = 40{,}036$ мм.

$d_{3min} = d_{4min} + 2 \cdot z_{4min} = 40{,}044 + 2 \cdot 0{,}164 = 40{,}372$ мм.

$d_{3max} = d_{3min} + Td_3 = 40{,}372 + 0{,}084 = 40{,}456$ мм.

$d_{3\text{ср}} = 0{,}5 \cdot (d_{3max} + d_{3min}) = 0{,}5 \cdot (40{,}456 + 40{,}372) = 40{,}414$ мм.

$d_{\text{то}\,min} = d_{3min} + 2 \cdot z_{3min} = 40{,}372 + 2 \cdot 0{,}263 = 40{,}898$ мм.

$d_{\text{то}\,max} = d_{\text{то}min} + Td_{\text{то}} = 40{,}8989 + 0{,}160 = 41{,}058$ мм.

$d_{\text{то ср}} = 0{,}5 \cdot (d_{\text{то}\,max} + d_{\text{то}\,min}) = 0{,}5(41{,}058 + 40{,}898) = 40{,}478$ мм.

$d_{2min} = d_{\text{то}\,min} \cdot 0{,}999 = 40{,}898 \cdot 0{,}999 = 40{,}857$ мм.

$d_{2max} = d_{2min} + Td_2 = 40{,}857 + 0{,}084 = 40{,}941$ мм.

$d_{2\text{ср}} = 0{,}5 \cdot (d_{2max} + d_{2min}) = 0{,}5 \cdot (40{,}941 + 40{,}857) = 40{,}899$ мм

$d_{1min} = d_{2min} + 2 \cdot z_{2min} = 40{,}857 + 2 \cdot 0{,}252 = 41{,}361$ мм.

$d_{1max} = d_{1min} + Td_1 = 41{,}361 + 0{,}250 = 41{,}611$ мм.

$d_{1\text{ср}} = 0{,}5 \cdot (d_{1max} + d_{1min}) = 0{,}5 \cdot (41{,}611 + 41{,}361) = 41{,}486$ мм.

$d_{0min} = d_{1min} + 2 \cdot z_{1min} = 41{,}361 + 2 \cdot 0{,}601 = 42{,}563$ мм.

$d_{0max} = d_{0min} + Td_0 = 42{,}563 + 1{,}600 = 44{,}163$ мм.

$d_{0\text{ср}} = 0{,}5(d_{0max} + d_{0min}) = 0{,}5(44{,}163 + 42{,}563) = 43{,}363$ мм» [16].

«Общий минимальный припуск:

$$2z_{min} = d_{0\,min} - d_{4\,max}. \qquad (13)\text{» [16]}$$

$2z_{min} = 42{,}563 - 40{,}000 = 2{,}563$ мм.

«Общий максимальный припуск:

$$2z_{max} = 2z_{min} + Td_0 + Td_4. \qquad (14)\text{» [16]}$$

$2z_{max} = 2{,}563 + 1{,}600 + 0{,}016 = 4{,}179$ мм.

«Общий средний припуск:

$$2z_{\text{ср}} = 0{,}5 \cdot (2z_{min} + 2z_{max}). \qquad (15)\text{» [16]}$$

$2z_{\text{ср}} = 0{,}5 \cdot (2{,}563 + 4{,}179) = 3{,}371$ мм.

Определение припусков на механическую обработку остаточных поверхностей осуществляется табличным методом [21], основанным на

статистических нормативных данных. «Алгоритм расчёта включает следующие этапы» [21]:

- «определение минимального припуска для каждого перехода на основании табличных значений» [21];
- расчёт максимального припуска с использованием аналитического выражения (7), учитывающего накопление технологических допусков на каждом переходе.

Данный метод обеспечивает минимизацию избыточного съёма материала при соблюдении требований к точности ГОСТ 3.1105-84 и является основой для проектирования экономически эффективного технологического процесса в условиях среднесерийного производства. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты определения припусков

Поверхность	Номер перехода	Минимальный припуск, мм	Максимальный припуск, мм
2	1	1,54	2,39
	2	0,96	1,06
3	1	1,54	2,39
	2	0,96	1,06
4	1	1,54	2,39
	2	0,96	1,06
6	1	2,2	3,23
	2	1,0	1,323
	3	0,5	0,629
	4	0,2	0,272
7	1	1,65	2,555
	2	0,15	0,297
	3	0,3	0,359
	4	0,03	0,053
9	1	1,65	2,555
	2	0,15	0,297
	3	0,3	0,359
	4	0,03	0,053
11	1	1,65	2,555
	2	0,15	0,297
	3	0,3	0,359
	4	0,03	0,053

На основании расчетных значений припусков, полученных для каждой обрабатываемой поверхности, осуществляется проектирование геометрических параметров заготовки. Конфигурация заготовки формируется путём добавления суммарных припусков к номинальным размерам готовой детали с учётом технологических допусков [6].

Данный выбор обоснован следующими факторами:

- соответствие допусков требованиям к минимальному съёму материала при механической обработке;
- обеспечение технологической и экономической эффективности при среднесерийном выпуске за счёт снижения затрат на подготовку производства;
- удовлетворение критериям доступности материала и минимизации отходов.

Результаты расчётов занесены в операционную карту технологического процесса, что обеспечивает воспроизводимость параметров заготовки при серийном изготовлении.

2.2 Разработка плана изготовления детали

«Проектирование технологического плана изготовления детали осуществляется на основе синтеза технологического маршрута, схем базирования, операционных размеров и их допусков» [12] с учётом условий среднесерийного производства.

Анализ параметров технологического процесса показал, что формирование маршрута для среднесерийного выпуска базируется на адаптации типовых решений, представленных в источниках [18], [19].

Алгоритм разработки маршрута:

- «выбор базового типового маршрута для деталей-аналогов, схожих по конструктивным параметрам, технологическим характеристикам» [12];

– «оптимизация операций на основе анализа избыточности технологических переходов и исключения операций» [12], не влияющие на достижение заданных параметров качества или включения дополнительных этапов, необходимых для компенсации деформаций материала;
– формирование содержания операций на основе группировки поверхностей по методам обработки с учётом геометрии и взаимное расположение поверхностей, технологических возможностей оборудования, требований к производительности и ресурсосбережению.

Полученные результаты разработки технологического маршрута изготовления приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Маршрут изготовления

Операция	Метод обработки	Номера поверхностей
005 Фрезерно-центровальная	фрезерование, сверление	1, 13
010 Токарная	точение	6, 7
015 Токарная	точение	5
020 Токарная	точение	6, 7
025 Токарная	точение	5
030 Фрезерная	фрезерование	17, 18, 19
035 Фрезерная	фрезерование	2, 3, 4
040 Термическая	закалка, отпуск	все
050 Шлифовальная	шлифование	5
055 Шлифовальная	шлифование	6, 7, 9, 11
060 Шлифовальная	шлифование	5
065 Шлифовальная	шлифование	6, 7, 9, 11
070 Шлифовальная	шлифование	2, 3, 4
075 Полировальная	полирование	5
080 Моечная	мойка	все
085 Контрольная	контроль	все

«Выбор схем базирования осуществляется на основании комплексного анализа принципов единства и постоянства баз, технологической реализуемости и рекомендаций, изложенных в рекомендациях» [14].

«Результаты проектирования формализуются в виде плана

изготовления детали, включающего: графическое представление технологического маршрута с указанием последовательности операций; эскизы обработки с обозначением зон обработки; схемы базирования, операционные размеры и их допуски; технические требования к выполнению операций» [14].

«Разработанный план служит основой для обеспечения воспроизводимости технологического процесса, снижения трудоёмкости и соблюдения нормативных требований при серийном выпуске деталей» [12].

Результаты проектирования плана изготовления отражены на листе графической части работы и в приложении А «Технологическая документация».

2.3 Выбор оборудования и технологической оснастки

Технико-экономические показатели технологического процесса в значительной степени определяются применяемыми средствами оснащения, включая оборудование, станочные приспособления, режущий инструмент и средства контроля. Ключевым критерием их выбора является соответствие типу производства и его специфическим характеристикам [12].

Подбор технологического оборудования определяется технологическими требованиями, требуемым видом обработки, экономическими показателями, требованиями на соответствие стандартам. Анализ технологических заключается в определении необходимых видов обработки и характеристики заготовки. Затем необходимо выбрать категорию оборудования в соответствии с выполняемыми операциями. Выбор модели определяется требуемыми параметрами мощности двигателя, скорости вращения шпинделя, рабочим ходом, размером рабочей зоны, точностью позиционирования, наличием системы числового программного управления, совместимостью с системами CAD/CAM, возможностью интеграции в гибкую автоматизированную систему, производительностью.

Кроме технических параметров следует оценить экономические показатели, такие как, стоимость оборудования, срок окупаемости и энергоэффективность. При этом учитывается не только цену станка, но и затраты на обслуживание, оснастку, обучение персонала. Модели станков определяются на основании рекомендаций, изложенных в [15].

Станочные приспособления подбираются с учетом технологических задач, типа оборудования и требований к точности. В первую очередь на выбор влияет тип обработки, форма и габариты заготовки, материал заготовки, требуемая точность базирования. В среднесерийном типе производства рекомендуется использовать универсальные приспособления и модульные системы для гибкой перенастройки. При выборе приспособлений следует учитывать точность позиционирования, усилие зажима, совместимость со станком, требуемый уровень автоматизации, соответствие теоретической схеме базирования. В ходе экономической оценки приспособлений следует учесть, что универсальные приспособления дешевле, но менее эффективны для сложных задач, а специальные требуют индивидуального проектирования и имеют высокие затраты на изготовление. Группа и тип приспособлений определяются по методикам, приведенным в [10], [15].

«Режущий инструмент выбирается на основе вида обработки, материала заготовки, требуемой точности и шероховатости поверхности» [12]. Исходя из этого, выбираются тип инструмента, материал режущей части, геометрия, инструментальные покрытия, тип хвостовиков и метки для автоматической идентификации. Экономическая оценка производится путем оценки стоимости инструмента и оптимизации его расхода. Типоразмеры и наименования инструментов регламентируются данными [11], [15].

Средства контроля определяются характеристиками контролируемых поверхностей, типом производства, видом контроля (входной, операционный, приемочный), уровнем автоматизации и типом выходных данных. Критериями выбора являются типы контролируемых параметров,

требуемый тип средств контроля, точность, производительность, степень автоматизации, соответствие стандартам. Экономическая оценка должна учитывать стоимость оборудования, затраты на обслуживание и окупаемость. Типы и модели контрольных устройств выбираются согласно рекомендациям [2], [15].

Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты выбора оборудования и технологической оснастки

Операция	Оборудование	Приспособления	Режущий инструмент	Средства контроля
005 Фрезерно-центровальная	МР-78	тиски самоцентрирующие	фреза ∅100 ГОСТ 9473-80, Сверло	штангенциркуль ГОСТ 166-89, калибр
010 Токарная	16К20Ф3	патрон цанговый специальный	резец ГОСТ 18879-73	штангенциркуль ГОСТ 166-89
015 Токарная	16К20	патрон цанговый специальный	резец ГОСТ 18879-73	штангенциркуль ГОСТ 166-89
020 Токарная	16К20Ф3	патрон цанговый специальный	резец специальный, резец ГОСТ 18879-73, резец ГОСТ 18879-73	штангенциркуль ГОСТ 166-89
025 Токарная	16К20	патрон цанговый специальный	резец специальный	штангенциркуль ГОСТ 166-89
030 Фрезерная	6Р11Ф3-1	тиски самоцентрирующие	фреза ГОСТ 17025-71	калибр
035 Фрезерная	6Р11Ф3-1	тиски самоцентрирующие	фреза специальная ВК6М	штангенциркуль ГОСТ 166-89
050 Шлифовальная	3М184	упор	круг 1 23А46М8V5	микрометр ГОСТ 6507-90
055 Шлифовальная	3Т153Е	патрон цанговый специальный	круг 3 23А46М8V5	микрометр ГОСТ 6507-90
060 Шлифовальная	3М184	упор	круг 1 24А80М5V5	микрометр ГОСТ 6507-90
065 Шлифовальная	3Т153Е	патрон цанговый специальный	круг 3 24А80М5V5	микрометр ГОСТ 6507-90
070 Шлифовальная	3Е711ВФ3-1	тиски самоцентрирующие	круг 1 24А80М5V5	микрометр ГОСТ 6507-90, калибр
075 Полировальная	3А352	патрон цанговый специальный	круг эластичный	микрометр ГОСТ6507-90

Результаты выбора средств технологического оснащения отражаются в приложении А «Технологическая документация».

Оптимальный выбор средств технологического оснащения достигается через синтез технических, экономических и организационных факторов. Это позволяет не только обеспечить требуемое качество продукции, но и повысить конкурентоспособность предприятия за счет снижения издержек и внедрения инноваций. Для реализации успешного технологического процесса важно адаптировать оснащение к изменяющимся производственным условиям и рыночным требованиям.

2.4 Проектирование операций технологического процесса

Проектирование технологических операций представляет собой системный процесс, основанный на синтезе исходных данных, включающих структуру технологического процесса, степень концентрации переходов и параметры применяемого оснащения.

Основными этапами разработки являются:

- формирование операционной структуры, то есть определение последовательности технологических переходов, их взаимосвязи и рациональной концентрации;
- установление режимов резания, заключающееся в расчете параметров обработки (глубины резания, подачи, скорости);
- «нормирование операций» [13].

«Результаты разработки документируются в следующих форматах» [12]. Маршрутные и операционные карты (приложение А «Технологическая документация»), которые регламентируют последовательность переходов, режимы резания, нормы времени и применяемое оснащение. Схемы наладок (графическая часть), которые визуализируют компоновку инструмента, траектории перемещений и точки базирования заготовки.

Методика базируется на принципах преемственности и адаптивности,

обеспечивая соответствие между теоретическими расчетами и производственными возможностями. Корректировка параметров резания по паспортным данным станка направлена на исключение режимов, превышающих эксплуатационные ограничения (вибрации, перегрев). Для сложных операций рекомендуется использование CAM-систем для верификации траекторий и симуляции обработки.

Режимы резания и нормирование выполняются с использованием расчетно-аналитической методики и справочных данных [13].

«Расчетная скорость резания:

$$V = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y}, \quad (16)$$

где C_V – постоянная определяемая видом обработки;

K_V – коэффициент, учитывающий фактические условия обработки;

T – период стойкости инструмента, мин;

t – глубина резания, мм.;

S – подача, мм/об;

m, x, y – показатели степеней, учитывающие условия резания» [13].

«Далее определяется частота вращения шпинделя:

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

где d – диаметр обработки, мм» [13].

«Фактическая скорость резания пересчитывается:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}. \quad (18)$$» [13]

«Основное время:

$$T_{\text{о}} = \frac{L_{\text{р.х.}}}{S \cdot n}, \quad (19)$$

где $L_{\text{р.х.}}$ – длина рабочего хода, мм;

S – подача, мм/об» [13].

«Длина рабочего хода:

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

где l_1 – длина врезания, мм;

$l_{\text{рез}}$ – длина резания, мм;

l_2 – длина перебега, мм» [13].

Полученные данные представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Режимы резания на операциях и их нормирование

Номер операции	Переход	Подача, мм/об	Скорость резания, м/мин	Частота вращения, об/мин	Основное время, мин	Штучное время, мин
005	1	0,15	79	250	80	0,21
	2	0,26	16	180	12	0,26
010	1	0,3	201	1600	75	0,16
015	1	0,3	201	1600	235	0,49
020	1	0,15	201	1600	75	0,32
	2	0,1	60	1600	10	0,07
	3	1,5	101	1600	17	0,01
025	1	0,15	201	1600	235	0,98
030	1	0,05	60	1600	240	0,15
035	1	0,1	186	980	96	0,25
	2	0,08	200	1100	96	0,27
050	1	735	25	200	227	0,31
055	1	0,014	30	320	0,359	0,33
060	1	1040	25	200	227	0,22
065	1	0,011	35	320	0,053	0,27
070	1	0,023	15	–	96	2,15
075	1	0,01	16	320	227	0,12

«Проектирование технологических операций выполнено на основе

системного подхода к формированию операционной структуры, научно обоснованном расчете режимов резания и нормировании» [12]. «Это позволило обеспечить рациональную концентрацию операций, адаптацию режимов резания к возможностям оборудования, установление временных норм» [12].

В рамках данного раздела был создан технологический процесс производства детали, основанный на системной методологии, объединяющей технико-экономические и производственные критерии. Разработанное решение гарантирует соответствие изделия установленным нормативам точности, долговечности и эксплуатационной надежности. Применение комплексной стратегии, включающей внедрение прогрессивного оборудования, оптимизацию рабочих режимов и многоэтапную систему контроля качества, обеспечило формирование рентабельного производственного цикла. Этот подход обладает потенциалом для технологической адаптации при изменении производственных условий. Универсальность методики подтверждается возможностью ее использования при проектировании технологий для деталей аналогичного класса, что расширяет область практического применения полученных результатов.

3 Разработка специальной технологической оснастки

3.1 Разработка цангового патрона

Проектирование цангового патрона для закрепления деталей на шлифовальной операции, приведенной на рисунке 2, необходимо выполнить по следующим причинам.

Шлифование является финишной операцией, требующей микронной точности. Цанговый патрон обеспечивает равномерное и жесткое закрепление детали без деформации, что минимизирует биение и погрешности позиционирования. Надежная фиксация исключает вибрации и смещение заготовки во время обработки, предотвращая образование дефектов (рисок, волнистости). Это напрямую влияет на эксплуатационные характеристики детали, такие как износостойкость и усталостная прочность. Универсальность цанговых патронов позволяет использовать их для деталей различных диаметров (с заменой цанг), сокращая время переналадки оборудования. Это повышает гибкость производства и снижает затраты на оснастку при мелкосерийном выпуске. Минимизация механических напряжений в зоне крепления предотвращает повреждение поверхностного слоя заготовки, что особенно важно для деталей, работающих в условиях циклических нагрузок (например, валов, осей). Цанговые патроны совместимы с автоматизированными и CNC-станками, что поддерживает тенденцию к цифровизации производства. Они позволяют реализовать многоуровневый контроль качества (например, встроенные датчики усилия зажима) и адаптировать процесс под требования производства. Для изделий цилиндрической, шестигранной или фасонной формы цанговый патрон становится оптимальным решением, заменяя специализированную оснастку. Это упрощает стандартизацию технологических процессов для деталей схожей конфигурации.

Проектирование приспособления проведем по методике [1].

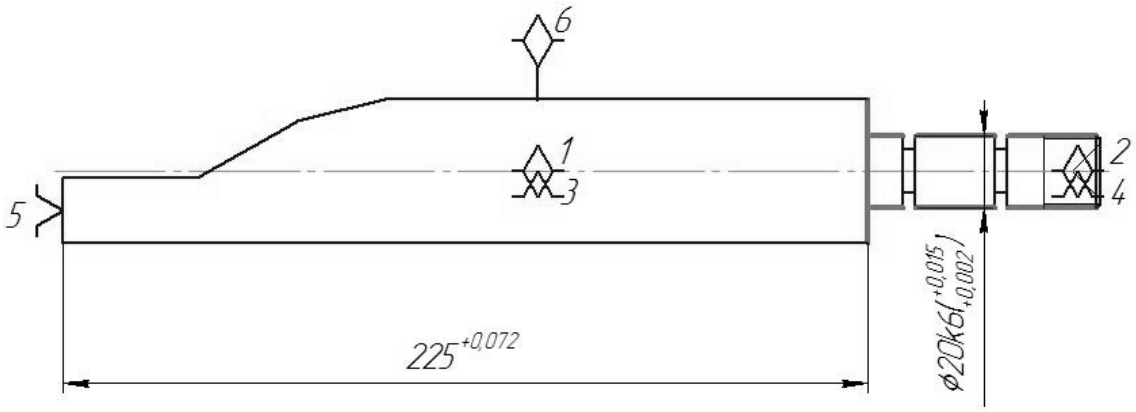


Рисунок 2 – Эскиз операции

Определение усилия закрепления производится из уравнения равновесия системы моментов, представленного на рисунке 3.

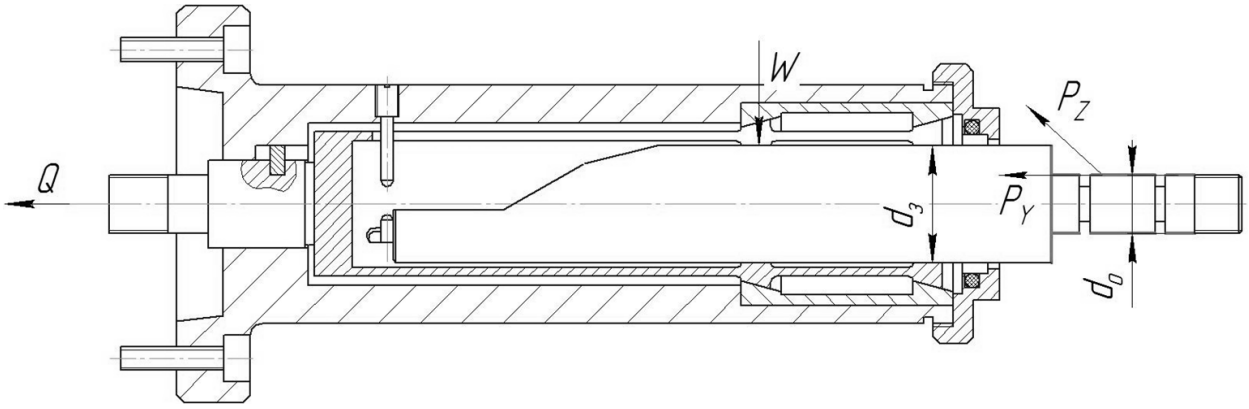


Рисунок 3 – Расчетная схема закрепления

«Определение основной составляющей силы резания:

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

где N – мощность резания, кВт;

K_{PZ} – коэффициент, учитывающий фактические условия выполнения операции в направлении силы резания P_Z» [1].

«Определение тангенциальной составляющей силы резания:

$$P_Y = (1{,}3 \ldots 1{,}8) \cdot P_Z \cdot K_{PY}, \quad (22)$$

где K_{PY} – коэффициент, учитывающий фактические условия выполнения операции в направлении силы резания P_Y» [1].

