

Аннотация

В представленной выпускной квалификационной работе (ВКР) выполнен комплексный проект по разработке технологического процесса изготовления корпуса ступичного редуктора автомобиля LADA Niva 4x4. В рамках проектирования были учтены современные требования к качеству, безопасности и экономической эффективности проектируемого технологического процесса детали. Особое внимание уделено анализу базового технологического процесса, оценке технологичности материала детали, выбору оптимального по себестоимости метода получения заготовки, а также разработке технологической оснастки и режущего инструмента.

Проект включает детальный анализ технологических этапов обработки, где предложены схемы базирования, обеспечивающие высокую точность изготовления. Разработано специальное станочное приспособление, адаптированное под особенности геометрии детали, что позволяет минимизировать временные затраты и повысить производительность. Уделено внимание экологическим аспектам производства: выбраны материалы и режимы резания, снижающие негативное воздействие на окружающую среду. Безопасность процесса обеспечивается за счет внедрения современных технологических решений и строгого соблюдения норм охраны труда.

Экономическая эффективность проекта подтверждена расчетами, демонстрирующими снижение себестоимости продукции при сохранении высоких показателей качества. В комплекте с работой представлена полная технологическая документация, включающая графические материалы, необходимые для практического внедрения процесса. Графическая часть содержит 7 листов формата A1, отражающих ключевые этапы обработки детали. Пояснительная записка объемом 70 страниц содержит 7 таблиц, 9 рисунков, и приложений, наглядно иллюстрирующих результаты проработки разделов работы.

Работа построена последовательно в виде пяти основных разделов, сочетая теоретические знания и технические решения.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных и постановка задач работы	6
1.1 Анализ функционального назначения детали и условия её эксплуатации.	6
1.2 Анализ технологических показателей детали.....	9
1.3 Анализ типа производства и заводского технологического процесса.....	14
1.4 Формулировка задач работы.....	16
2 Проектирование технологического процесса	18
2.1 Проектирование заготовки.....	18
2.2 Проектирование плана изготовления.....	20
2.3 Определение средств оснащения техпроцесса.....	21
2.4 Разработка технологических операций.....	23
2.5 Выбор технологических баз и их обоснование.....	27
3 Проектирование станочного приспособления.....	31
4 Проектирование режущего инструмента.....	37
5 Безопасность и экологичность проекта.....	47
6 Экономическая эффективность проекта.....	50
Заключение.....	58
Список используемых источников.....	59
Приложение А Презентационный лист.....	61
Приложение Б Деталь.....	62
Приложение В План изготовления.....	63
Приложение Г Заготовка.....	64
Приложение Д Наладка операции 005.....	65
Приложение Е Наладка операции 010.....	66
Приложение Ж Станочное приспособление.....	67
Приложение И Спецификация.....	68
Приложение К Режущий инструмент.....	70

Введение

Машиностроение занимает лидирующую позицию в экономике современной России, развиваясь за счет создания инновационных решений в области технологий производства деталей машин и совершенствования форм организации их производства и учета технологичности конструкций. Технологичность играет ключевую роль, так как определяет возможность широкого применения изделий в различных условиях, и определяет требуемый баланс соотношения эффективных технологий и уровня автоматизации процессов производства деталей в условиях хозяйствования современного предприятия.

При разработке маршрута технологического процесса корпуса ступичного редуктора автомобиля, необходимо учитывать тип производства и возможности предприятия. Одним из ключевых технологических принципов здесь является постоянство и сохранение технологических баз.

В условиях массового или крупносерийного производства наиболее эффективны широкая дифференциация или концентрация операций с возможностью полной автоматизации технологических переходов обработки поверхностей детали на одной рабочей позиции станочного оборудования.

Целью дипломного проекта является разработка технологического процесса изготовления корпуса ступичного редуктора автомобиля.

Для этого необходимо выполнить расчет припусков, определить режимы резания, выбрать оборудование, приспособления и инструменты, необходимые для обработки. Также требуется оценить время, необходимое для изготовления детали, чтобы обеспечить эффективное планирование режима работы оборудования и содержание производственного процесса.

1 Анализ исходных данных и постановка задач работы

1.1 Анализ функционального назначения детали и условия ее эксплуатации

Полный привод ведущей оси автомобиля конструктивно реализован за счет технического решения конструкции корпуса ступичного редуктора, который «вращается на двух конических роликовых подшипниках. Эти подшипники установлены в цилиндрической части оси. В конструкции ступичного редуктора предусмотрен понижающий редуктор, корпус которого оснащен резьбовым отверстием для смазки подшипников, закрытым резьбовой пробкой. Наружная часть редуктора закрыта литой крышкой» [1].

«Ступичный понижающий редуктор переднего колеса играет ключевую роль в системе передней оси подключаемого полного привода автомобиля. Он выполняет функцию подшипникового узла, обеспечивая плавное вращение колеса вокруг оси. Кроме того, ступица служит основным элементом для крепления колеса к передней оси. В зависимости от модели автомобиля и условий эксплуатации, ступица может быть оснащена зубчатыми парами для принудительного понижения передаточного отношения привода. Как правило, она изготавливается из конструкционной стали, что обеспечивает высокую прочность и надежность. Конструктивные особенности ступицы могут варьироваться в зависимости от типа и модели транспортного средства. На рисунке 1 представлен эскиз ступицы переднего колеса» [2].

Конструкция данного узла включает несколько ключевых плоскостей, внутренние цилиндрические поверхности, предназначенные для установки подшипников, торец «А» детали ступицы, поверхность для крепления тормозных дисков.

«Конструктивное исполнение ступицы должно гарантировать не только надежное крепление колеса, но и обеспечивать высокую точность и плавность его вращения. Для достижения этих целей ступица должна обладать

достаточной жесткостью при минимальном весе» [3], что способствует повышению эффективности и долговечности узла [2].

Таким образом, анализ служебного назначения детали ступичного редуктора показал, что деталь корпус ступицы представляет собой сложный и технологичны элемент системы полного привода, что требует тщательной проработки на этапе проектирования технологического процесса. Его конструкция должна соответствовать современным требованиям по точности, надежности и технологичности изготовления, что делает его одним из ключевых компонентов автомобиля, рисунок 1.

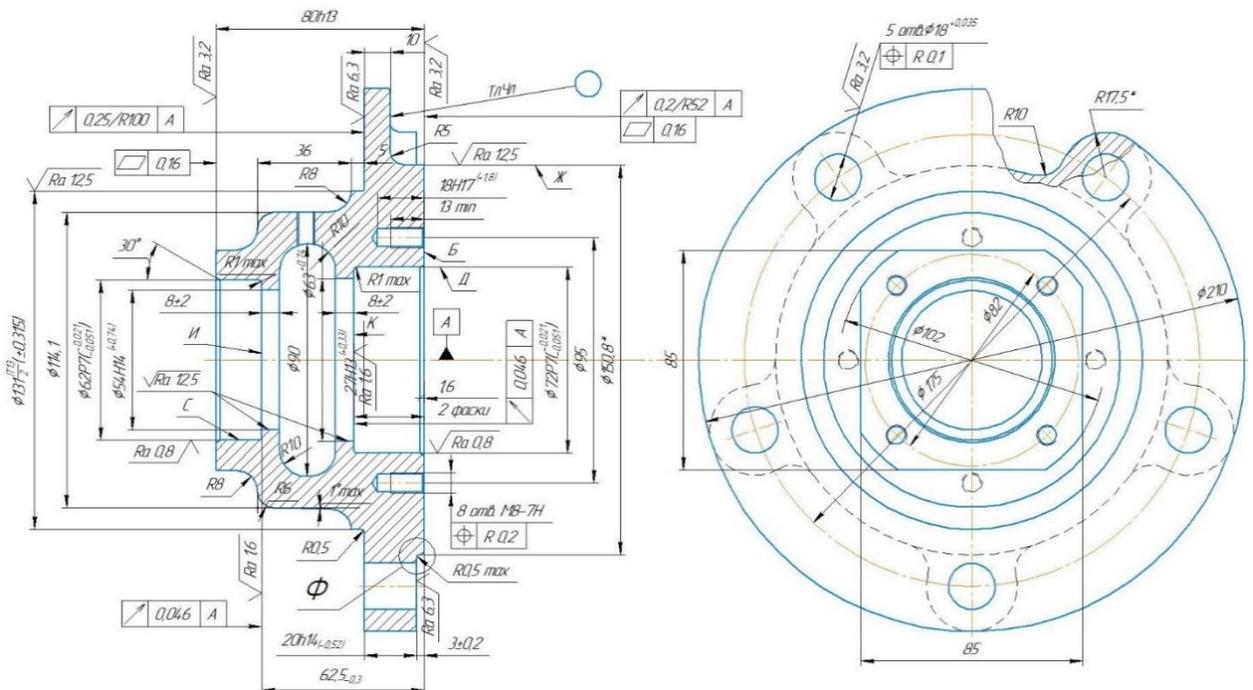


Рисунок 1 – Корпус ступицы переднего колеса

«Одной из ключевых проблем при использовании ступицы является её износ. В процессе эксплуатации техники, особенно при длительных поездках или работе в условиях повышенных нагрузок, ступица испытывает значительные механические воздействия» [4]. Это может привести к деформации, повреждению или снижению её эксплуатационных характеристик. Для предотвращения возможных поломок и обеспечения безопасности движения крайне важно проводить регулярное техническое

обслуживание, своевременный ремонт или замену ступицы при выявлении признаков износа. Эти меры позволяют поддерживать надёжность транспортного средства и продлевать срок его службы.[2]

«Также требуется провести анализ и классификацию поверхностей детали. На рисунке 1 представлены ключевые поверхности, которые играют важную роль в функционировании детали. Среди них выделяются исполнительные поверхности, предназначенные для передачи вращения, и основные поверхности, обеспечивающие опору ступицы на корпус внешнего шарнира» [1]. Эти поверхности имеют свое функциональное назначение и обеспечивают надежность сборки узла.

Таким образом, правильный выбор материала, геометрии и регулярный уход за ступицей являются основным требованием для эффективной работы и «безопасной эксплуатации транспортного средства в целом» [2].

1.2 Анализ технологических показателей детали

«Деталь «Корпус ступицы» изготавливается из литейной стали марки 40Л по ГОСТ 977-88. Этот материал широко применяется для производства деталей, работающих при повышенных температурах до 400 °С. Его химический состав включает 97% железа, 0,37–0,45% углерода, 0,2–0,52% кремния и 0,4–0,9% марганца, что обеспечивает высокую прочность и надежность» [1].

Производство корпуса ступицы осуществляется методом литья с использованием форм, максимально приближенных к конфигурации готовой детали. Деталь представляет собой тело вращения со множеством цилиндрических поверхностей, включая резьбовые отверстия (как глухие, так и сквозные), что требует применения различных инструментов: сверл, фрез и метчиков. Однако все поверхности доступны для механической обработки с использованием стандартного оборудования и приспособлений, что делает

«Для изготовления корпуса ступицы рекомендуется использовать материалы с твердостью в диапазоне 163 - 229 НВ, такие как стальные сплавы 45Х или 40ХН2МА. При этом важно соблюдать требования к точности литья, допускам на раковины и биение поверхностей, а также выбирать инструменты и оборудование, гарантирующие соответствие размеров и параметров шероховатости. Особое внимание следует уделить растачиванию мест под подшипники с достижением шероховатости Ra 0.8, а также учету линейных уклонов и радиусов на поверхностях» [2].

«Анализ технологичности показывает, что внешняя поверхность детали имеет 6 ступеней, а внутренняя - 5 ступеней. Поверхности под подшипники требуют высокой точности обработки с шероховатостью Ra 0.8, что предполагает использование растачивания. Остальные отверстия имеют шероховатость Ra 3.2, что может потребовать дополнительной обработки для повышения качества. На детали выполнено 8 резьбовых отверстий (по 4 на каждом конце), которые также нуждаются в обработке» [3].

Несмотря на сложность конфигурации, деталь обладает высокой технологичностью благодаря продуманной конструкции, обеспечивающей удобный доступ к поверхностям и «возможность применения стандартного оборудования. Это позволяет минимизировать трудозатраты и время на обработку» [4].

«Заданную деталь необходимо проверить на технологичность с использованием количественного анализа с помощью следующих коэффициентов. Коэффициент сложности обработки - это отношение времени обработки детали наиболее сложной ее операции к общему времени обработки детали. Коэффициент использования материала – это отношение массы детали после обработки к массе исходного заготовления. Коэффициент издержек на обработку – это отношение затрат на обработку детали к ее стоимости. Коэффициент трудоемкости обработки - это отношение затрат на труд при обработке детали к ее стоимости. Коэффициент использования станка - это отношение времени работы станка при обработке детали к общему времени

его работы. Коэффициенты технологичности детали могут помочь определить, насколько деталь является эффективной и экономичной в процессе ее производства» [5].