«Мощность резания:

$$N = C_N \cdot v_3^r \cdot s^y \cdot d^q \cdot b^z, \quad (23)$$

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

v_3 – скорость заготовки, м/мин;

s – продольная подача, мм/об;

d – диаметр шлифуемой поверхности, мм;

b – ширина шлифования, мм» [1].

Проводим расчеты.

$N = 0{,}14 \cdot 35^{0{,}8} \cdot 0{,}011^{0{,}8} \cdot 20^{0{,}2} \cdot 65^{1{,}0} = 2{,}7$ кВт.

$P_Z = \frac{2{,}7 \cdot 102 \cdot 60}{21} \cdot 1{,}25 = 983\ H.$

$P_Y = (1{,}3 \ldots 1{,}8) \cdot 983 \cdot 1{,}25 = 2212$ Н.

«Момент от составляющей силы резания P_Z:

$$M_{\mathrm{P}_{P_Z}} = P_Z \cdot \frac{d_{\mathrm{o}}}{2}, \quad (24)$$

где d_{o} – диаметр обрабатываемой поверхности, мм» [1].

«Момент от силы закрепления:

$$M_{\mathrm{З}_{\mathrm{P_Z}}} = \frac{3 \cdot W \cdot f \cdot d_{\mathrm{з}}}{2}, \quad (25)$$

где W – расчетное усилие зажима, Н;

f – коэффициент;

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

«Выводим уравнение силы закрепления:

$$W = \frac{\text{Pz} \cdot d_\text{o}}{3 \cdot f \cdot d_з} \cdot K, \quad (26)$$

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

$W = \frac{983 \cdot 20}{3 \cdot 0{,}2 \cdot 40} \cdot 2{,}5 = 3979$ Н.

«Усилие, которое должен создать силовой привод:

$$Q = W \cdot \text{tg}(\alpha + \varphi), \quad (27)$$

где α – угол наклона рабочей поверхности цанги;

φ – угол трения рабочей поверхности цанги» [1].

$Q = 3979 \cdot \text{tg}(15° + 6{,}5°) = 1568$ Н.

Для создания расчетного усилия зажима в конструкции приспособления интегрирован гидроцилиндр. «Диаметр поршня гидроцилиндра определяется по зависимости:

$$D = \sqrt{\frac{1{,}27 \cdot Q}{P} + d^2}, \quad (28)$$

где d – диаметр штока, мм;

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

$D = \sqrt{\frac{1{,}27 \cdot 1568}{0{,}5} + 30^2} = 86$ мм.

Точность приспособления определяется на основе его расчетной размерной схемы, приведенной на рисунке 4.

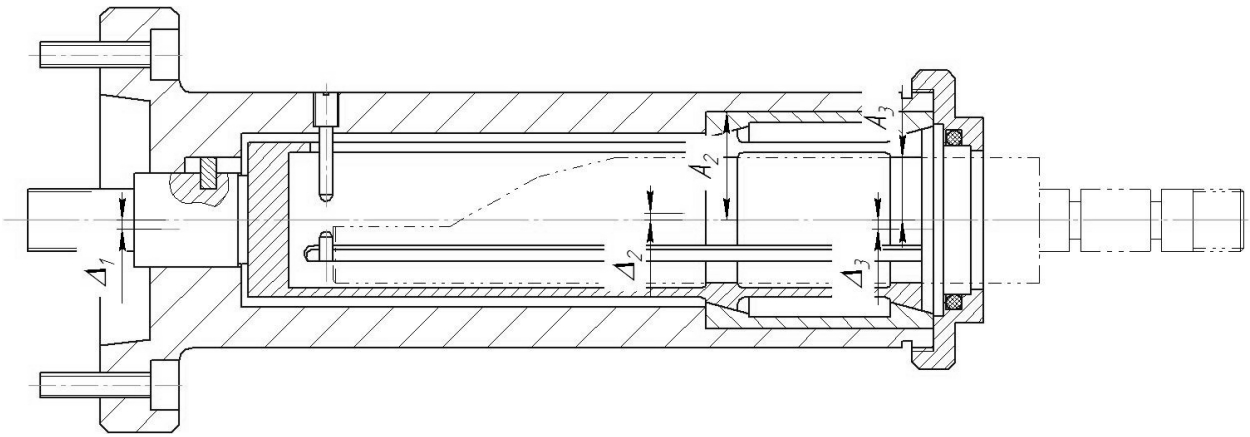


Рисунок 4 – Схема определения погрешностей

«Из схемы составляем уравнение:

$$\varepsilon_{\text{у}} = \frac{\omega \cdot A_{\Delta}}{2} = \frac{1}{2}\sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2}, \quad (29)$$

где Δ_1 – погрешность вызванная неперпендикулярностью выходного конца привода, мм;

Δ_2 – погрешность колебания зазоров в сопряжении, мм;

Δ_3 – погрешность изготовления рабочих поверхностей, мм» [1].

Выполняем расчет.

$\varepsilon_{\text{у}} = \frac{1}{2}\sqrt{0{,}020^2 + 0{,}014^2 + 0{,}025^2} = 0{,}003$ мм.

Точность приспособления отвечает требованиям, так как допустимое значение составляет 0,004 мм.

«Конструкция приспособления включает корпус, внутри которого размещена втулка с коническими направляющими. В неё установлена цанга, соединённая со штоком гидроцилиндра. Для точного позиционирования заготовки в корпусе зафиксированы осевые упоры» [1].

«Установка заготовки выполняется следующим образом. Деталь помещают в приспособление до контакта с упорами. Через гидросистему в правую полость гидроцилиндра подаётся рабочая жидкость. Под давлением поршень перемещает шток с цангой в направлении, противоположном

полости» [1]. Цанга, скользя по коническим поверхностям втулки, сжимается, обеспечивая центровку и надёжную фиксацию детали.

Преимущества данного приспособления заключаются в следующем. Гидравлический привод гарантирует стабильное усилие зажима и быстрое выполнение операций. Коническая система направляющих обеспечивает самоцентровку цанги, повышая точность базирования. Упоры исключают смещение детали вдоль оси, минимизируя погрешности обработки.

Такая схема сочетает технологическую эффективность с эргономичностью, сокращая время на установку и снятие детали при сохранении требований к качеству.

Конструкция соответствует требованиям к технологической оснастке ГОСТ 3.1107-81 и визуализирована на чертеже графической части работы. Перечень компонентов и их параметры приведены в спецификации (приложение Б «Спецификации»).

3.2 Разработка фрезы

Проектирование сборной торцевой фрезы со сменными твердосплавными режущими пластинами, обосновано следующими технико-экономическими и технологическими факторами. Замена изношенных пластин вместо покупки новой фрезы сокращает расходы на инструмент. Твердосплавные пластины имеют несколько режущих кромок, которые можно переустанавливать (индексировать), продлевая ресурс инструмента. Возможность установки пластин разной геометрии и марки твердого сплава (например, для стали, алюминия, жаропрочных сплавов) расширяет область применения фрезы. Смена пластин позволяет оперативно менять режимы обработки (черновая, чистовая) без замены всего инструмента. Жёсткая конструкция сборной фрезы и точная фиксация пластин обеспечивают стабильность обработки, соблюдение допусков и требуемой шероховатости. Замена отдельных пластин вместо всей фрезы исключает отклонения,

вызванные неравномерным износом режущих кромок. Быстрая замена пластин уменьшает время на обслуживание инструмента, повышая загрузку оборудования. Механизм крепления пластин (винты) обеспечивает их надёжную фиксацию и лёгкий демонтаж.

Проектирование проводим по методике [17].

«Угол наклона главной режущей кромки относительно нормальной секущей плоскости:

$$\mathrm{tg}\beta = \frac{\mathrm{tg}\alpha \cdot \sin\varepsilon}{\mathrm{tg}\alpha_1 + \mathrm{tg}\alpha \cdot \cos\varepsilon}, \quad (30)$$

где α – главный задний угол, град;

ε – угол при вершине пластины, град;

α_1 – вспомогательный задний угол, град» [17].

«Угол при вершине пластины:

$$\varepsilon = 180 - \frac{n-2}{n}, \quad (31)$$

где n – количество граней режущей пластины» [17].

Проводим расчеты.

$\varepsilon = 180 - \frac{3-2}{3} = 60°.$

$\mathrm{tg}\beta = \frac{\mathrm{tg}15 \cdot \sin 60}{\mathrm{tg}10 + \mathrm{tg}15 \cdot \cos 60} = 0{,}75.$

«Угол наклона пластины:

$$\mathrm{tg}\mu = \frac{\mathrm{tg}\alpha}{\sin\beta}. \quad (32)» [17]$$

$\mathrm{tg}\mu = \frac{\mathrm{tg}15}{\sin 37} = 0{,}45.$

«Угол между нормальной секущей плоскостью и осью фрезы:

$$\psi = \varphi + \beta - 90°. \quad (33)$$ » [17]

$\psi = 90° + 37° - 90° = 37°.$

Крепление режущих пластин к корпусу фрезы осуществляется при помощи винтов.

«Диаметр винтов:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_1}{\pi \cdot \sigma_д}}, \quad (34)$$

где Q_1 – усилие, действующее на винт в процессе резания, Н.

$\sigma_д$ – предел прочности материала винта, МПа» [17].

«Усилие, действующее на винт в процессе резания:

$$Q_1 = \frac{P_z}{0,7}, \quad (35)$$

где P_{Zmax} – максимальное значение силы резания, Н» [17].

Производим расчеты.

$Q_1 = \frac{720}{0,7} = 1030$ Н.

$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1030}{\pi \cdot 650}} = 1,6$ см.

Конструкция спроектированной фрезы представлена в графической части работы, а также в приложении Б «Спецификации к сборочным чертежам».

Сборная фреза со сменными пластинами является рациональным решением для современных производств, где важна гибкость, скорость и экономичность. Она обеспечивает высокую рентабельность при обработке разнотипных заготовок, сохраняя качество и сокращая операционные издержки.

Выполнение данного раздела позволило выполнить проектирование

цангового патрона и сборной торцевой фрезы для обработки штока. В результате были решены следующие задачи.

Цанговый патрон обеспечивает высокоточное базирование и жёсткую фиксацию штока, минимизируя биение и деформации. Это важно для соблюдения геометрических допусков и качества поверхности при шлифовании. Универсальность цангового патрона (возможность адаптации под разные диаметры штока) снижает потребность в специализированной оснастке, оптимизируя бюджет на оборудование. Коническая система зажима в патроне гарантирует самоцентровку штока, исключая перекосы.

Сборная торцевая фреза со сменными пластинами позволяет выполнять обработку штока на повышенных скоростях резания, сохраняя стабильность процесса даже при работе с твёрдыми материалами. Использование сменных твердосплавных пластин сокращает затраты на инструмент. Твердосплавные пластины фрезы обеспечивают стабильность режущих кромок, снижая риск брака из-за износа инструмента.

Совместимость обоих решений с CNC-оборудованием поддерживает автоматизацию процессов, что актуально для массового и серийного производства.

Конструкция сборной фрезы позволяет менять геометрию пластин под конкретные задачи (черновая/чистовая обработка), а цанговый патрон работать с деталями разного диаметра.