«Выполним расчет коэффициента технологической шероховатости (Кшо) с использованием формулы (1):

$$K_{\text{ш.о.}} = \frac{1}{B_{\text{ср.}}} \quad (1)$$

где $B_{\text{ср.}}$ – средний класс шероховатости обработки заданной детали;

1,2,...,14 - класс шероховатости обработки;

n_1, n_2, \dots, n_{14} - число поверхностей заданной шероховатости.

$$B_{\text{ср.}} = \frac{1n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots + 14n_{14}}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_{14}}$$

$$B_{\text{ср.}} = \frac{2 \cdot 20 + 4 \cdot 5 + 5 \cdot 10 + 6 \cdot 7 + 7 \cdot 2 + 8 \cdot 2}{20 + 5 + 10 + 7 + 2 + 2} = 3,96$$

$$K_{\text{ш.о.}} = \frac{1}{3,96} = 0,253$$

При расчетном коэффициенте шероховатости равном 0,253 ступица считается нормальной трудоемкости при изготовлении» [5].

«Показатель технологичности по точности обработки $K_{\text{т.о.}}$ достаточно частый показатель технологичности узла, он определяется по формуле (2):

$$K_{\text{т.о.}} = 1 - \frac{1}{A_{\text{ср.}}} \quad (2)$$

где $A_{\text{ср.}}$ – средний квалитет точности обработки;

6,7,...,17 – квалитеты точности изготовления;

n_6, n_7, \dots, n_{17} – количество размеров данного квалитета.

$$A_{\text{ср.}} = \frac{6n_6 + 7n_7 + 8n_8 + \dots + 17n_{17}}{n_6 + n_7 + n_8 + \dots + n_{17}}$$

$$A_{\text{CP}} = \frac{17 \cdot 48 + 15 \cdot 1 + 14 \cdot 3 + 13 \cdot 3 + 8 \cdot 5 + 7 \cdot 2}{48 + 1 + 3 + 3 + 5 + 2} = 15,09$$

$$K_{\text{T.O.}} = 1 - \frac{1}{15,09} = 0,933$$

В нашем случае рассчитанный коэффициент технической оснащённости равняется 0,933, следовательно заданную деталь следует считать нормальной точности при изготовлении» [5].

Можно сделать следующие заключения. Деталь технологична, однако показатели значений расчетных коэффициентов близки к пороговым значениям. Объективно это позволяет судить о высокой вероятности возникновения ряда проблем связанных с низкой производительностью процесса обработки детали. «Недостаточная точность геометрических параметров детали. Высокая стоимость производства детали. Сложность обработки детали, что может привести к высокому риску дефектов. Неэффективное использование материала при изготовлении детали. Ограничения по выбору технологии обработки детали, что может усложнить ее производство» [5].

«Эти факторы технологичности могут указывать на то, что деталь может быть улучшена» [3] в плане ее показателей технологичности, путём разработки эффективного технологического процесса ее изготовления, обеспечивающего высокую производительность, точность и/или снижения ее стоимости изготовления.

1.3 Анализ типа производства и заводского технологического процесса

«Этот раздел направлен на определение и анализ типа производства, который привязан в программе годового объема» [5] выпуска детали, а также к значениям параметров габаритных размеров и массой. Корректный выбор вида производства и его организационной формы имеет ключевое значение для формирования технологического процесса и его эффективной организации [4].

В машиностроительной отрасли традиционно выделяют три основных типа производства: массовое, серийное и единичное. Для детали «Ступица колеса» тип и серийность производства определяются с использованием данных таблиц 1 и 2.

Таблица 1 - Выбор типа производства

Тип производства	Выпуск продукции за год		
	Вес детали		
	> 30 кг	8 - 30 кг	< 8 кг
единичное	< 5	< 10	< 100
мелкосерийное	5 – 100	10 – 200	100 - 500
среднесерийное	100 – 300	200 – 500	500 - 5000
крупносерийное	300 – 1000	500 – 5000	5000 – 50000
массовое	> 1000	> 5000	> 50000

Таблица 2 - Выбор серийности производства

Серийность производства	Количество изделий в серии		
	Вес детали		
мелкосерийное	3 – 10	5 – 25	10 – 50
среднесерийное	11 – 50	26 – 200	51 – 500
крупносерийное	св. 50	св. 200	св. 500

«На основе анализа веса, габаритов и объема выпуска для каждого заданного конструктивного элемента детали был определен тип ее производства – среднесерийный, с годовым количеством изготавливаемых деталей в диапазоне от 2000 до 15000» [4]. Согласно задания программа производства данной детали задана 10000 деталей в год. Следовательно, тип производства определен верно.

Ключевыми характеристиками определяющими среднесерийных типа производства можно назвать: модернизация технологического процесса в условиях переменной серийности, и износа оборудования. Должны применяться станки с числовым программным управлением. Следует отдавать предпочтение в первую очередь оборудованию отечественного производства, имеющих отечественную систему управления, и соответствующую применению в рабочей зоне станка типового режущего инструмента и станочного оснащения [7].

«При выборе метода изготовления заготовок учитываются такие факторы, как требуемая точность, шероховатость поверхности, сроки производства, возможность автоматизации, доступность материалов и оборудования, а также экономическая целесообразность» [6].

«Например, для создания сложных и высокоточных деталей могут применяться методы лазерной резки или электроэрозионной обработки, тогда как для массового производства более простых деталей предпочтительнее использовать штамповку или литье в металлические формы» [4].

1.4 Формулировка задач работы

«Цель данного проекта заключается в разработке прогрессивного технологического процесса для изготовления детали ступицы колеса, что предполагает проектирование как конструкторской документации, так и технологического оснащения. Для достижения этой цели необходимо

выполнить ряд задач, которые позволят повысить качество продукции и снизить затраты» [4].

В первую очередь требуется определить назначение детали и описать её функционирование в узле, чтобы понять её роль в работе механизма. Далее следует установить технические требования к детали, учитывая условия её эксплуатации, а также провести анализ её технологичности. Это позволит выявить возможности для улучшения конструкции и процесса изготовления.

«Важным этапом является анализ текущего технологического процесса, включая изучение документации, используемого оборудования, режущего инструмента и технологической оснастки. На основе этого анализа необходимо выработать предложения по модернизации процесса проектирования и производства» [4].

«Далее следует выполнить проектирование нового технологического процесса изготовления детали ступицы колеса трактора. Для этого нужно выбрать заготовку, разработать последовательность операций и переходов, рассчитать припуски, режимы резания и нормы времени, а также определить необходимое количество оборудования» [4].

Также был создан чертеж детали, представленный в Приложении Б (рисунок Б.1). Этот чертеж служит основой для дальнейшей разработки технологического процесса и конструкторской документации.

Дополнительно стоит отметить, что внедрение современных технологий, таких как автоматизация и использование инновационных материалов, может значительно улучшить качество продукции и сократить время обработки. Это особенно важно в условиях среднесерийного производства, где требуется баланс между скоростью изготовления и точностью исполнения.

Таким образом, данный проект не только решает текущие задачи, но и закладывает основу для дальнейшего развития производства.

2 Проектирование технологического процесса

2.1 Проектирование заготовки

«Для изготовления данной детали используется сталь марки 40Л, соответствующая стандарту ГОСТ 977-88, которая предназначена для литья. В качестве основного метода получения заготовки выбрано литье в металлические формы, также известное как кокильное литье. Этот процесс предполагает заливку расплавленного металла в многоразовые формы, называемые кокилями, что позволяет добиться высокой точности и качества отливок» [8].

«В отличие от традиционного литья в песчаные формы, используемого на единичном типе производства, применение металлических форм позволяет получать отливки с более высокой плотностью и улучшенными механическими свойствами. Преимущество этого метода заключается в многократном использовании форм (кокилей), что обеспечивает высокую точность и качество поверхности отливок. Кроме того, литье в металлические формы подходит для создания деталей сложной конфигурации и любого размера при минимальных затратах. Однако стоит учитывать, что данный метод литья для стали 40Л может выдавать дефекты литья, такие как возможная неточность изготовления и неравномерная структура отливок, что может снизить прочность деталей» [9].

Однако деталь является корпусной, что означает что основные нагрузки при передачи крутящего момента будут передаваться через пары качения, подшипники, что позволяет снизить технические требования к детали корпуса ступичного узла привода.

«Ниже приведены пересмотренные технические требования к изготовлению заготовки. Для производства заготовки применяется сталь с твердостью от 160 до 240 по шкале HB 5(750)10, при этом диаметр отиска должен находиться в пределах 1,9–2,3 мм. Выбор стали с такими

механическими свойствами обусловлен необходимостью достижения требуемых характеристик готовой детали» [8].

«Отливка должна соответствовать классу точности 11Т-0-0-11См с допустимым отклонением не более 1,5 мм согласно ГОСТ 26645-85. Это требование определяет допустимые отклонения размеров заготовки от заданных параметров» [9].

«Допускаются небольшие неуказанные уклоны в пределах 1° – 2° и радиусы от 3 до 5 мм, что не влияет на общую точность изготовления.

Все требования к заготовке определяют необходимость использования конкретных материалов и соблюдения строгих параметров размеров и формы.

Наличие поверхностных дефектов, таких как царапины или следы корректировки, допустимо, если они не влияют на функциональные характеристики изделия.

При производстве заготовки необходимо строго соблюдать нормы безопасности труда, установленные соответствующими нормативными актами.

Транспортировка заготовок должна осуществляться с учетом мер по их защите от механических повреждений.

Хранение заготовок требует защиты от коррозии и воздействия агрессивных сред.

Использование материалов, оборудования или технологий, не соответствующих требованиям, запрещено.

Механическая обработка заготовки должна выполняться с соблюдением требований к точности и качеству, указанных в технической документации.

Контроль геометрических параметров заготовки осуществляется с использованием измерительных инструментов, обеспечивающих необходимую точность» [9].

Техническая документация на изготовление заготовки должна быть оформлена в соответствии с ГОСТ 2.104-68 и содержать полные данные о материалах, технологических процессах и допустимых отклонениях. Чертеж

заготовки представлен в графической части работы, а ее параметры указаны в маршрутной карте технологического процесса, Приложение А, таблица А1.

2.2 Проектирование плана изготовления

«Производство ступицы переднего колеса включает несколько последовательных этапов обработки. На начальной стадии выполняется обточка базовых поверхностей на многошпиндельном токарном станке. Далее, на втором и третьем этапах, производится обработка пяти отверстий диаметром 18 мм, а также восьми резьбовых отверстий (по четыре на каждом торце). Четвертый этап предполагает финишную обработку двух отверстий, предназначенных для установки шариковых подшипников» [10]. Эти отверстия обрабатываются одновременно для обеспечения точности и соосности. После этого на пятом этапе выполняется снятие острых кромок с помощью напильника, а на шестом - деталь промывается и сушится с использованием раствора ОСМ-1. Завершающим этапом является контрольная проверка, которая проводится для подтверждения соответствия детали установленным требованиям (см. Приложение В, рисунок В.1).

При проектировании технологического процесса изготовления ступицы переднего колеса важно учитывать не только последовательность операций, но и конструктивные особенности детали, а также ее функциональное назначение. Например, точность обработки отверстий для подшипников играет ключевую роль в обеспечении корректной работы колеса и предотвращении возможных поломок. Кроме того, необходимо строго соблюдать требования к твердости и прочности поверхности детали, чтобы гарантировать ее долговечность и безопасность в процессе эксплуатации.

Для повышения качества обработки детали также рекомендуется учитывать следующие аспекты для минимизации внутренних напряжений в материале.

Таким образом, разработка технологии изготовления ступицы переднего колеса требует комплексного подхода, учитывающего как технические параметры, так и эксплуатационные требования. Это позволяет создать деталь, которая будет надежно выполнять свои функции в течение длительного срока службы.

2.3 Определение средств оснащения техпроцесса

«При выборе оборудования для обработки детали необходимо учитывать множество факторов. Ключевыми из них являются технические параметры изделия, такие как габариты, конфигурация, материал, а также требуемая точность обработки. Помимо этого, важно принимать во внимание производственные аспекты: доступность оборудования, его мощность и функциональные возможности. Не менее значимы экономические соображения, включая стоимость оборудования и расходы на выполнение операций. Все эти критерии тщательно анализируются для подбора оптимального оборудования, которое обеспечит выполнение технических требований к детали» [9].

«В случае изготовления ступицы переднего колеса, на первом этапе рекомендуется использовать многошпиндельный полуавтоматический агрегатный станок» [10] для обработки базовых поверхностей. Это оборудование позволяет добиться высокой производительности и точности на начальной стадии производства.

«На втором и третьем этапах выполняется обработка пяти отверстий диаметром 18 мм и восьми резьбовых отверстий (по четыре на каждом торце). Для этих операций подходят сверлильные станки или расточные станки с ЧПУ» [10], выбираем второй тип станков, которые обеспечивают более высокую повторяемость параметров точности и скорости выполнения работ.

Четвертый этап предполагает чистовое растачивание отверстий для установки шариковых подшипников. Здесь предпочтение отдается станкам с

ЧПУ, так как они гарантируют высокую точность и повторяемость операций, что особенно важно для обеспечения корректной работы подшипников. [8]

На пятом этапе выполняется удаление острых кромок с помощью слесарного инструмента. Эта операция может быть выполнена вручную, что делает ее простой и экономически выгодной.

Шестой этап включает промывку и сушку детали. Для этого «рекомендуется использовать специализированное оборудование, например, сушильные шкафы, и автоматические моечные станции которые обеспечивают равномерное высыхание и подготовку детали к финальной проверке» [9].

«Для достижения высокой точности и производительности при обработке отверстий целесообразно использовать агрегатные станки. При финишной обработке отверстий под подшипники (поверхности С, Д и К на чертеже) предпочтение стоит отдать станкам с ЧПУ, так как они обеспечивают максимальную точность и повторяемость» [10].

В таблице 3 приведен перечень сотрудников, задействованных на каждом этапе производства детали «Корпус ступичного редуктора».

Таблица 3 – Последовательность обработки детали, по типу оборудования

Номер операции	Наименование операции	Оборудование	Класс точности
005	токарная 8-шп.	токарный центр чпу	4
010	агрегатная	расточной центр чпу	4
015	агрегатная	фрезерный центр чпу	4
020	алмазно-расточная	расточной центр чпу	4
025	слесарная	слесарный стол	3
030	промывочная	станция промывки	3
035	контроль приемочный	контрольный стол	4

«Для обработки отверстий диаметром 18 мм и нарезки резьбы подойдут сверлильно-резьбонарезные станки, а для обработки базовых

поверхностей - токарные станки. Растачивание отверстий для подшипников выполняется на расточных станках, а удаление острых кромок - вручную с помощью напильника. Важно также подобрать подходящие инструменты и оснастку для каждой операции. Контроль качества осуществляется на специальном столе контроллера» [7].

Таким образом, при выполнении данного раздела решены задачи работы направленные на разработку прогрессивного технологического процесса изготовления детали. Основной акцент при выборе оборудования сделан порядок и содержание переходов обеспечивающие повторяемость и стабильность точности обработки. Согласно этому выбрано оборудования средней и высокой точности, оснащенное системой программного управления.

2.4 Разработка технологических операций

Выбор оптимальных режимов резания при обработке детали один из ключевых этапов в производственном процессе. Он требует тщательного анализа множества факторов, включая свойства обрабатываемого материала, «характеристики режущего инструмента (например, его материал и геометрию), а также размеры и форму детали. На основе этих данных определяются такие параметры, как глубина резания, подача и скорость, которые напрямую влияют на производительность, качество обработки и долговечность инструмента» [8].

Для баланса, важно учитывать дополнительные аспекты, такие как жесткость детали, условия охлаждения и способ ее фиксации на станке. Например, недостаточная жесткость может привести к вибрациям, что ухудшит качество обработки, а неправильное охлаждение к перегреву инструмента и детали. Эти факторы также играют значительную роль в определении оптимальных режимов резания.

При выборе скорости резания необходимо ориентироваться на материал режущего инструмента и состояние поверхности заготовки. Например, для

твердых сплавов скорость резания может быть выше, чем для инструментов из быстрорежущей стали. Более подробные рекомендации можно найти в таблице 4, где приведены зависимости скорости резания от различных параметров.

Для повышения эффективности обработки детали с учетом выбора способа получения заготовки методом литья, будем учитывать следующие рекомендации. Использование современных смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) для снижения трения и температуры в зоне резания. Регулярная проверка и заточка режущего инструмента для поддержания его остроты и геометрии. Оптимизация режимов резания с учетом конкретных условий производства, таких как тип станка и доступное оборудование.

Таким образом, правильный выбор режимов резания не только повышает качество обработки, но и снижает износ инструмента, что в итоге приводит к экономии ресурсов и увеличению производительности, таблица 4.

Таблица 4 – Скорость резания

Параметр	Без корки	С коркой
состояние поверхности	1	0,8
тип резца	вк8	вк2
материал режущей части	0,83	1,2

«Выбрав скорость резания и зная диаметр обрабатываемой поверхности, необходимо определить частоту вращения шпинделя станка по формуле 3:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (3)$$

где V – скорость резания;

π – 3,14;

D – диаметр обрабатываемой поверхности.

Рассчитав частоту вращения вала шпинделя, определим скорость резания (формула 4):

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (4)$$

где n – число оборотов, мин^{-1} ;

π – 3,14;

D – диаметр обрабатываемой поверхности.

Расчёт времени работы механизмов определяем по формуле 5:

$$T_0 = \frac{L}{n \cdot S} \quad (5)$$

где L – длина рабочего хода;

S – подача» [7].

«Критический по времени путь обработки – обработка растачиванием центрального отверстия на позиции III» [7].

Режущий инструмент 16×25 ВК8:

– Глубина резания: $t = 1$ мм.

– Подача: $S_o = 0,2$ мм/об.

– Определение числа оборотов шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 98,9}{3,14 \cdot 210} = 150 \text{ мин}^{-1}$$

– Определение скорости резания:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 70,6 \cdot 150}{1000} = 33 \text{ м/мин}$$

– Определение основного времени:

$$T_0 = \frac{L_{PX}}{S_o \cdot n} = \frac{33}{0,2 \cdot 150} = 1,1 \text{ мин.}$$

«Определим режимы обработки: 020 Расточная.

Станок алмазно-расточной ОС-4555. Режущий инструмент резец ВК2:

– Глубина резания: $t = 0,2$ мм.

– Подача: $S_o = 0,05$ мм/об.

– Скорость резания: $V = 116,4$ м/мин.

– Определение числа оборотов шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 116,4}{3,14 \cdot 72} = 525 \text{ мин}^{-1}$$

– Определение времени обработки» [7]:

$$T_o = \frac{L_{PX}}{S_o \cdot n} = \frac{30}{0,05 \cdot 525} = 1,16 \text{ мин.}$$

«Важно учитывать, что переход на ЧПУ потребует дополнительных затрат: обучение персонала, закупка оборудования и программного обеспечения» [7]. Поэтому перед принятием решения необходимо провести детальный анализ экономической целесообразности включения этой операции в технологический процесс. [4]

«Кроме того, важно организовать контроль качества на всех этапах производства, чтобы гарантировать соответствие деталей установленным требованиям» [6].

«Далее выполним расчёт массы заготовки и коэффициент использования материала. Это позволит оценить эффективность расхода сырья и оптимизировать производственный процесс» [7].

«Коэффициент использования материала определяется по формуле 6:

$$K_{\text{ИМ}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_{\text{з}} \cdot K_{\text{з}}} \quad (6)$$

где $M_{\text{д}}$ – масса заданной детали, кг;

$M_{\text{з}}$ – масса заготовки для детали, кг;

$K_{\text{з}}$ – коэффициент метода получения заготовки» [7].

«В связи с тем, что геометрия заготовки является сложной, коэффициент использования материала определим упрощенным способом» [7].

«Масса ступицы трактора равна 6,1 кг. Масса заготовки для производства детали определяется путём взвешивания и равняется 7 кг. При литье в песчаные формы коэффициент способа получения заготовки принимается равным 1,05» [7].

$$K_{ИМ} = \frac{6,1}{7 \cdot 1,05} = 0,83$$

«Припуски на обработку и межоперационные размеры определяются в соответствии с техническими требованиями и спецификациями детали. Они необходимы для компенсации возможной усадки или деформации материала в процессе обработки, а также для достижения требуемых размеров и шероховатости поверхности» [10].

«Для расчета припусков и межоперационных размеров необходимо проанализировать все этапы технологического процесса и определить дополнительные и вспомогательные технологические базы, которые обеспечат точность изготовления детали» [11].

2.5 Выбор технологических баз и их обоснование

«Обеспечивая требования высокой точности при обработке деталей крайне важно правильно выбрать схему базирования и закрепления заготовки. Это требует соблюдения ряда ключевых правил. Например, необработанные поверхности следует использовать только на начальных этапах обработки. Поверхности, выбранные для базирования, должны быть достаточно большими, чтобы обеспечить надежную фиксацию и высокую точность позиционирования. Кроме того, базовые поверхности должны отличаться минимальной шероховатостью и высокой точностью. Важно придерживаться принципа единства баз, который предполагает использование одних и тех же поверхностей для базирования на всех этапах обработки. Это позволяет минимизировать погрешности и обеспечить согласованность размеров» [4].

«В частности, для операций 010 и 015 требуется использование дополнительных поверхностей для правильного позиционирования ушек фланца и резьбовых отверстий. Это необходимо для обеспечения точного расположения отверстия диаметром 18 мм с допуском +0,035 мм на операции

010, а также для корректного размещения резьбовых отверстий на операции 015 относительно других элементов детали» [7].

Для решения этих задач решено применить в проектируемом варианте технологического процесса следующее. Использование специальных приспособлений или оснастки, которые обеспечат надежное базирование и фиксацию детали. Применение дополнительных контрольных точек для проверки точности расположения отверстий на каждом этапе обработки. Внедрение современных методов контроля, таких как 3D-сканирование, для проверки соответствия детали заданным параметрам.

Таким образом, правильный выбор схемы базирования и крепления заготовки ступицы не только повышает точность обработки, но и снижает риск брака. Выполнить проектирование схем базирования для обеспечения максимальной точности при изготовлении детали, результаты проектирования сведем в таблицу 5.

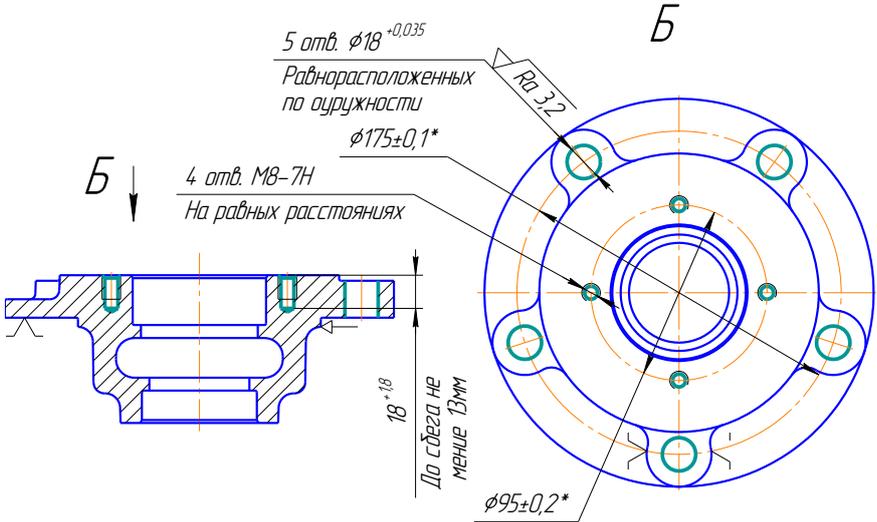
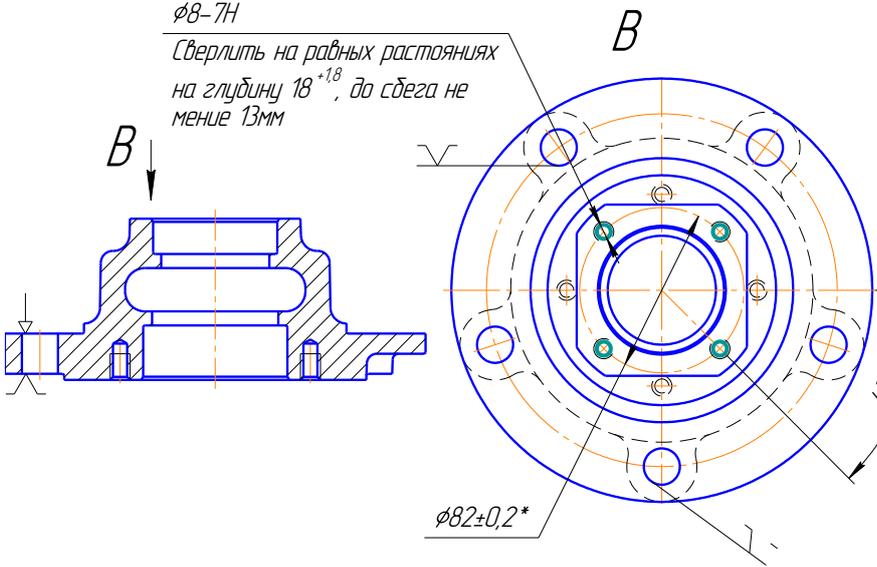
Анализ таблицы 5 указывает на то, что применение традиционных методов обработки и применения типовой станочной оснастки могут не обеспечить необходимую точность обработки, что приведет к увеличению времени на механическую обработку и сделает процесс экономически невыгодным. Например, использование неподходящих поверхностей для фиксации ступицы в приспособлении может вызвать вибрации или силовые смещения при механической обработке, что негативно скажется на точности готовой детали.