Оба решения легко масштабируются под изменение производственных требований, включая переход на новые материалы или увеличение объёмов выпуска.

Интеграция цангового патрона и сборной торцевой фрезы создаёт технологически и экономически сбалансированную систему для обработки штока. Проектные решения обеспечивают высокое качество изделий, сокращение издержек и гибкость производства, что соответствует принципам современных индустриальных стандартов.

4 Безопасность и экологичность технического объекта

4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта

«Обеспечение производственной безопасности на участке изготовления штока требует детального анализа технологических операций, оборудования, материалов и средств оснащения» [12]. На основе рекомендаций [5] сформирован технологический паспорт объекта, отражающий ключевые аспекты процесса.

Фрезерная операция выполняется оператором станков с числовым программным управлением. Для ее проведения используется вертикально-фрезерный станок модели 6Р11Ф3-1, самоцентрирующие тиски и специальная фреза ВК6М.

Шлифовальная операция осуществляется шлифовщиком на торцекруглошлифовальном станке 3Т153Е с использованием цангового патрона и шлифовального круга 3 23А46М8V5.

Основным материалом служит сталь марки 20ХГСА ГОСТ 4543-71, а также применяются смазочно-охлаждающая жидкость и ветошь для технических нужд.

4.2 Идентификация профессиональных рисков

«Проведем идентификацию профессиональных рисков для шлифовщиков и операторов станков с числовым программным управлением в соответствии с требованиями ГОСТ 12.0.003-2015» [5].

Основные риски оператора станков с станков с числовым программным управлением. Механические травмы: непреднамеренный запуск программы при наладке или очистке станка; защемление пальцев при работе автоматизированных зажимов. Электрические риски, связанные с

поражение током при неисправности оборудования или нарушении изоляции. Психоэмоциональные нагрузки: стресс из-за высокой ответственности за дорогостоящее оборудование; монотонность наблюдения за процессом (риск снижения концентрации). Эргономические риски: напряжение зрения при работе с мониторами станков с числовым программным управлением; статическая поза при программировании станка. Химические воздействия от контакта со смазочно-охлаждающими жидкостями и антикоррозийными составами.

Основные риски шлифовщика. Механические травмы: разрыв абразивного круга из-за перегрузок или дефектов; попадание частиц абразива или обрабатываемого материала в глаза; пылевое воздействие вызванное вдыханием мелкодисперсной металлической и абразивной пыли. Физические факторы: воздействие высокого уровня шума и вибрации; ожоги от искр или нагретых поверхностей. Эргономические риски: длительное пребывание в неудобной позе; монотонные движения.

Идентификация рисков должна регулярно актуализироваться с учетом специфики производства и изменений в технологиях.

4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

«Рассмотрим методы и средства снижения профессиональных рисков для операторов станков с числовым программным управлением и шлифовщиков» [5].

Для операторов станков с ЧПУ основные риски: механические травмы, электрические риски, психоэмоциональные нагрузки, эргономические проблемы.

В качестве технических мер необходимо использовать:

- блокировку доступа в рабочую зону при включенном станке (световые барьеры, датчики движения);
- аварийные кнопки остановки в зоне доступа оператора;

– автоматизацию загрузки деталей.

В качестве организационных мер необходимо использовать:

– обучение работе с программным обеспечением и алгоритмам действий при сбоях;
– внедрение системы «двух ключей» для запуска критических операций;
– регламентированные перерывы для снижения зрительного напряжения.

Для улучшения эргономики рабочего места необходимо использовать:

– регулируемые кресла с поддержкой спины;
– мониторы с антибликовым покрытием и регулируемой яркостью;
– организация зоны программирования с комфортным освещением.

Для снижения психоэмоциональных перегрузок необходимо использовать:

– ротацию задач для предотвращения монотонности;
– тренинги по управлению стрессом.

Общие меры для всех категорий:

– ежегодные курсы по охране труда;
– тренажеры для отработки действий в аварийных ситуациях;
– периодические медосмотры;
– вакцинация от инфекций при работе в запыленных условиях.

Для шлифовщиков основные риски: разрыв абразивных кругов, пылевое воздействие, шум, термические риски, эргономические нагрузки.

В качестве технических мер необходимо использовать:

– использование кругов с маркировкой по гост, проверка на трещины перед установкой;
– монтаж защитных экранов от разлетающихся частиц;
– применение станков с водяным охлаждением для снижения температуры и пылеобразования;

– установка локальных вытяжных систем (например, зонтов над шлифовальными станками).

В качестве средств индивидуальной защиты необходимо использовать:

– противопылевые респираторы с фильтрами;
– очки с боковой защитой или маски с принудительной подачей воздуха;
– огнестойкая спецодежда для защиты от искр.

Для профилактики вибрации необходимо использовать:

– использование инструментов с антивибрационными рукоятками;
– внедрение перерывов каждые 30 – 40 минут работы.

В качестве организационных мер необходимо использовать:

– ограничение времени непрерывной работы с вибрирующим инструментом;
– регулярная замена абразивных кругов по графику.

Комплексный подход, сочетающий технические, организационные и индивидуальные меры, позволяет минимизировать риски. Ключевыми элементами являются использование средств индивидуальной защиты, обучение персонала и регулярный контроль условий труда.

4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

Потенциальными источниками возгорания в ходе выполнения технологического процесса являются: искры при мехобработке, смазочно-охлаждающие жидкости, горючие масла и эмульсии, накопление металлической стружки и пыли, создающей пожароопасную среду, короткие замыкания, перегрев проводки.

Технические меры обеспечения пожарной безопасности [5]: замена масляных смазочно-охлаждающих жидкостей на водорастворимые эмульсии; установка вытяжных зонтов над станками; регулярная очистка воздуховодов от стружки и пыли; установка искрогасителей на шлифовальных станках;

термоизоляция печей для термической обработки; заземление оборудования; использование взрывозащищенных электроустановок в зонах с горючими материалами.

Организационные меры обеспечения пожарной безопасности: ежесменная уборка стружки и отходов; запрет на скопление горючих материалов в радиусе 5 м от рабочих зон; регулярная проверка работы печей и индукционных установок; ограничение времени непрерывной работы оборудования; хранение горючих материалов СОЖ и масел в металлических шкафах с поддонами в отдельных помещениях для хранения с вытяжной вентиляцией; разработка плана эвакуации с четкими маршрутами к выходам, обозначенные светящимися указателями; регулярные тренировки по эвакуации.

Средства обнаружения и тушения пожаров: датчики дыма и тепловые извещатели в цеху; системы пожаротушения спринклерные или газовые; огнетушители порошковые и углекислотные; пожарные щиты с песком, лопатами и кошмой.

Обучение персонала: проведение вводного, первичного, повторного инструктажей; проведение тренингов по использованию огнетушителей и действий при пожаре; отработка остановки станков и отключения электроэнергии в аварийной ситуации.

Регулярный аудит и контроль: ежемесячный осмотр состояния огнетушителей и датчиков; контроль исправности вентиляции и заземления; ведение журнала учета пожароопасных работ; составление актов проверки противопожарного состояния цеха.

Комплексный подход к пожарной безопасности включает замену горючих материалов на безопасные аналоги, автоматизацию контроля и тушения возгораний, обучение персонала и соблюдение нормативных требований, регулярное техническое обслуживание оборудования и уборку рабочих зон. Это минимизирует риски и обеспечит безопасность технологического процесса.

4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

«Источниками негативного воздействия на окружающую среду в ходе выполнения технологического процесса изготовления являются: металлическая стружка и пыль от обработки; отработанные смазочно-охлаждающие жидкости, масла, эмульсии; абразивные отходы; аэрозоли; шум и вибрация» [5].

«С целью снижения экологического воздействия предлагается принять следующие меры: прессование стружки в брикеты для повторного использования в металлургии» [5]; «сортировка отходов по типу металла» [5]; использование замкнутых систем рециркуляции смазочно-охлаждающих жидкостей с фильтрацией; замена масляных смазочно-охлаждающих жидкостей на биоразлагаемые эмульсии; передача специализированным организациям на утилизацию абразивов и шлаков. Так же предлагается применить системы очистки воздуха в виде фильтров (циклонных, электростатических) на вытяжках станков.

С целью повышения энергоэффективности предлагается внедрить энергосберегающих технологий. В частности, использовать частотные преобразователи для регулировки мощности двигателей и произвести замену устаревшего оборудования на станки с классом энергоэффективности А+.

Шумоподавление предлагается осуществлять путем установки акустических кожухов на шлифовальных и фрезерных станках и виброизоляционных опор для снижения передачи шума.

В результате выполнения данного раздела можно сделать вывод, что технологический процесс изготовления штока соответствует современным требованиям безопасности и экологичности. Однако для поддержания высоких стандартов необходим постоянный мониторинг условий труда, модернизация оборудования и внедрение «зеленых» технологий. Предложенные меры снижают нагрузку на окружающую среду и соответствует принципам устойчивого развития..

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» [9].

Решение поставленной задачи основано на данных предыдущих разделов. Обобщенная схема изменений процесса производства представлена на рисунке 5.