В этой связи одним из следующих блоков задач необходимо спроектировать конструкцию станочного приспособления, при этом важно тщательно проанализировать все возможные варианты и выбрать наиболее подходящий вариант установки детали, учитывая как технические, так и точностные аспекты

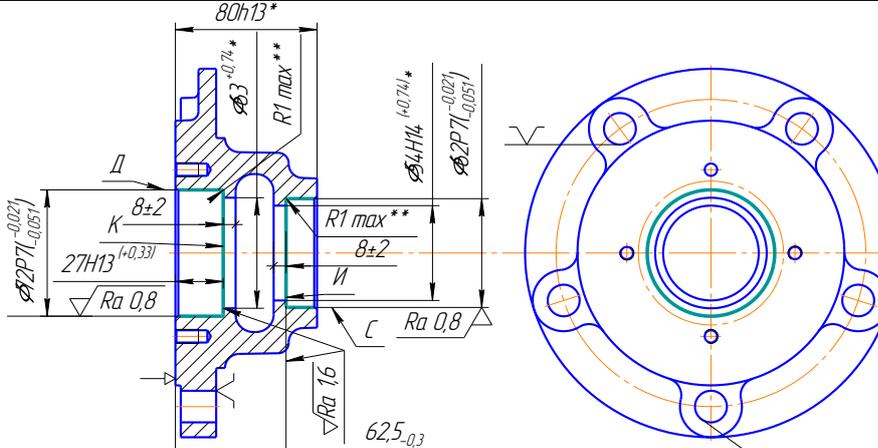
Таблица 5 - Схемы базирования детали

Номер и описание операции	Схемы базирования
Операция 005	
Токарная 8-шп. Установ 1	
«Базирование за не обработанные поверхности. С упором в торец большего диаметра для повышения точности базирования» [7]	
Операция 005	
Токарная 8-шп. Установ 2	
«Базирование за обработанную поверхность, наибольший диаметр с упором в торец. Принцип единства баз соблюдается» [7].	

Продолжение таблицы 5

Номер и описание операции	Схемы базирования
<p>Операция 010</p>	 <p>5 отв. $\phi 18^{+0,035}$ Равнорасположенных по окружности Ra 3,2 $\phi 175 \pm 0,1^*$ 4 отв. М8-7Н На равных расстояниях 18⁺¹⁸ До сбега не менее 13мм $\phi 95 \pm 0,2^*$</p>
<p>Агрегатная</p>	
<p>«Установка детали в плоскости x-z происходит по торцу большего диаметра. Угловое положение ушей фланца по оси у фиксируется откидной планкой. Зажим происходит за диаметр $\phi 131$» [7].</p>	
<p>Операция 015</p>	 <p>$\phi 8-7Н$ Сверлить на равных расстояниях на глубину 18⁺¹⁸, до сбега не менее 13мм 45° $\phi 82 \pm 0,2^*$</p>
<p>Агрегатная</p>	
<p>«Базирование на второй агрегатной операции происходит по двум установочным штифтам. Это позволяет с удовлетворительной точностью установить деталь относительно общей оси и резьбовых отверстий с противоположного торца детали. (Недостающие обозначения смотри в техпроцессе.)» [7]</p>	

Продолжение таблицы 5

Номер и описание операции	Схемы базирования
Операция 020	
Алмазно-расточная	
«Базирование происходит по двум установочным штифтам. Это позволяет с удовлетворительной точностью установить деталь во время обработки» [7]	 <p>1. торцевое биение поверхностей: К относительно D 0,046мм, И относительно C 0,046мм 2. Допуск несоответствия диаметров C и D в поперечном и продольном сечениях 0,015мм 3. Взаимное биение поверхностей C и D допускается не более 0,02мм 4. *размер для справок 5. ** Размер обеспечиваемый инструментом</p>

Во втором разделе выпускной квалификационной работы был разработан способ получения заготовки, определены ключевые требования к ней и создан соответствующий чертеж (см. Приложение Г, рисунок Г.1). Также был составлен проектный вариант плана изготовления детали, включающий выбор оборудования, расчет параметров обработки и определение схем базирования (см. Приложение Д, рисунок Д.1 и Приложение Е, рисунок Е.1).

Для повышения эффективности процесса обработки было предложено использование современных технологий, таких как 3D-моделирование, для оптимизации схем базирования и минимизации погрешностей обработки, внедрение автоматизированных систем контроля качества на каждом этапе производства, операции, переходе, для этого были применены автоматизированные станочные комплексы и контрольная оснастка.

Таким образом, разработанный план и выбранные методы обработки позволят достичь высокого качества обработки детали при минимальных затратах времени и ресурсов.

3 Проектирование станочного приспособления

Проектируемое станочное приспособление предназначено для одновременного растачивания двух торцовых поверхностей и отверстий под подшипники с операционным размером согласно техническим требованиям 62P7 и 72P7. В качестве приспособления решено использовать типовую конструкцию кондукторной плиты с элементами универсально-сборного приспособления. Также для снижения объема ручного труда и сокращения потерь времени на переустановку детали принято решение использовать в конструкции кондуктора автоматизированный привод. Это решение позволяет значительно повысить точность обработки и сократить время на обработку поверхностей, так как обе операции выполняются за один установ детали. На рисунке 2 представлен эскиз, демонстрирующий, как используется данное приспособление для установки детали, согласно реализуемой теоретической схемы базирования.

Таким образом, разработанное приспособление не только упрощает процесс расточки, но и обеспечивает высокое качество обработки, что особенно важно для деталей с жесткими допусками.

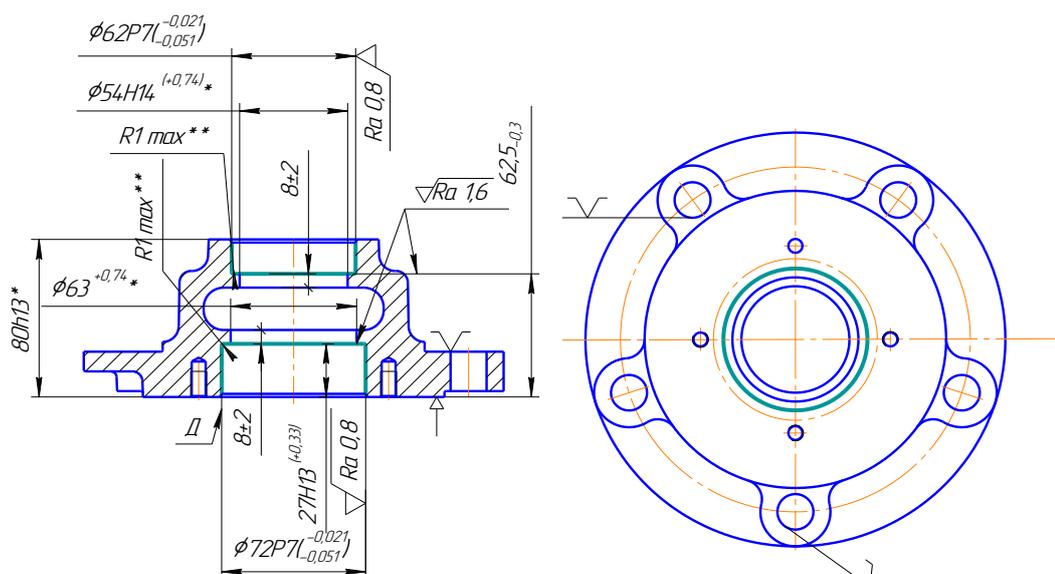


Рисунок 2 – Эскиз операционный для проектирования приспособления

Для «крепления и базирования детали в приспособлении используются монтажные штифты и втулка, установленная в корпусе устройства. Рабочий активирует зажим, который закрепляет деталь в пневмоцилиндре, после чего начинается движение поршня и штока. В процессе работы вилка отклоняется под заданным углом, что приводит к наклону рычага и кресла-качалки. Совместное движение рычага и коромысла продолжается до момента соприкосновения конца детали с коромыслом. Затем, благодаря штифту и осям, кресло-качалка занимает оптимальное положение, надежно фиксируя деталь» [7].

«Для снятия детали включается прижим (с помощью рычага, который не показан на чертеже). Сжатый воздух направляется в левую часть пневмоцилиндра, поршень и шток перемещаются вправо, тянут вилочный рычаг и коромысло, которые отклоняются на заданный угол. Когда поршень достигает крайнего положения, вилочный рычаг и коромысло переходят в положение, необходимое для легкого снятия детали со штифтов» [12].

Для повышения эффективности процесса работы спроектированного приспособления можно рассматривать в производстве следующие рекомендации. Использование автоматизированных систем контроля для активации зажима и снятия детали, что сократит время обработки. Внедрение датчиков контроля положения детали для повышения надежности ее крепления в приспособлении.

Таким образом, разработанное приспособление будет способствовать обеспечению высокой точности обработки отверстий детали, но может потребовать от рабочего персонала более ответственной настройки и оптимизации рабочих циклов обработки детали для сокращения времени обработки на станке. Схема работы механизма представлена на рисунке 3:

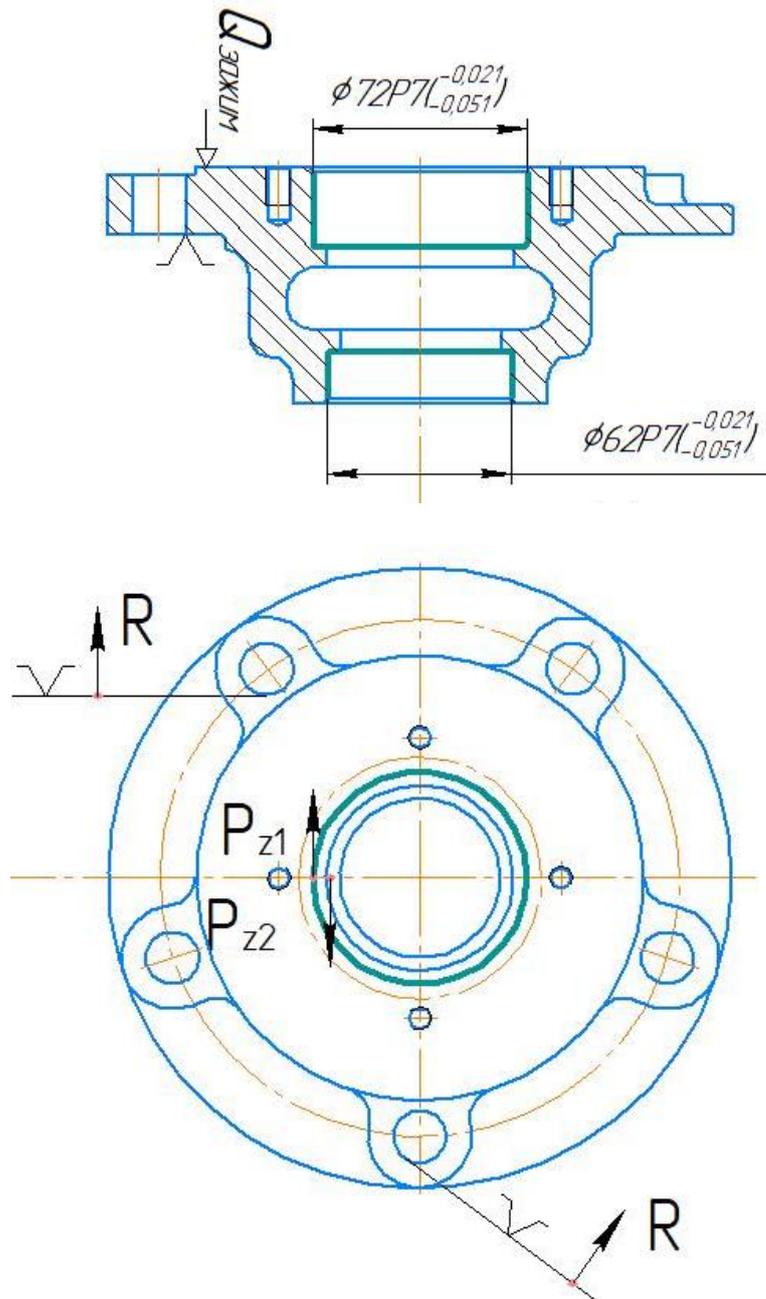


Рисунок 3 - Схема действия расчётных реакций зажима на деталь

«Расчет усилия зажима заготовки необходим для предотвращения вибрации и сдвига при механической обработке.

Направление сил резания – встречное, которое рассчитывается по формулам 7 и 8:

$$P_{z1} = 10C_p \cdot t^X \cdot S^Y \cdot V^N \cdot R_p \quad (7)$$

$$P_{z2} = 10C_p \cdot t^X \cdot S^Y \cdot V^N \cdot R_p \quad (8)$$

где C_p – коэффициент, характеризующий материал заготовки и фрезы;

t^X – стойкость фрезы (мин);

V^N – глубина резания (мм);

S^Y – подача на зуб (мм/зуб);

R_p – ширина фрезерования (мм).

$$P_{Z1} = 10 \cdot 92 \cdot 0.2^1 \cdot 0.05^{0.75} \cdot 116^0 \cdot 1 = 19,5 \text{ Н}$$

$$P_{Z1} = 10 \cdot 92 \cdot 0.2^1 \cdot 0.05^{0.75} \cdot 85^0 \cdot 1 = 19,5 \text{ Н} \gg [11].$$

«Момент резания определяется по формуле 9:

$$M_{\text{РЕЗ}} = P_Z \cdot \frac{D}{2} \cdot \text{Н} \cdot \text{мм} \quad (9)$$

где P_Z - главная составляющая (касательная) силы резания, Н;

D - диаметр фрезы, мм.

$$M_{\text{РЕЗ1}} = 19,5 \cdot \frac{72}{2} = 700 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{РЕЗ2}} = 19,5 \cdot \frac{62}{2} = 600 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Реакция опор определяется по формуле 10:

$$R = M_{\text{рез 1}} - M_{\text{рез 2}} \quad (10)$$

$$R = 700 - 600 = 100 \text{ Н}$$

Принимаем диаметр рабочего пневмоцилиндра 100 мм» [11].

«Усилие на штоке пневмоцилиндра определим по формуле 11:

$$P_{\text{ШТ}} = \frac{\pi \cdot D \cdot P_{\text{уд}} \cdot \eta}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,01 \cdot 500000 \cdot 0,9}{4} = 3532 \text{ Н} \quad (11)$$

где $P_{\text{уд}}$ – рабочее давление воздуха в пневмосистеме, Па.;

η – КПД пневмосистемы;

D – диаметр рабочего пневмоцилиндра» [11].

«Усилие зажима определяется по формуле 12:

$$Q_{\text{ЗАЖ}} \cdot L_1 = P_{\text{ШТ}} \cdot L_2 \quad (12)$$

где L_1 и L_2 - длина рычагов зажимов, мм» [11].

$$Q_{\text{ЗАЖ}} = \frac{P_{\text{ШТ}} \cdot L_2}{L_1} = \frac{3532 \cdot 75}{185} = 1432 \text{ Н}$$

«Для того, чтобы рассчитать точность проектируемого приспособления необходимо произвести вычисление погрешности при его установке ε_y , в нее входят три погрешности: базирования ε_6 , закрепления ε_3 , положения объекта $\varepsilon_{пр}$.» [11]

«Погрешности носят случайный характер, поэтому ε_y равно:

$$\varepsilon_y = \varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{пр}^2$$

Вычисление погрешности базирования выполним по формуле 13:

$$\varepsilon_6 = 2 \cdot e - \delta_1 + \delta_2 + 2 \cdot \Delta \quad (13)$$

где e - эксцентриситет наружной поверхности относительно отверстия;

δ_1 - допуск на диаметр отверстия;

δ_2 - допуск на диаметр пальца;

Δ - минимальный радиальный зазор при посадке заготовки на палец»

[11].

В нашем случае $e = 0.01$ мм, $\delta_1 = 0.021$ мм, $\delta_2 = 0.061$ мм, $\Delta = 0.040$ мм.

Тогда:

$$\varepsilon_6 = 2 \cdot 0.01 - 0.021 + 0.061 + 2 \cdot 0.040 = 0.14 \text{ мм.}$$

Вычисление погрешности закрепления составим по формуле 14:

$$\varepsilon_3 = (Y_{\max} - Y_{\min}) \cdot \cos\alpha \quad (14)$$

где Y_{\max} и Y_{\min} - максимальное и минимальное смещение заготовки под действием силы зажима приспособления;

α - угол между необходимым размером и направлением действия силы зажима.

«В проектируемом приспособлении для заданного размера измерительная база перемещается при зажиме заготовки в собственной плоскости, следовательно $\varepsilon_3 = 0$, так как ($\alpha = 90^\circ$)» [11].

Точность изготовления и степень износа установочных узлов влияет на погрешность положения объекта $\varepsilon_{пр}$. Расчет произведем по формуле 15:

$$\varepsilon_{пр} = T - K_T (K_{T1} \cdot \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_n^2 + (K_{T2} \cdot w)^2 \quad (15)$$

где $T = 0.2$ - допуск операционного размера; $K_T = 1.1$;

$K_{T1} = 0.85$ - коэффициент, зависящий от качества настройки станка;
 ε_6 – погрешность базирования;
 ε_3 – погрешность закрепления;
 $\varepsilon_y = 0.02$ мм - погрешность установки приспособления;
 $\varepsilon_{и}$ – погрешность износа установочных элементов.

«Расчет ведем по формуле 16:

$$\varepsilon_{и} = U_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_{\phi} / N \quad (16)$$

где $U_0 = 0.05$ мм - средний износ установочных элементов при 100000 установках и силе зажима в 10000 Н;

K_1, K_2, K_3, K_4 - коэффициенты, принимаемые в зависимости от материала заготовки, оборудования, условий обработки и числа установок заготовки. Данные коэффициенты выбираем из таблицы - $K_1 = 0.95, K_2 = 1.25, K_3 = 1, K_4 = 2.4, K_{\phi} = 1.5$ » [11].

В этом случае:

$$\varepsilon_{и} = 0.05 \cdot 0.95 \cdot 1.25 \cdot 1 \cdot 2.4 \cdot 1.5 / 100000 = 0.000002 \text{ мм.}$$

$$K_{T2} = 0.7;$$

$w = 0.15$ мм - точность обработки (при сверлении по кондуктору w соответствует 12 качеству по диаметру).

Тогда:

$$\varepsilon_{пр} = 0.2 - 1.1 (0.85 \cdot 0.14)^2 + 0.02^2 + 0^2 + 0.000002^2 + (0.7 \cdot 0.15)^2 = 0.083 \text{ мм.}$$

Получаем, что:

$$\varepsilon_y = 0.14^2 + 0^2 + 0.083^2 = 0.163 \text{ мм} < 0.2 \text{ мм.}$$

Разработанное приспособление по результатам расчета накопленной погрешности базирования подтвердило свою способность обеспечивать высокую точность установки заготовки. Это достигается за счет конструкции с использованием механизированного привода и использования типовых и унифицированных элементов сборных приспособлений.

«В третьей части выпускной квалификационной работы (ВКР) было спроектировано и рассчитано приспособление для расточки двух отверстий под подшипники диаметром 62Р7 и 72Р7» [11]. Это приспособление не только повышает точность обработки, но и значительно сокращает время, необходимое для выполнения операций (см. Приложение Ж, рисунок Ж.1). Кроме того, была разработана подробная спецификация для станочного приспособления, которая включает все необходимые детали и компоненты (см. Приложение И, рисунок И.1, И.2).

Таким образом, разработанное приспособление не только упрощает процесс расточки группы отверстий на детали, но и обеспечивает высокое качество обработки, что необходимо для деталей типа ступица к которым предъявляют конструктивно более жёсткие технические требования на качество поверхностей с меньшими допусками на отклонения в результате механической обработки на станках.

4 Проектирование режущего инструмента

Для повышения эффективности механической обработки на токарных и расточных операциях лимитирующих операций 030 и 040 Агрегатная было принято решение о необходимости спроектировать конструкцию режущего инструмента сборного для выполнения наружного точения и расточки, оснащенный сменной многогранной пластиной. Ожидается, что применение в проектируемом технологическом процессе единого по конструктивному исполнению инструмента позволит снизить номенклатуру применяемой инструментальной оснастки, сократив издержки времени на подготовку производственного процесса, и одновременно, снизить экономические затраты. Резцы оснащенные сменной многогранной пластиной обладают рядом преимуществ по сравнению с инструментами, использующими напайные пластины. Во-первых, они позволяют экономить материал, так как изношенные пластины можно легко заменить, а державка используется повторно. Во-вторых, «срок службы инструмента увеличивается, поскольку отпадает необходимость в пайке» [11]. Кроме того, замена затупившейся пластины занимает меньше времени, что сокращает простои в производстве. Однако «стоит учитывать, что режущая пластина может сколоться, что приведет к повреждению державки и выведет инструмент из строя. Чтобы избежать этого, в современных конструкциях используются опорные или предохранительные пластины, которые устанавливаются под режущей пластиной в специальный паз и фиксируются крепежным винтом» [8].

На начальном этапе проектирования инструмента выполним выбор материала режущей части [9]. Инструментальные материалы играют ключевую роль в повышении качества и точности обработки. Для выполнения технических требований на обработку отверстий диаметром 62P7 и 72P7 на операциях 030, 040 «инструменты должны соответствовать ряду требований высокой термостойкости и износостойкости для работы в экстремальных условиях. Обеспечивать прочность и долговечность, чтобы выдерживать

длительные нагрузки, устойчивость к перепадам температур и хорошую теплопроводность. Данным требованиям удовлетворяют инструментальные материалы типа ТТ (твердые сплавы)» [10].

«Для обработки ступицы рекомендуется использовать резец с режущей пластиной из твердого сплава Т14К8. Державку резца лучше изготавливать из стали 40Х (с пределом прочности $\sigma_{\text{в}}=520$ МПа), а для прихвата и крепежных винтов подойдет сталь 45. Опорная пластина должна быть выполнена из более прочного материала, например, твердого сплава ВК15» [4].

На следующем этапе определяют геометрические параметры инструмента, они имеют решающее значение для производительности обработки. К основным параметрам определяющим геометрию инструмента, а следовательно и режущей твёрдосплавной пластины относятся угол резца, определяет направление резания и может быть положительным, отрицательным или нулевым. Угол задней поверхности – влияет на трение и износ инструмента.

«Для обработки разных материалов требуются резцы с различными геометрическими параметрами. Например, для твердых материалов лучше использовать резцы с большими углами резания, а для мягких – с меньшими. Также важно правильно подбирать материал резца и обеспечивать эффективное охлаждение, чтобы продлить срок службы инструмента и улучшить качество обработки» [3].

Согласно [3] одним из путей повышения периода работоспособности инструмента до его полного износа является использование современных покрытий (например, TiN или TiAlN) для повышения износостойкости режущих пластин. Это потребует для конструкции проектируемого инструмента внедрение систем автоматической замены пластин для сокращения времени переустановки пластин, а также внедрения регулярного контроля геометрических параметров резца для поддержания точности обработки на протяжении всего процесса изготовления ступицы.

Здесь необходимо отметить, что данный функционал присутствует в современных системах числового управления и программного управления современного автоматизированного станочного оборудования. Например, такие системы ЧПУ как Фанук серии i0, Сименс 800 и другие [12].

Таким образом, правильный выбор материалов и геометрии резца позволяет значительно повысить эффективность обработки и снизить затраты на изготовление детали. «Элементы рабочей части токарного резца приведены на рисунке 4» [11].