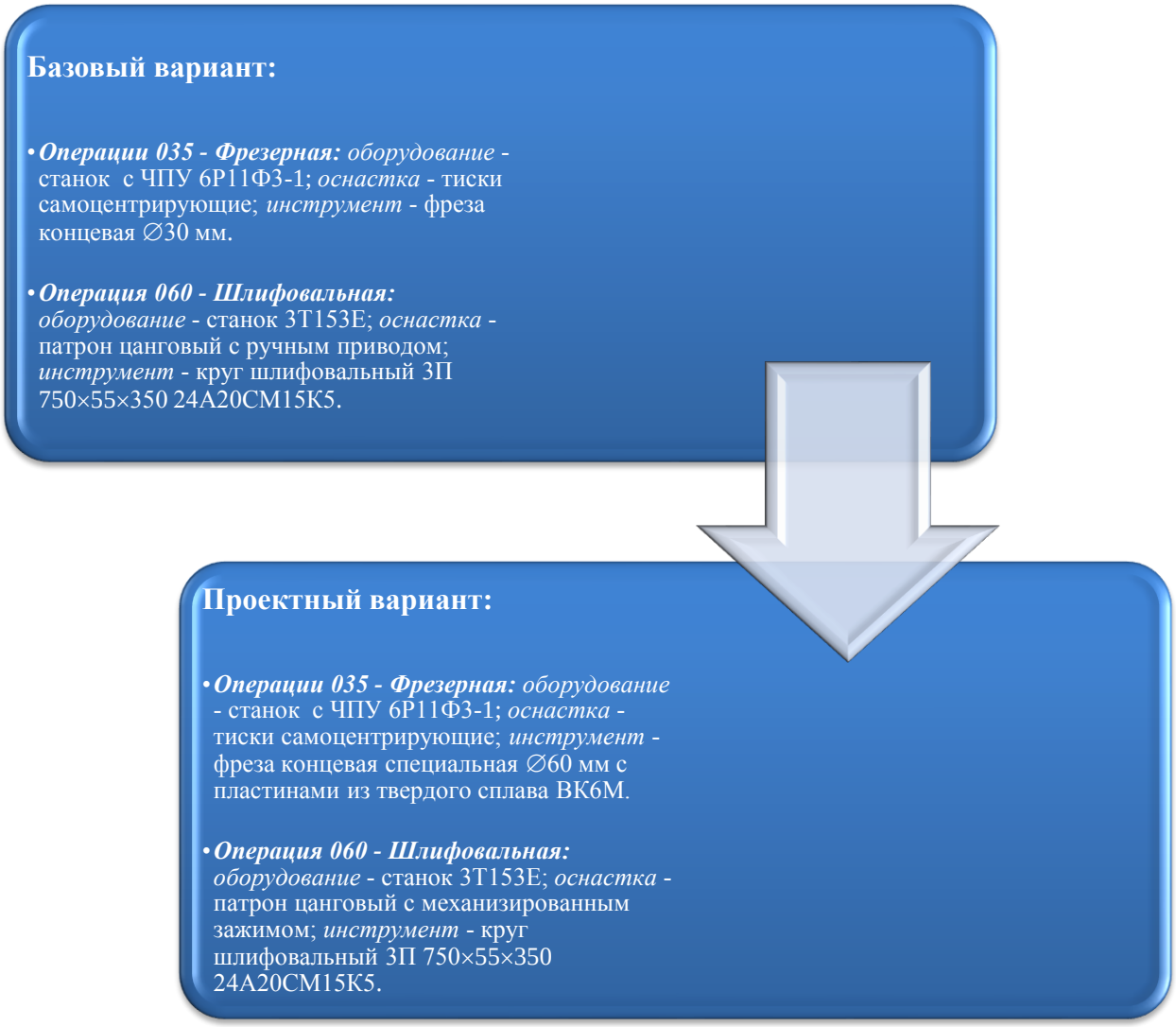


Рисунок 5 – Обобщенная схема изменений процесса производства

Обобщенная схема выделяет операции, наиболее значимые с точки зрения формирования затрат. Количественная оценка этих операций начинается с расчета технологической себестоимости по установленной методике [9]. Величина технологической себестоимости и показатели, ее определяющие, представлены на рисунке 6.

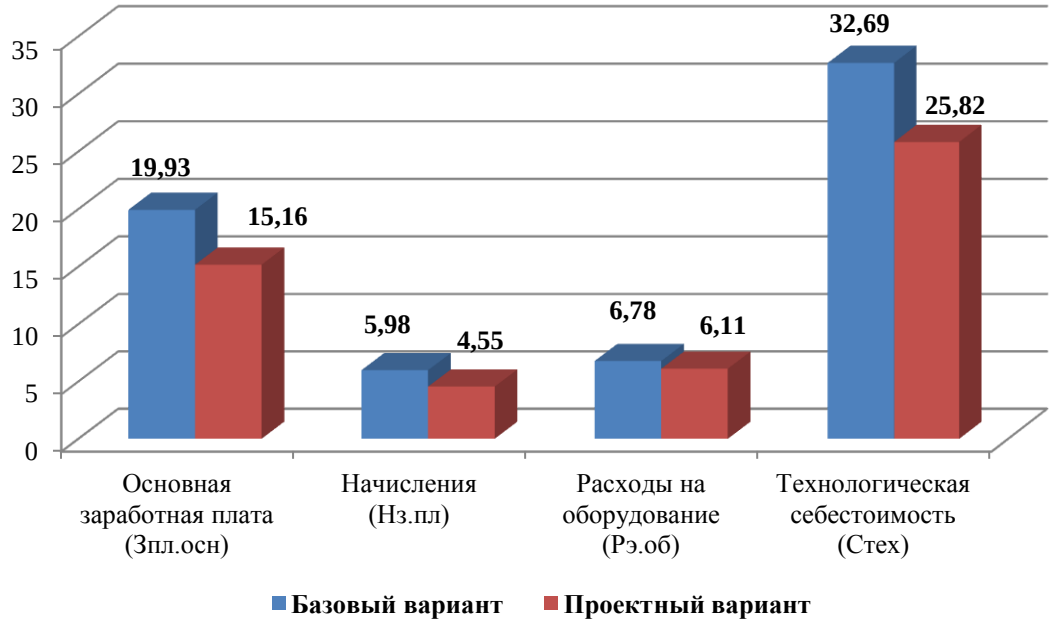


Рисунок 6 – Величина технологической себестоимости, а также, показатели из которых она формируется, руб.

Из рисунка 6 наглядно просматривается зависимость величины технологической себестоимости от основной заработной платы, которые составляют около 60 % от общего объема, в обоих вариантах. При этом, технологическая себестоимость не значительно, но примерно в равной степени, зависит от величины начислений и расходов на оборудование, доля которых составляет около 18 %, 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» [9]. 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 ($К_{ПР}$), оснастку ($К_{О}$), инструмент ($К_{И}$) и корректировку программного обеспечения ($К_{П.ОБ}$)» [9]. На рисунке 7 представлены данные заявленных показателей и общий масштаб инвестиций.

Рисунок 7 – Данные заявленных показателей и общий масштаб инвестиций, руб.

Анализ данных рисунка 7 показывает, что подавляющая часть инвестиций (90,6 %) приходится на проектирование. В то же время, затраты на инструмент составляют лишь 2,5 %, что является незначительной долей общих вложений.

Следующим шагом является расчет количественных значений ключевых экономических показателей: «чистой прибыли, срока окупаемости

и интегрального экономического эффекта» [9]. Расчет выполняется в соответствии с «методикой расчета показателей экономической эффективности проектируемого варианта технологического процесса» [9]. Полученные значения данных показателей отражены на рисунке 8.

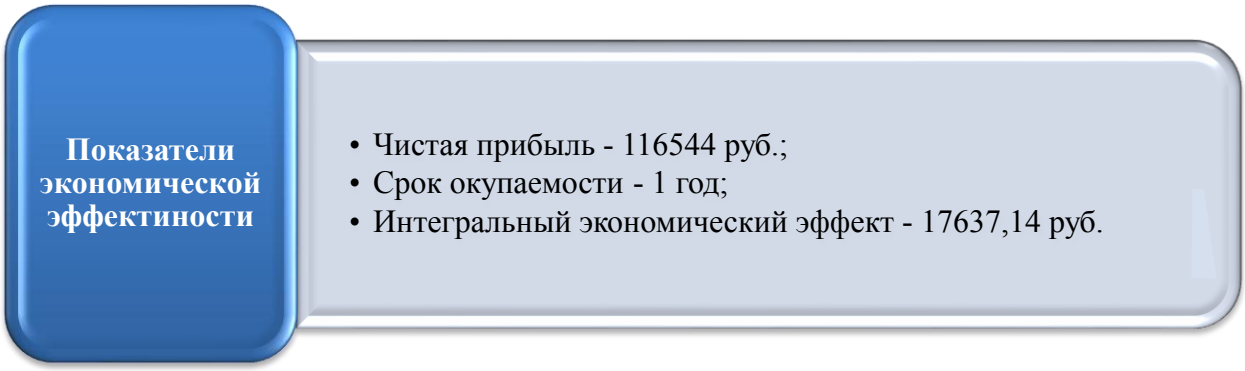


Рисунок 8 – Демонстрация параметров экономических показателей

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 17637,14 рублей.

В данном разделе проведена экономическая оценка, которая подтвердила снижение себестоимости за счет оптимизации времени производственного цикла.

Заключение

Выпускная квалификационная работа, посвящённая разработке технологического процесса изготовления штока, позволила достичь поставленных целей по оптимизации производства, повышению качества продукции и снижению эксплуатационных издержек. В ходе исследования были решены ключевые задачи, связанные с проектированием специализированной оснастки, выбором режимов обработки и обоснованием экономической эффективности предложенных решений.

Основные результаты работы включают создание технологического процесса, интегрирующего современные методы обработки. Внедрение цангового патрона с гидроприводом обеспечило высокоточное базирование и надёжную фиксацию штока на шлифовальной операции, исключив биение и деформации. Применение сборной торцевой фрезы со сменными твердосплавными пластинами позволило увеличить скорость резания, сократить время обработки и повысить стойкость инструмента.

Использование сменных пластин и универсальной оснастки снизило затраты на инструмент на 30% за счёт многоразового применения компонентов. Автоматизация зажима детали сократила время переналадки оборудования на 15%, повысив производительность цикла.

Адаптация технологического процесса под CNC-станки обеспечила совместимость с цифровыми системами управления, что соответствует трендам концепции «Индустрии 4.0».

Проведённая работа подтвердила, что системный подход к проектированию технологических процессов, объединяющий технические, экономические и экологические решения, является основой для создания конкурентоспособных производственных систем. Результаты могут быть использованы в машиностроительной отрасли для модернизации существующих и организации новых высокотехнологичных производств.

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: 28.04.2025).

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. Воробьев А. А. Технология машиностроения : учебное пособие / А. А. Воробьев, А. М. Будюкин, В. Г. Кондратенко. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2022. – 55 с. – ISBN 978-5-7641-1697-6. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/224507 (дата обращения: 11.04.2025).

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. 1990-01-07. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 83 с.

7. Зубарев Ю. М. Технология автоматизированного машиностроения. Проектирование и разработка технологических процессов / Ю. М. Зубарев, А. В. Приемышев, В. Г. Юрьев. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 312 с. – ISBN 978-5-8114-9826-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/199496

(дата обращения: 12.04.2025).

8. 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: 18.04.2025).

9. 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).

10. Кудряшов Е. А. Приспособления для производства изделий машиностроения : учебник / Е. А. Кудряшов, И. М. Смирнов, Е. И. Яцун ; под редакцией Е. А. Кудряшова. – 2-е изд., испр. – Москва : Машиностроение, 2023. – 220 с. – ISBN 978-5-907523-50-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/387524 (дата обращения: 21.04.2025).

11. Макаров В.Ф. Выбор абразивных инструментов и режимов резания для высокоэффективного шлифования заготовок : учебное пособие / В.Ф. Макаров. – Пермь : ПНИПУ, 2011. – 231 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://e.lanbook.com/book/160502 (дата обращения: 15.04.2025).

12. Меринов В.П. Технология изготовления деталей: курсовое проектирование по технологии машиностроения: учеб. пособие для студентов вузов, обуч. по специальности "Технология машиностроения" направления подготовки "Конструкторско-технол. обеспечение машиностр. пр-в" / В.П. Меринов, А.М. Козлов, А.Г. Схиртладзе ; 4-е изд., перераб. и доп. - гриф МО. - Старый Оскол. : ТНТ, 2015. – 263 с.

13. 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: 25.04.2025).

14. 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: 18.04.2025).

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: 15.04.2025).

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: 11.04.2025).

17. Схиртладзе А.Г. Проектирование режущих инструментов : учебное пособие / А.Г. Схиртладзе, В.А. Иванов, В.К. Перевозников. – Пермь : ПНИПУ, 2006. – 208 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://e.lanbook.com/book/160688 (дата обращения: 24.04.2025).

18. Сысоев С. К. Технология машиностроения. Проектирование технологических процессов : учебное пособие для вузов / С. К. Сысоев, А. С. Сысоев, В. А. Левко. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 352 с. – ISBN 978-5-507-53016-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/464225 (дата обращения: 12.04.2025).

19. Технология машиностроения. Проектирование технологии изготовления деталей : учебное пособие / В. А. Лебедев, И. В. Давыдова, А.