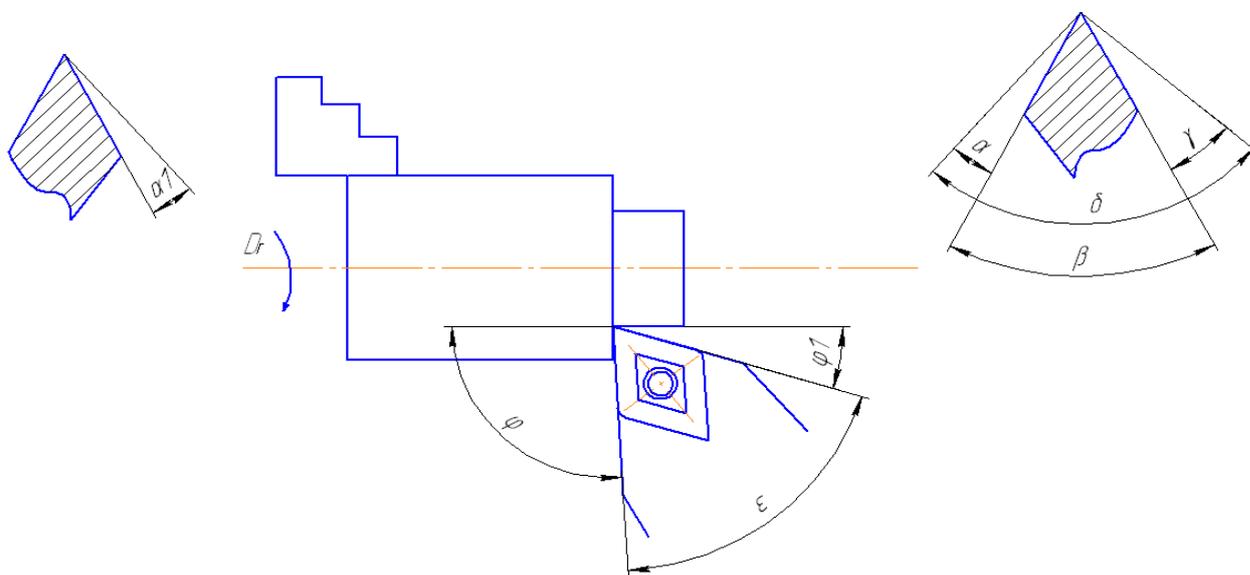


Рисунок 4 – Основные элементы и геометрия токарного резца

Для правильного определения расположения передних и задних режущих кромок резцовой пластины необходимо учитывать геометрические параметры, которые регламентируются ГОСТ 25751-83. Эти параметры измеряются относительно главной поверхности режущей пластины и играют ключевую роль в процессе обработки. Одним из важных параметров является угол наклона λ главной режущей кромки. Этот угол может принимать положительные, отрицательные значения или быть равным нулю, что напрямую влияет на размеры стружки, направление ее схода и общую прочность резца. [5]

Если режущая кромка расположена в одной плоскости с основной поверхностью, то угол λ равен нулю. Это означает, что резец работает в нейтральном режиме, что может быть полезно для определенных типов обработки. Однако в большинстве случаев угол λ выбирается в зависимости от требуемых характеристик обработки, таких как чистота поверхности и скорость резания.

Еще одним важным параметром является главный угол в плане φ . «Этот угол определяет соотношение между шириной и толщиной среза при одинаковых значениях подачи и глубины резания. Для обеспечения эффективной работы инструмента рекомендуется выбирать оптимальные значения угла φ » [11]. Например, увеличение угла φ может снизить нагрузку на резец, но при этом уменьшит ширину среза. Напротив, уменьшение угла φ увеличивает ширину среза, но может привести к повышенному износу инструмента.

Результаты расчета геометрических параметров, таких как компьютерное моделирование, для оптимизации углов λ и φ приведены в таблице 6. Расчеты выполнены с учетом результатов проведения экспериментов с различными значениями углов для определения наилучших условий обработки конкретного материала – литейной стали 40Л [15], [16].

Основной целью расчета геометрических параметров резцовой пластины принимали баланс высокой точности и качества обработки.

Правильный выбор углов λ и φ позволяет значительно повысить эффективность обработки и продлить срок службы инструмента., согласно таблице 6.

Выберем $\varphi = 90^{\circ}$

Вспомогательный угол в плане φ_1 при жесткой технологической системе принимаем в пределах $\varphi_1 = 10...15^{\circ}$, при нежесткой системе - $\varphi_1 = 20...30^{\circ}$, а при обработке с врезанием $\varphi_1 = 30...45^{\circ}$. Выберем $\varphi_1 = 30^{\circ}$,

Таблица 6 – Рекомендуемые значения углов $\varphi, ^\circ$

Обработка	l/d	φ
чистовая в жестких условиях	-	10...20
черновая в жестких условиях	до 6	30...45
черновая в нежестких условиях	6...12	60...75
длинных заготовок малого диаметра	более 12	90

«Переходную режущую кромку выполняют по радиусу или в виде фаски под углом $\varphi_0 = \varphi/2$ и длиной $f = 0,5...3,0\text{мм}$ в зависимости от размеров резца. Задний угол на переходной кромке $\alpha_0 = \alpha$. Выберем $f = 2,0\text{мм}$ » [10].

«Главный передний угол γ уменьшает излом стружки, оказывает влияние на величину и направление сил резания, прочность режущей кромки, стойкость резца и качество обрабатываемой поверхности. Выберем $\gamma = 12^\circ$.

Главный задний угол α выбираем в зависимости от используемого материала. Выберем $\alpha = 5^\circ$ » [10].

«Вспомогательный задний угол α_1 принимаем равным главному заднему углу: $\alpha_1 = \alpha = 5^\circ$ » [10].

«Значение радиуса вершины резцовой пластины влияет на ее работу, аналогично, как и угол наклона. Увеличение радиуса - улучшается качество обработки и срок долговечности пластины. Рекомендуемые радиусы вершин резцов приведены в таблице 7» [10]. Выбираем 2 мм.

«Анализ таблицы 7 показал, что радиусы вершин резцов зависят от типа резцов и сечения державок. Выполним выбор параметров державок используемых инструментов для обработки детали ступица согласно содержания операций 030 и 040 спроектированного технологического процесса» [10].

Таблица 7 – Радиусы вершин резцов, мм

Тип резцовой державки	Вид обработки	Размеры державок НхВ, мм					
		6х6, 8х8	10х16, 12х20	16х25, 20х25	25х25, 20х30	25х40, 30х30	30х45, 40х40, 40х60
проходные $\varphi, ^\circ = 45^\circ$	чистовые	-	1,0	2,0	2,0	3,0	-
	обдирочные	-	0,5	1,0	1,0	1,5	-
упорные, $\varphi, ^\circ = 90^\circ$	чистовые	0,1; 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0					-
	обдирочные	-	0,5	1,0	1,0	1,5	-
Расточные, обработка отвер- стий напроход	чистовые	-	1,0	1,5	1,5	-	-
	обдирочные	-	0,5	1,0	1,0	1,5	-
Расточные, обработка глухих отверстий	чистовые	0,1; 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0					-
	обдирочные	-	0,5	1,0	1,0	-	-

«Для проходных прямых резцов с углом режущей кромки $\varphi = 45^\circ$ радиусы вершин для чистовых резцов не указаны, а для обдирочных резцов они составляют 0,5 мм, 1,0 мм и 1,5 мм» [10]. Это позволяет адаптировать инструмент под различные задачи: обдирочные резцы с большим радиусом вершины лучше подходят для грубой обработки, тогда как чистовые резцы требуют более точной настройки.

Для обработки торцовых поверхностей ступицы принимаем конструкцию державки с «углом режущей кромки $\varphi = 90^\circ$ радиусы вершин для чистовых резцов варьируются от 0,1 мм до 3,0 мм, а для обдирочных – от 0,5 мм до 1,5 мм» [10]. Такой диапазон значений позволяет выбирать оптимальные параметры в зависимости от требований к обработке: меньшие радиусы подходят для финишной обработки, а большие – для черновой.

Для выполнения наружной токарной обработки поверхности 5, 9, 12 15 ступицы напроход принимаем конструкцию державки 16×25 мм и 20×25 мм радиусы вершин выбираем для всех размеров резцов в таблице 7. Это позволяет точно подобрать инструмент под конкретные технологические

переходы, более подробно результат выбора показан в графической части работы (листы наладок технологических 1 и 2).

Для черновой обработки детали как самого нагруженного типа механической обработки выбираем большие размеры «с сечением державок 25×25 мм, 20×30 мм, 25×40 мм, 30×30 мм, 30×45 мм, 40×40 мм и 40×60 мм. Радиусы вершин также указаны для всех размеров резцов в таблице 7. Такие резцы обычно используются для обработки крупных деталей, где точность и прочность инструмента имеют первостепенное значение» [10].

«Износ главной режущей кромки происходит постепенно и зависит от условий эксплуатации, таких как скорость резания, глубина резания и подача. Резцы с большим радиусом скругления ρ , хотя и требуют большей силы резания, обладают повышенной прочностью» [6] и дольше сохраняют свои режущие свойства. Это делает их более подходящими для интенсивной обработки и работы с твердыми материалами.

При выборе радиуса вершины резца важно учитывать тип обрабатываемого материала. Например, для мягких материалов подходят резцы с меньшим радиусом, а для твердых – с большим.

Использование современных покрытий (например, TiN или TiAlN) может значительно повысить износостойкость режущей кромки.

Таким образом, правильный выбор радиуса вершины и учет условий эксплуатации позволяют оптимизировать процесс обработки и повысить эффективность использования резцов, рисунок 5.

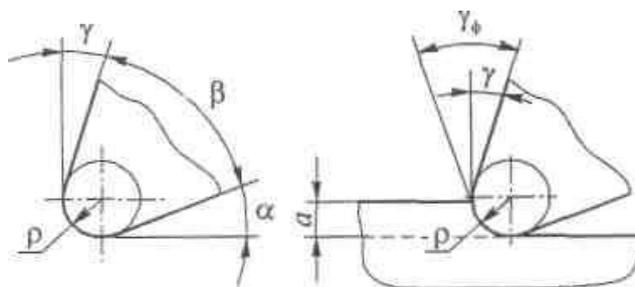


Рисунок 5 – Форма режущей кромки резца в поперечном сечении и схема ее влияния на величину переднего угла

«Как видно из рисунка 5 радиус скругления режущей кромки ρ играет важную роль в процессе резания металла. Это связано с тем, что ρ напрямую влияет на передний угол режущей кромки, что, в свою очередь, определяет процесс образования стружки и качество обработанной поверхности» [4].

«Передняя поверхность режущей пластины может иметь как плоскую, так и криволинейную форму. Плоская поверхность чаще используется для обработки твердых металлов, так как обеспечивает стабильность и высокую точность. Криволинейная форма, напротив, лучше подходит для резания мягких материалов или материалов с неровной поверхностью» [7]. Она позволяет снизить силу резания, улучшить качество обработки и уменьшить износ режущей кромки. [7] Однако стоит учитывать, что криволинейная форма может усложнить процесс заточки и «потребовать более высокой точности при изготовлении инструмента» [10].

Согласно данным источника [6] при выборе радиуса скругления ρ важно учитывать не только материал заготовки, но и тип обработки (черновая или чистовая). Например, для чистовой обработки лучше использовать меньший радиус, чтобы минимизировать вибрации и улучшить качество поверхности. Для обработки сложных материалов (например, титановых сплавов) рекомендуется использовать криволинейную форму лезвия, так как она снижает нагрузку на инструмент и увеличивает его стойкость. При использовании механического зажима важно регулярно проверять надежность крепления пластин, чтобы избежать их смещения во время работы.

Следовательно, правильный выбор радиуса скругления, формы лезвия и метода крепления режущих элементов позволяет оптимизировать процесс обработки, повысить качество изделий и продлить срок службы инструмента. По полученным данным для державки сборного проходного резца, оснащенного сменной многогранной пластины из нитрида титана, криволинейной формы и с нанесением покрытия на передней поверхности и керамики, с радиусов скругления при вершине пластины $\rho = 0,5\text{мм}$ выбираем следующие геометрические параметры:

– угол наклона главной режущей кромки $\lambda=0$, главный угол в плане $\varphi = 90^{\circ}$;

– вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 30^{\circ}$;

– задний угол и длину режущей кромки.

Соответственно $\alpha_0 = \alpha = 5^{\circ}$ и $f = 2,0\text{мм}$, главный передний угол $\gamma = 12^{\circ}$, главный задний угол $\alpha = 5^{\circ}$, вспомогательный задний угол $\alpha_1 = \alpha = 5^{\circ}$, радиус вершины резца 2 мм, радиус скругления главной режущей кромки $\rho = 10\text{мкм}$, упрочняющая ленточка передней поверхности лезвия $f = 0,2\text{мм}$.

Данные конструкции инструмента применяются на операции 020 и 030 обработки корпуса.

Полученных данных достаточно для проектирования паза под ромбическую пластину в корпусе резца размером 30x30 мм. Однако важно учитывать, что точность установки пластины и ее фиксации напрямую влияет на качество обработки и долговечность инструмента. Например, неправильное положение плоскости N–N или неточный угол μ могут привести к увеличению сил резания, вибрациям и преждевременному износу инструмента.

В этой связи принимаем, что при проектировании паза под пластину важно учитывать материал корпуса резца и условия эксплуатации. Например, для работы с твердыми материалами рекомендуется использовать более прочные сплавы и усиленные конструкции. Для повышения точности установки пластины можно использовать современные методы компьютерного моделирования, которые позволяют визуализировать процесс и проверить геометрию до изготовления инструмента. Регулярная проверка и калибровка углов α и μ помогут поддерживать высокое качество обработки и продлить срок службы режущей пластины инструмента.

Определим конструктивное исполнение и правильное расположение элементов крепления пластин и точное проектирование паза по данным рекомендациям для режущего инструмента на операциях 020 и 030.

Геометрическое представление данной задачи показано на рисунке 6. Показаны размерная обвязка параметров гнезда под установку многогранной пластины в державке сборного режущего инструмента.

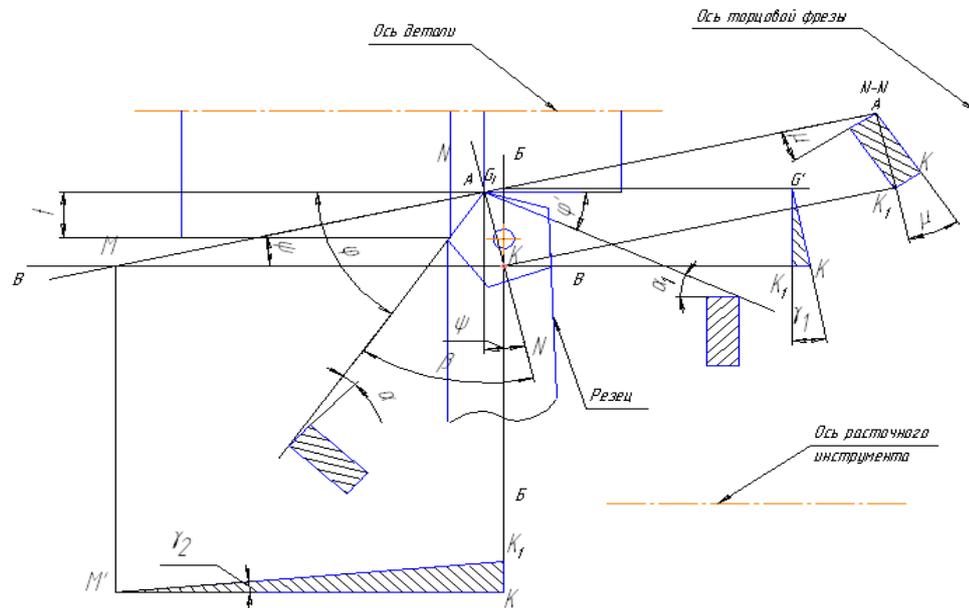


Рисунок 6 – Положение гнезда под пластину

Используя геометрические параметры и размеры по рисунку 6 выполним расчеты геометрии сборного инструмента, для его настройки в станке с ЧПУ.

Угол при вершине пластины $\varepsilon = 60^\circ$.

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\operatorname{tg}\alpha_1 \sin \varepsilon}{\operatorname{tg}\alpha_1 + \operatorname{tg}\alpha \cos \varepsilon} = \frac{\operatorname{tg}5 \sin 60}{\operatorname{tg}5 + \operatorname{tg}5 \cos 60} = 0,57$$

Угол $\beta=30^\circ$

Угол μ рассчитываем по формуле 17:

$$\operatorname{tg}\mu = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\sin \beta} = \frac{\operatorname{tg}5}{\sin 35} \quad (17)$$

$$\operatorname{tg}\mu = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\sin \beta} = \frac{\operatorname{tg}5}{\sin 35} = 0.174 \quad \mu=10 \text{ градусов.}$$

Определенные углы μ и β необходимые для фрезерования паза под пластину в корпусе резца.

Вместо угла β практичнее применять угол ψ между прямой, перпендикулярной к оси детали, и плоскостью N-N:

$$\psi = \varphi + \beta - 90 \text{град} = 110 + 35 - 90 = 55 \text{град.}$$

Для обработки паза корпус державки закрепляют в поворотных тисках и поворачивают в горизонтальной плоскости на угол ψ , а в вертикальной на угол μ .

Разработанный сборный режущий инструмент демонстрирует превосходные характеристики для обработки материала детали. Он отличается оптимизированными параметрами углов резания и улучшенной геометрией резца, что позволяет повысить точность и эффективность обработки. Благодаря тщательным расчетам и продуманной конструкции, инструмент обеспечивает высокое качество обработки и снижает износ, что делает его более долговечным и экономически выгодным.

В четвертой части работы проведен детальный анализ параметров режущего инструмента, определены ключевые показатели, такие как углы резания, форма резца и его геометрические характеристики. На основе этих данных был сконструирован сборный режущий инструмента, который полностью соответствует требованиям разработанного технологического процесса. Это подтверждается как расчетами, так и результатами проектирования (см. Приложение К, рисунок К.1).

В качестве рекомендаций для обработки детали предложено для повышения эффективности инструмента рассмотреть использование современных покрытий, таких как TiN или TiAlN, которые увеличивают износостойкость режущей кромки. Внедрение систем автоматической замены пластин может сократить время простоя и повысить производительность. Регулярный контроль геометрических параметров резца и его заточка помогут поддерживать высокое качество обработки на протяжении всего срока службы инструмента.

5 Безопасность и экологичность проекта

5.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристики рассматриваемого технического объекта

«В данном разделе дипломного проекта рассматриваются ключевые аспекты обеспечения безопасности на рабочем месте оператора станка с числовым программным управлением (ЧПУ). Основное внимание уделяется характеристике производственного объекта, анализу опасных и вредных факторов, мероприятиям по технике безопасности, производственной санитарии и пожарной безопасности. Данную информацию представим в виде паспорта (таблица 7), составленного на основе рекомендаций» [6].

Таблица 7 – Технологический паспорт технического объекта

«Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
технологический процесс изготовления ступицы	токарная	оператор станков с числовым программным управлением	агрегатный станок с чпу metal mark vf5150	сталь 40Л ГОСТ 4543-71, ветошь, смазочно-охлаждающая жидкость
	расточная	оператор станков с числовым программным управлением	станок координатно-расточной 2д450аф2	сталь 40Л ГОСТ 4543-71, ветошь, смазочно-охлаждающая жидкость» [6]
	сверлильная	«оператор станков программным управлением» [6]	«агрегатный станок с чпу metal mark vf5150» [6]	«сталь 40Л ГОСТ 4543-71, ветошь, смазочно-охлаждающая жидкость» [6]
	фрезерная	«оператор станков программным управлением» [6]	«агрегатный станок с чпу metal mark vf5150» [6]	«сталь 40Л ГОСТ 4543-71, ветошь, смазочно-охлаждающая жидкость» [6]

«Оператор станка с ЧПУ обязан строго соблюдать правила техники безопасности, чтобы минимизировать риск травматизма и профессиональных заболеваний. На каждом этапе производственного процесса действуют свои нормы, а повторный инструктаж по охране труда проводится не реже одного раза в три месяца для поддержания высокого уровня осведомленности сотрудников» [6].

5.2 Идентификация профессиональных рисков

«На территории предприятия необходимо соблюдать внутренний трудовой распорядок, обращать внимание на предупреждающие знаки и указатели безопасности, размещенные в цехах и на территории» [6]. Соблюдение установленного режима труда и отдыха помогает предотвратить переутомление и снизить риск ошибок. Результаты приведем в таблице 8.

Таблица 8 – Идентификация профессиональных рисков

«Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и/или вредный производственный фактор	Источник опасного и/или вредного производственного фактора
фрезерная расточная сверлильная токарная	неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов, воздействующие на работающего при соприкосновении с ним	станок, средства технологического оснащения, технологический транспорт
	опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека	станок, средства технологического оснащения
	опасные и вредные производственные факторы, связанные с повышенным уровнем общей вибрации	станок, средства оснащения, транспорт»[6]

Продолжение таблицы 8

«Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и/или вредный производственный фактор	Источник опасного и/или вредного производственного фактора
	опасные и вредные производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде и характеризующиеся повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума	станок, средства технологического оснащения, технологический транспорт
	опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий, включая действие молнии и высоковольтного разряда в виде дуги, а также электрического разряда живых организмов	станок
	отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения	станок, средства технологического оснащения
	вещества, обладающие острой токсичностью по воздействию на организм	смазочно-охлаждающая жидкость
	физическая динамическая нагрузка	станок, средства технологического оснащения, технологический транспорт
	стереотипные рабочие движения	станок, средства технологического оснащения, технологический транспорт» [6]

«Приведенные в таблице 8 опасные и вредные факторы позволяют сделать заключение, что технологическое оборудование и средства технологического оснащения являются главными источниками опасных и вредных факторов. Для безопасного выполнения работ сотрудники обязаны использовать средства индивидуальной защиты, такие как защитные очки,

перчатки и спецодежду. Обрабатываемые детали должны быть надежно зафиксированы в патроне, а приспособления – на шпинделе станка. Установку, снятие деталей, приспособлений и инструментов, а также измерения можно проводить только после полной остановки станка и возврата рабочих органов в исходное положение» [6].

5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Во время работы станка запрещается открывать или снимать защитные кожухи, а использованные материалы, инструменты и ветошь должны своевременно убираться. На рабочее место оператора не допускаются посторонние лица, не связанные с выполняемой работой. Очистка станка от стружки производится с помощью щетки, крючка или скребка, при этом использование сжатого воздуха запрещено, а для защиты глаз обязательно применение защитных очков [29].

На основании анализа содержания операции определим номенклатуру мероприятий по устранению вредного воздействия опасных и вредных факторов. Полученные результаты сведены в таблицу 9.

«Для обеспечения безопасности оборудование должно проходить регулярный технический осмотр, быть оснащено защитными устройствами, а в производственных помещениях необходимо поддерживать комфортную температуру, влажность и уровень шума. На участке должны быть установлены первичные средства пожаротушения и обозначены эвакуационные выходы» [27].

Предприятия машиностроения обязаны соблюдать экологические стандарты и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

В таблице 9 описаны меры по их устранению и средства индивидуальной защиты, которые помогают предотвратить травматизм и обеспечить безопасность работников.

Таблица 9 – Организационно-технические методы и технические средства устранения или снижения негативного воздействия опасных и вредных производственных факторов

«Опасный и/или вредный производственный фактор	Организационно-технические методы и технические средства защиты, частичного снижения, полного устранения опасного и/или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов, воздействующие на работающего при соприкосновении с ним	инструктаж по охране труда, устройства, ограждающие опасные зоны, зачистка заусенцев	фартук для защиты от общих производственных загрязнений, перчатки трикотажные с точечным полимерным покрытием, очки защитные
опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека	инструктаж по охране труда, устройства, ограждающие опасные зоны	костюм для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий или халат для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий, нарукавники, перчатки трикотажные с точечным полимерным покрытием
опасные и вредные производственные факторы, связанные с повышенным уровнем общей вибрации	инструктаж, виброгасящие устройства и приспособления	ботинки кожаные с защитным подноском» [6]
опасные и вредные производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде	инструктаж, устройства и приспособления, поглощающие и снижающие уровень шума	наушники противозумные или вкладыши противозумные
опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий, включая действие молнии и высоковольтного разряда в виде дуги, а также электрического разряда живых организмов	инструктаж по охране труда, устройства, ограждающие опасные зоны, устройства заземления оборудования, изоляции токоведущих частей,	спецодежда

Продолжение таблицы 9

«Опасный и/или вредный производственный фактор	Организационно-технические методы и технические средства защиты, частичного снижения, полного устранения опасного и/или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
опасные и вредные производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде и характеризующиеся повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума	инструктаж, устройства и приспособления, поглощающие и снижающие уровень шума	наушники противошумные или вкладыши противошумные
опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий, включая действие молнии и высоковольтного разряда в виде дуги, а также электрического разряда живых организмов	инструктаж по охране труда, устройства, ограждающие опасные зоны, устройства заземления оборудования, изоляции токоведущих частей, система аварийного отключения оборудования, средства изоляции	спецодежда
вещества, обладающие острой токсичностью по воздействию на организм	инструктаж по охране труда, устройств ограждающие опасные зоны	халат для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий, нарукавники, фартук для защиты от общих производственных загрязнений с нагрудником
физическая динамическая нагрузка	инструктаж по охране труда, периодические регламентируемые перерывы	—
стереотипные рабочие движения	инструктаж по охране труда, регламентируемые перерывы» [6]	—

«В пятом разделе рассмотрены условия проведения механической обработки, показаны технологические факторы которые появляются при изготовлении заданной детали согласно разработанному технологическому процессу, описаны принимаемые меры и средства индивидуальной защиты для предотвращения травмирования работников» [6].