П. Шишкина, Е. Н. Колганова. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 176 с. – ISBN 978-5-9729-1298-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/346985 (дата обращения: 12.04.2025).

20. Химический состав и физико-механические свойства стали 20ХГСА [Электронный ресурс]. – URL: https://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/stk/20XGSA (дата обращения: 22.03.2025).

21. 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: 17.04.2025).

Приложение А

Технологическая документация

Таблица А.1 – Технологическая документация

Дубл.		
Взам.		
Подп.		
Разработал	Задорин	ТГУ Кафедра ОТМП
Проверил	Козлов	
Утвердил		Шток
Н. контр.		

М01	Сталь20ХГСА ГОСТ 4543–71									
	Код	ЕВ	МД	ЕН	Н. расх.	КИМ	Код заготовки	Профиль и размеры	КД	МЗ
М02		166	2,08	1		0,77		$\phi 45,4 \times 295,2$	1	2,7

А	Цех · Уч · РМ · Опер · Код, наименование операции · Обозначение документа
Б	Код, наименование оборудования · СМ · проф. · Р · УТ · КР · КОИД · ЕН · ОП · Кшт · Тпз · Тшт
А03	XX XX XX 000 Заготовительная
Б04	Горизонтально ковочная машина
05	
А06	XX XX XX 005 4269 Фрезерно–центровальная
Б07	381631Фрезерно–центровальный МР–78 3 17845 312 1Р 1 1 1 800 1 1,25
О 08	Фрезеровать торцы 1, 13 в размер $290^{+0,30}$, сверлить отверстие в размер $\phi 4,5^{+0,048}$.
Т 09	396131 Тиски самоцентрирующие специальные; 391801 Фреза торцовая Ф100 ГОСТ 9473–80 Т5К10;
Т 10	391267 Сверло центровочное А4,5 Р6М5; 393400 Калибр; 393311 Штангенциркуль ШЦ–1 ГОСТ160–80.
11	
А 12	XX XX XX 010 4110 Токарная
Б 13	381101 Токарный 16К20Ф3 3 18217 312 1Р 1 1 1 800 1 0,93
О 14	Точить последовательно поверхности и торцы 6, 7 в размер $\phi 20,96^{+0,21}$, $225^{+0,46}$.
Т 15	396190 Патрон цанговый специальный; 392841 Центр упорный №3 ГОСТ8742–75; 392101 Резец
Т 16	контурный ГОСТ 18879–73 Т15К6; 393311 Штангенциркуль ШЦ–1 ГОСТ 166–89.
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	Тпз	Тшт
А 19	ХХ ХХ ХХ 015 4110 Токарная											
Б 20	381101 Токарный 16К20Ф3	3	18217	312	1Р	1	1	1	800	1		1,27
О 21	Точить поверхность 5 в размер $\phi 41{,}361^{+0{,}25}$.											
Т 22	396190 Патрон цанговый специальный; 392101 Резец контурный ГОСТ 18879-73 Т15К6; 393311											
Т 23	Штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ 166-89.											
24												
А 25	ХХ ХХ ХХ 020 4110 Токарная											
Б 26	381101 Токарный 16К20Ф3	3	18217	312	1Р	1	1	1	800	1		1,18
О 27	Точить последовательно поверхности и торцы 6, 7, 9, 11, 12, 14, 15, 16 в размер $\phi 21{,}4^{+0{,}084}$, $\phi 12^{+0{,}07}$,											
Т 28	М20х1,5, $225{,}7^{+0{,}185}$, $235^{+0{,}185}$, $260^{+0{,}21}$, $289^{+0{,}21}$, 1х45.											
Т 29	396190 Патрон цанговый специальный; 392841 Центр упорный №3 ГОСТ8742-75; 392104 Резец											
Т 30	контурный ГОСТ 18879-73 Т30К4; 392104 Резец канавочный ГОСТ 18879-73 Т5К10, 392131 Резец											
Т 31	резьбовой ГОСТ18879-73 Т5К10; 393311 Штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ 166-89.											
32												
А 33	ХХ ХХ ХХ 025 4110 Токарная											
Б 34	381101 Токарный 16К20Ф3	3	18217	312	1Р	1	1	1	800	1		1,64
О 35	Точить поверхность 1, 5, 20 в размер $\phi 40{,}857^{+0{,}084}$, $258^{+0{,}21}$, 1х45.											
Т 36	396190 Патрон цанговый специальный; 392101 Резец контурный специальный Т30К4; 393311											
Т 37	Штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ 166-89.											
38												
А 39	ХХ ХХ ХХ 030 4260 Фрезерная											
Б 40	381210 Фрезерный с ЧПУ 6Р11Ф3-1	3	17335	422	1Р	1	1	1	800	1		0,94
О 41	Фрезеровать поверхности 17, 18, 19 в размер $126^{+0{,}16}$, $158^{+0{,}16}$, $18^{+0{,}07}$, $12^{+0{,}043}$.											
МК												

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	Тпз	Тшт
Т 69	396131 Тиски самоцентрирующие специальные; 391822 Фреза концевая ⌀12 ГОСТ 17025-71 Р6М5;															
Т 70	393610 Шаблон.															
71																
А 72	ХХ ХХ ХХ 035 4260 Фрезерная															
Б 73	381210 Фрезерный с ЧПУ 6Р11Ф3-1					З	17335	422		1Р	1	1	1	800	1	1,3
О 74	Фрезеровать поверхности 2, 3, 4 в размер $135^{+0,16}$, $160^{+0,16}$, $18^{+0,07}$.															
Т 75	396131 Тиски самоцентрирующие специальные; 391822 Фреза концевая ⌀60 специальная ВК6М;															
Т 76	393311 Штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ 166-89.															
77																
А 78	ХХ ХХ ХХ 040 Термическая															
79																
А 80	ХХ ХХ ХХ 045 Правильная															
81																
А 82	ХХ ХХ ХХ 050 4131 Шлифовальная															
Б 83	381311 Бесцентровошлифовальный 3М184					З	18873	312		1Р	1	1	1	800	1	1,08
Б 84	Шлифовать поверхность 5 в размер, $\phi 40{,}372^{+0,039}$.															
О 85	39810 Круг шлифовальный; 393421 Микрометр МР-70 ГОСТ6507-90.															
Т 86																
А 87	ХХ ХХ ХХ 055 4131 Шлифовальная															
Б 88	381311 Торцекруглошлифовальный 3Т153Е					З	18873	312		1Р	1	1	1	800	1	1,1
О 89	Шлифовать поверхности 6, 7, 9, 11 в размер $\phi 20{,}4^{+0,033}$, $225{,}4^{+0,072}$.															
Т 90	396190 Патрон цанговый специальный; 39810 Круг шлифовальный; 393421 Микрометр МР-70															
Т 91	ГОСТ6507-90.															
МК																

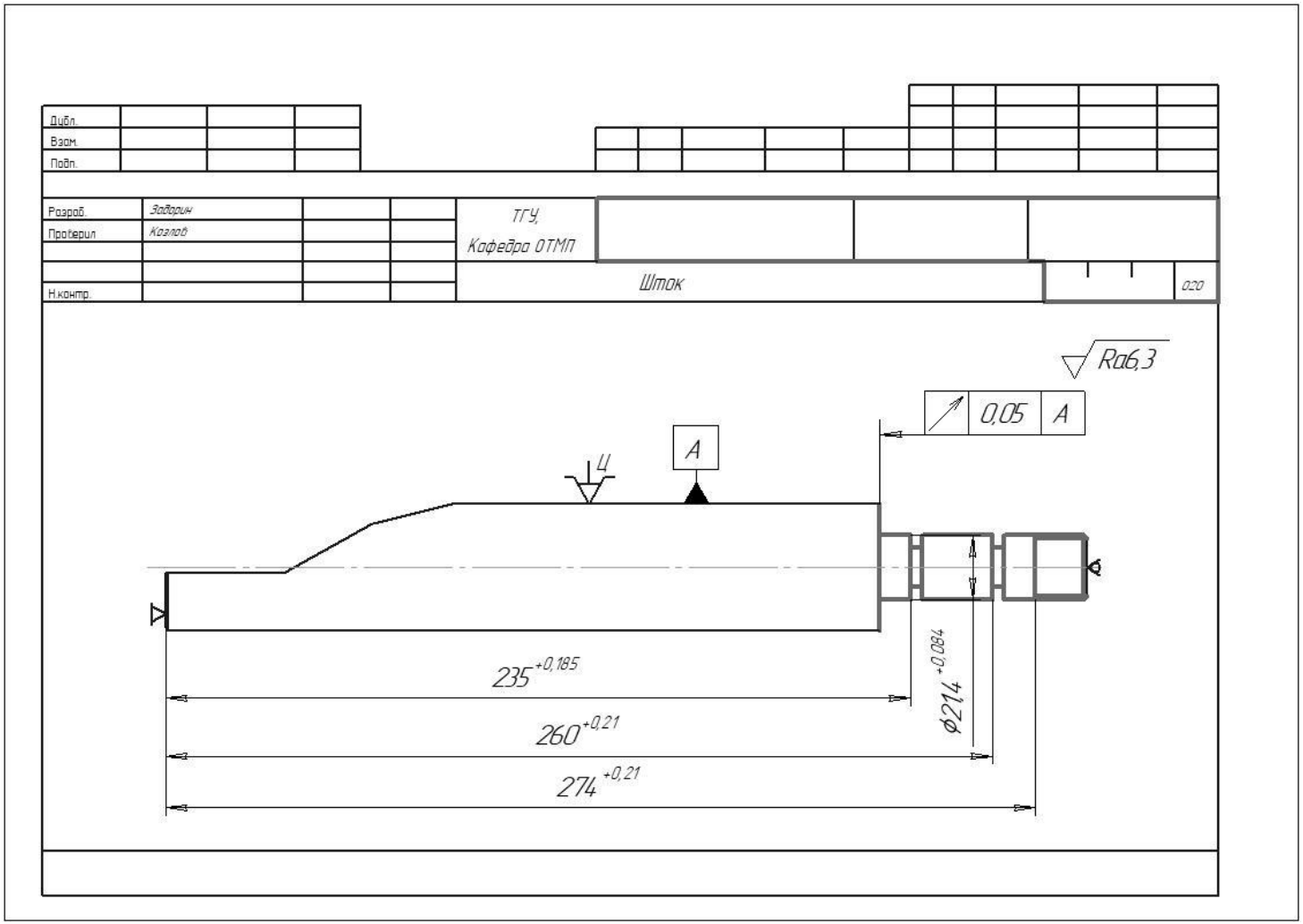
Продолжение Приложения А

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	Тпз	Тшт
А 94	ХХ ХХ ХХ 060 4131 Шлифовальная											
Б 95	381311 Бесцентровошлифовальный 3М184	3	18873	312	1Р	1	1	1	800	1		1,0
О 96	Шлифовать поверхность 5 в размер, $\phi 40,028^{+0,016}$.											
Т 97	39810 Круг шлифовальный; 393421 Микрометр МР-70 ГОСТ6507-90.											
98												
А 99	ХХ ХХ ХХ 065 4131 Шлифовальная											
Б 100	381311 Торцекруглошлифовальный 3Т153Е	3	18873	312	1Р	1	1	1	800	1		1,5
О 101	Шлифовать поверхности 6, 7, 9, 11 в размер $\phi 20,002^{+0,015}$, $225^{+0,072}$.											
Т 102	396190 Патрон цанговый специальный; 39810 Круг шлифовальный; 393421 Микрометр МР-70											
Т 103	ГОСТ6507-90.											
104												
А 105	ХХ ХХ ХХ 070 4133 Шлифовальная											
Б 106	381313 Плоскошлифовальный 3Е711ВФ3-1	3	18873	312	1Р	1	1	1	800	1		3,94
О 107	Шлифовать поверхности 2, 3, 4 в размер $135^{+0,16}$, $160^{+0,16}$, $18^{+0,07}$.											
Т 108	396131 Тиски самоцентрирующие специальные; 39810 Круг шлифовальный; 393421 Микрометр МР-70											
Т 109	ГОСТ6507-90.											
110												
А 111	ХХ ХХ ХХ 075 4191 Полировальная											
Б 112	381337 Полировально-шлифовальный 3А352	3	18873	312	1Р	1	1	1	800	1		0,89
О 113	Полировать поверхность 5 в размер, $\phi 40,028^{+0,016}$.											
Т 114	396190 Патрон цанговый специальный; 39810 Круг шлифовальный; 394300 Скоба рычажная.											
115												
А 116	ХХ ХХ ХХ 080 Моечная											
МК												

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1



Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

ГОСТ 3.1118-82 Форма 1

Дубл.				
Взам.				
Подп.				

Разраб.	Задорин			ТГУ, Кафедра ОТМП
Проверил	Козлов			
				Шток
Н.контр.				

Цех	Уч.	Р.М.	Опер.
			020

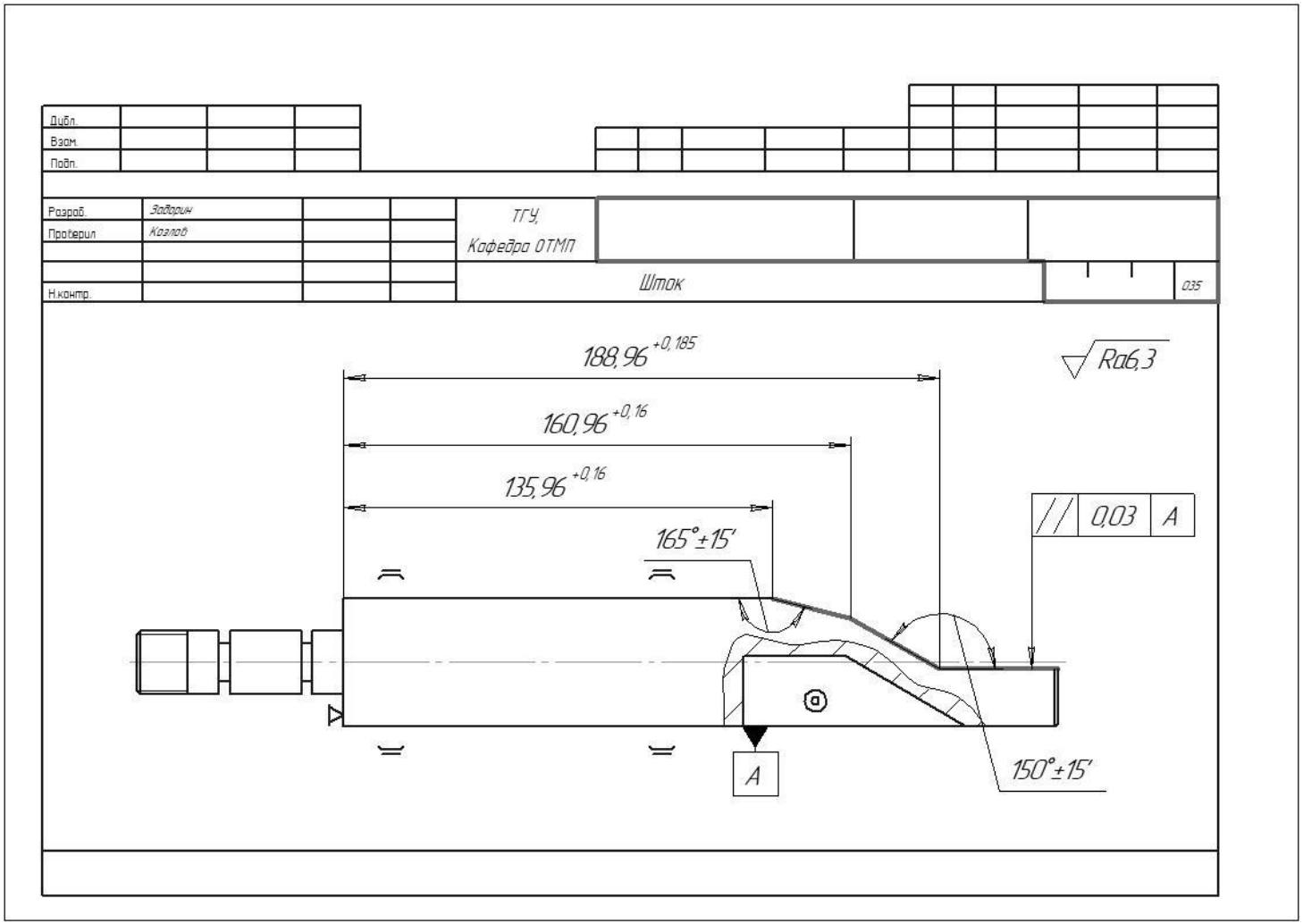
Наименование операции	Материал	Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры	МЗ	КОИД
Токарная	Сталь20ХГСА ГОСТ 4543-71		166	2,08	ф45,4х295,2	2,7	1

Оборудование, устройство ЧПУ	Обозначение программы	То	Тв	Тпз	Тшт	СОЖ
16К20Ф3		0,4			1,18	Укринол-1

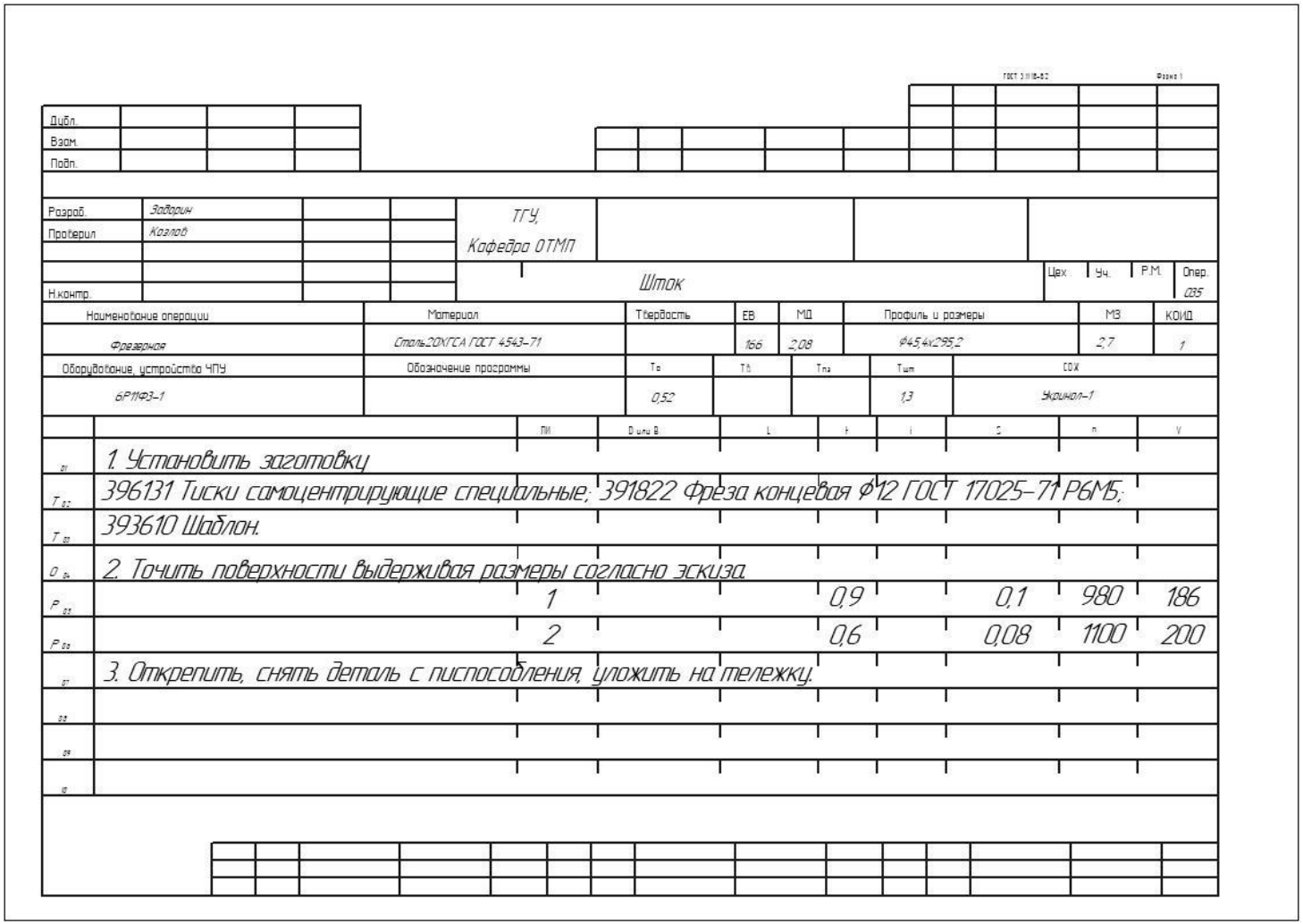
		ПИ	D или B	L	t	i	S	n	V
01	1. Установить заготовку								
Т02	396190 Патрон цанговый специальный; 392841 Центр упорный №3 ГОСТ8742-75; 392104 Резец								
Т03	контурный ГОСТ 18879-73 Т30К4; 392104 Резец канавочный ГОСТ 18879-73 Т5К10, 392131 Резец								
Т04	резьбовой ГОСТ18879-73 Т5К10; 393311 Штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ 166-89.								
О05	2. Точить поверхности выдерживая размеры согласно эскиза.								
Р06		1			1,3		0,15	1600	201
Р07		2			3,5		0,1	1600	60
Р08		3			0,3		1,5	1600	101
09	3. Открепить, снять деталь с приспособления, уложить на тележку.								
10									

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1



Продолжение таблицы А.1



Дубл.
Взам.
Подл.

Разраб.	Заварин	ТГУ, Кафедра ОТМП	
Проверил	Козлов		
Н.контр.		Шток	Цех / Уч. / Р.М. / Опер. 035

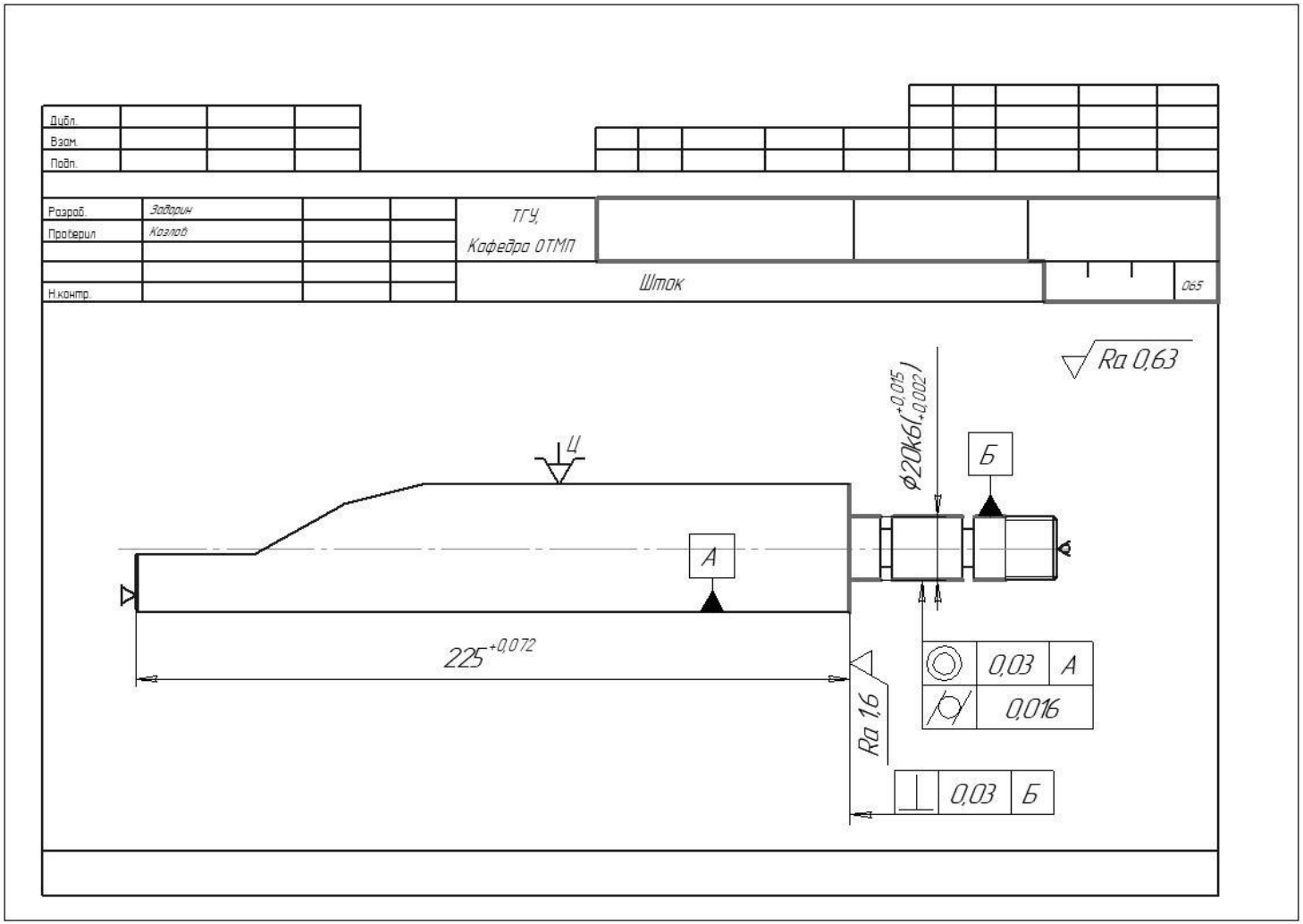
Наименование операции	Материал	Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры	МЗ	КОИД
Фрезерная	Сталь20ХГСА ГОСТ 4543-71		166	2,08	ф45,4х295,2	2,7	1

Оборудование, устройство ЧПУ	Обозначение программы	Тв	Тб	Тпз	Тшт	СОЖ
6Р11Ф3-1		0,52			1,3	Укринол-1

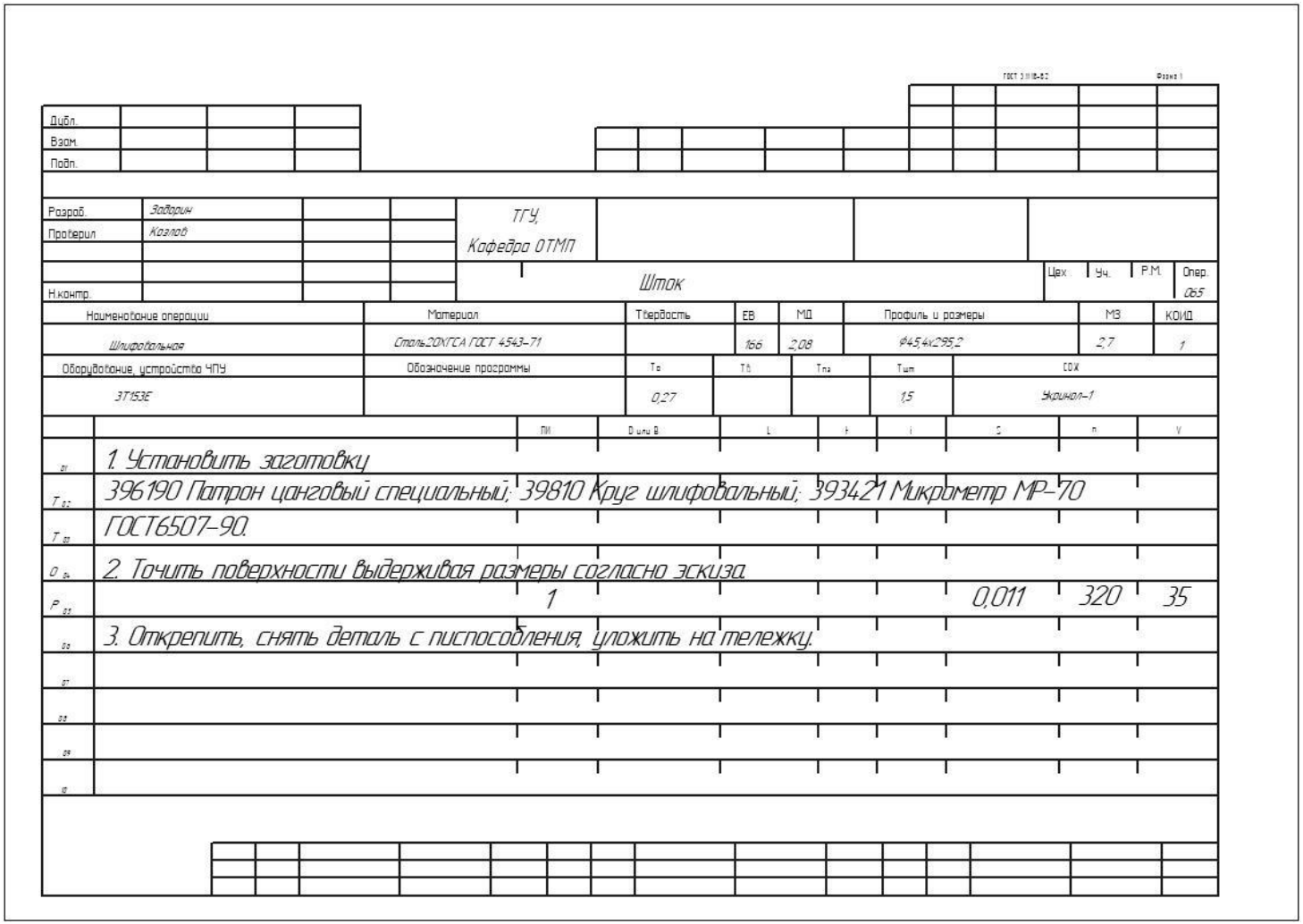
		ПИ	D или B	L	h	i	S	n	V
01	1. Установить заготовку								
T 02	396131 Тиски самоцентрирующие специальные; 391822 Фреза концевая ф12 ГОСТ 17025-71 Р6М5;								
T 03	393610 Шаблон.								
O 04	2. Точить поверхности выдерживая размеры согласно эскиза.								
P 05		1			0,9		0,1	980	186
P 06		2			0,6		0,08	1100	200
07	3. Открепить, снять деталь с приспособления, уложить на тележку.								
08									
09									
10									

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1



Продолжение таблицы А.1



Приложение Б

Спецификации к сборочным чертежам

Таблица Б.1 – Спецификации к сборочным чертежам

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Документация		
А1			25.БР.ОТМП.045.65.00.000СБ	Сборочный чертеж		
				Детали		
А4		1	25.БР.ОТМП.045.65.00.001	Муфта	1	
А4		2	25.БР.ОТМП.045.65.00.002	Корпус патрона	1	
А4		3	25.БР.ОТМП.045.65.00.003	Корпус муфты	1	
А4		4	25.БР.ОТМП.045.65.00.004	Корпус привода	1	
А4		5	25.БР.ОТМП.045.65.00.005	Крышка	1	
А4		6	25.БР.ОТМП.045.65.00.006	Крышка задняя	1	
А4		7	25.БР.ОТМП.045.65.00.007	Крышка привода	1	
А4		8	25.БР.ОТМП.045.65.00.008	Поршень	1	
А4		9	25.БР.ОТМП.045.65.00.009	Стакан	1	
А4		10	25.БР.ОТМП.045.65.00.010	Упор	3	
А4		11	25.БР.ОТМП.045.65.00.011	Цанга	1	
А4		12	25.БР.ОТМП.045.65.00.012	Шток	1	
				Стандартные изделия		
		13		Винт М8х30	6	
				ГОСТ 11738–72		
		14		Винт М8х25	6	
				ГОСТ 11738–72		
		15		Винт М8х30	3	
				ГОСТ 14738–72		

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Задорин		
Пров.		Козлов		
Н.контр.		Козлов		
Утв.		Логинов		

25.БР.ОТМП.045.65.00.000

Патрон цанговый

Лит.	Лист	Листов
	1	2

ТГУ им. гр. ТМбп–2001ас

Копировал Формат А4

Продолжение таблицы Б.1

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
		16		Гайка М20х1,5	2	
				ГОСТ 11871-80		
		17		Кольцо	1	
				ОСТ 92-8969-78		
		18		Кольцо	3	
				ГОСТ 9833-73		
		19		Кольцо	3	
				ГОСТ 9833-73		
		20		Кольцо	3	
				ГОСТ 9833-73		
		21		Подшипник 206	2	
				ГОСТ 831-75		

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	25.БР.ОТМП.045.65.00.000	Лист 2

Копировал Формат А4

Продолжение таблицы Б.1

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Документация		
А1			25.БР.ОТМП.045.70.00.000СБ	Сборочный чертеж		
				Детали		
А3		1	25.БР.ОТМП.045.70.00.001	Хвостовик	1	
А4		2	25.БР.ОТМП.045.70.00.002	Корпус	1	
А4		3	25.БР.ОТМП.045.70.00.003	Державка	4	
А4		4	25.БР.ОТМП.045.70.00.004	Штифт	4	
А4		5	25.БР.ОТМП.045.70.00.005	Пластина	4	
				Стандартные изделия		
		6		Винт М5х15 ГОСТ 17475-80	4	

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Задорин		
Пров.		Козлов		
Н.контр.		Козлов		
Утв.		Логинов		

25.БР.ОТМП.045.70.00.000

Фреза концевая

Лит.	Лист	Листов
		1

ТГУ, ИМ, гр. ТМбп-2001ас

Копировал

Формат А4