«Также в разделе проведен анализ вредных и опасных производственных факторов, связанных с оборудованием на участке изготовления ступицы, а также рассмотрены вопросы обеспечения безопасности технологического процесса в условиях реального производства. Были выявлены основные источники возникновения этих факторов, такие как движущиеся механизмы, повышенный уровень шума, вибрации, запыленность и риск воздействия электрического тока» [6].

Для минимизации их влияния разработан комплекс мер безопасности, включающий использование защитных устройств, средств индивидуальной защиты и регулярный технический осмотр оборудования. Эти меры не только повышают безопасность работников, но и способствуют повышению эффективности производственного процесса. Внедрение данных рекомендаций позволит создать более комфортные и безопасные условия труда, снизить риск травматизма и профессиональных заболеваний, а также обеспечить соответствие производства современным стандартам охраны труда и экологической безопасности.

6 Экономическая эффективность проекта

«Цель данного раздела заключается в расчете технико-экономических показателей проекта и проведении сравнительного анализа с базовым вариантом, чтобы определить экономический эффект от внедрения предложенных технических решений. В качестве исходных данных использовались параметры оборудования, такие как модель станка, основное и штучное время, а также перечень инструментов и оснастки, полученных из предыдущих разделов работы для операций 020, 030, 040, 050. Для сбора дополнительной информации привлекались различные источники, включая паспортные данные оборудования, сведения о расценках на электроэнергию от компании, интернет-ресурсы с ценами на оборудование и инструменты, а также другие доступные материалы» [7].

«Для выполнения расчетов используем программное обеспечение Microsoft Excel, что позволит провести необходимые вычисления: определить капитальные вложения, рассчитать технологическую стоимость операций, оценить стоимость обработки детали, проанализировать затраты и выбрать оптимальный вариант» [7].

«На основе исходных данных были рассчитаны показатели экономической эффективности разрабатываемого технологического процесса» [7].

Основные результаты расчетов (рисунок 7) показывают, что сумма капитальных вложений составляет 496 878 рублей. Эти результаты позволяют оценить финансовую целесообразность внедрения предложенных решений и сравнить их с базовым вариантом, что является важным этапом в обосновании проекта.

Были учтены такие факторы, как стоимость оборудования, расходы на электроэнергию и эксплуатацию, что позволило получить более точные и достоверные данные. Это дает возможность не только оценить текущие затраты, но и спрогнозировать потенциальную экономию в долгосрочной

перспективе. Таким образом, проведенный анализ демонстрирует, что предложенные технические решения не только улучшают производственный процесс, но и способствуют снижению издержек, что делает их экономически выгодными для внедрения.

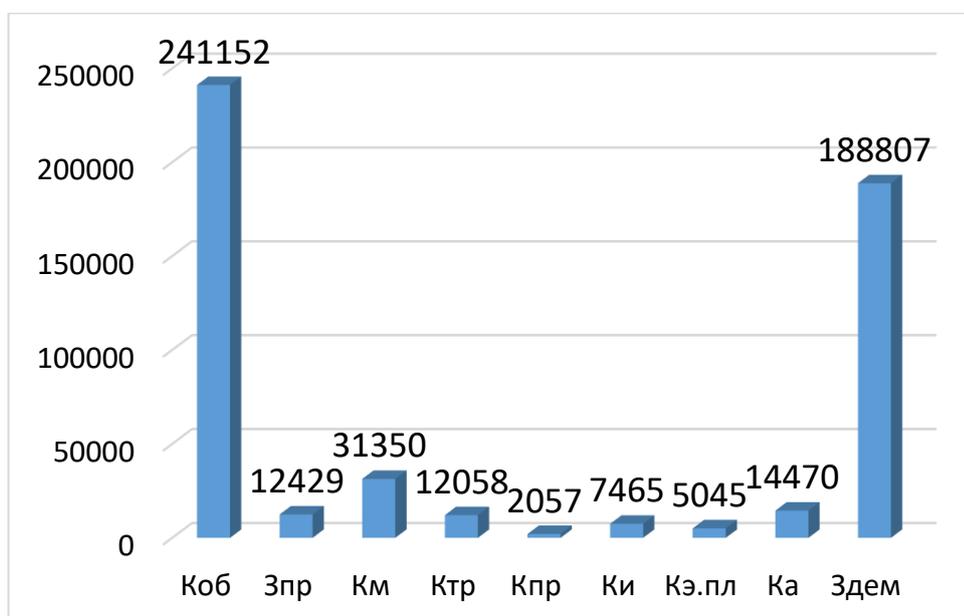


Рисунок 7 – Сумма затрат на капитальные вложения, разрабатываемого проекта, руб.

«Анализируя данные, представленные на рисунке 7, можно сделать вывод, что наибольшую долю капитальных вложений составляют два ключевых показателя: затраты на основное технологическое оборудование (КОБ), которые занимают 58,8%, и расходы на демонтаж заменяемого оборудования (ЗДЕМ), достигающие 45,87%. Эти два фактора оказывают наиболее значительное влияние на общий объем инвестиций. В то же время остальные показатели, такие как стоимость приспособлений (КПР), затраты на разработку (ЗПР), расходы на доставку и монтаж нового оборудования (КМ), затраты на транспортные средства (КТР), приобретение инструмента (КИ), оплата производственной площади (КЭ.ПЛ) и разработка управляющей программы (КА), составляют менее 9% каждый, что свидетельствует об их относительно небольшом вкладе в общую сумму капитальных вложений» [7].

«На рисунке 8 представлены параметры, формирующие технологическую себестоимость детали «Корпус» для двух сравниваемых вариантов технологического процесса» [7].

Эти данные позволяют оценить, как различные факторы, такие как стоимость материалов, оплата труда, энергозатраты и амортизация оборудования, влияют на итоговую стоимость производства.

Сравнение двух вариантов помогает выявить наиболее экономически эффективный подход, что особенно важно для оптимизации производственных процессов и снижения издержек. Кроме того, такой анализ позволяет учесть скрытые расходы, такие как обслуживание оборудования или простои, которые часто упускаются из виду при первоначальных расчетах. В итоге, представленные данные не только помогают оценить текущие затраты, но и предоставляют возможность для долгосрочного планирования и повышения рентабельности производства.

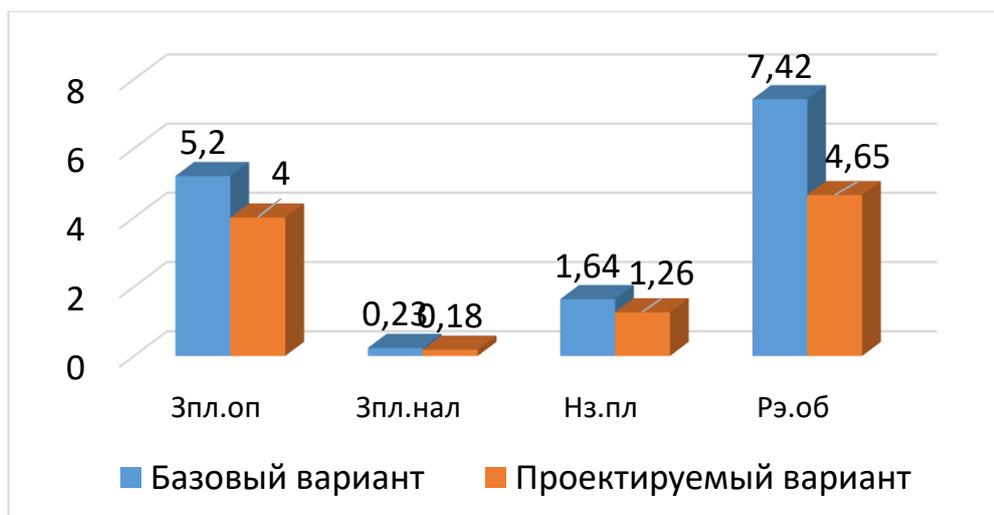


Рисунок 8 – Слагаемые технологической себестоимости изготовления детали «Корпус», по вариантам, руб.

«Как видно из анализа расчетов на рисунке 8, стоимость основных материалов без учета отходов не учитывалась при расчете данного параметра, так как способ получения заготовки не менялся в процессе улучшения технологического процесса. Это означает, что значение стоимости материалов

остаётся постоянным для обоих вариантов, и при сравнении себестоимости между ними этот фактор не оказывает влияния» [7].

Таким образом, разница в себестоимости определяется другими параметрами, такими как затраты на оборудование, энергопотребление, оплату труда и амортизацию. Результаты расчетов себестоимости обработки детали «Корпус» для двух вариантов технологического процесса представлены на рисунке 9.

Эти данные позволяют наглядно сравнить экономическую эффективность каждого из подходов и выявить, какой из них является более выгодным с точки зрения снижения затрат. Например, если один из вариантов демонстрирует значительное сокращение расходов на энергоресурсы или уменьшение времени обработки, это может стать весомым аргументом в его пользу. Кроме того, такой анализ помогает учесть скрытые издержки, такие как обслуживание оборудования или простои, которые часто упускаются из виду при первоначальных расчетах. В итоге, представленные данные не только позволяют оценить текущие затраты, но и предоставляют возможность для долгосрочного планирования и повышения рентабельности производства.

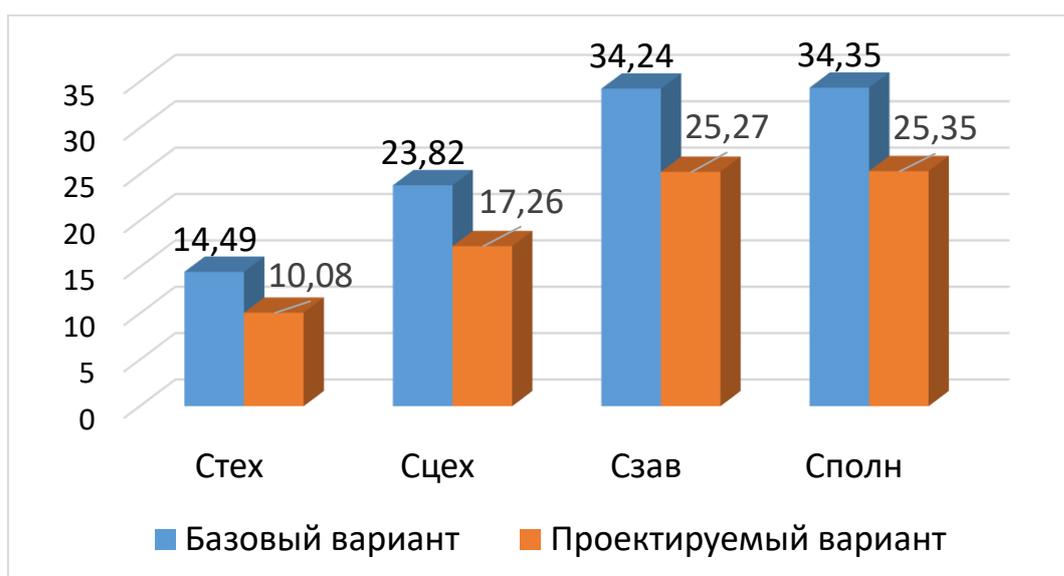


Рисунок 9 – Калькуляция себестоимости, по вариантам технологического процесса, руб.

«Согласно данным, представленным на рисунке 9, полная себестоимость (СПОЛН) для базового варианта составила 39,91 рубля, а для проектируемого варианта – 31,79 рубля. Это свидетельствует о значительном снижении затрат на производство детали при использовании нового технологического процесса. Дальнейшие расчеты показали, что капитальные вложения в размере 597 629,29 рублей окупятся в течение четырех лет, при этом интегральный экономический эффект достигнет 3 783 923,84 рубля» [7]. Такой срок окупаемости является приемлемым для внедрения улучшений в технологический процесс.

«В шестой главе выпускной квалификационной работы была рассчитана стоимость производства детали на основе разработанного технологического процесса. Проведенная оценка показала значительное снижение себестоимости по сравнению с базовым вариантом, что подтверждает экономическую эффективность проекта» [7].

Расчеты показали снижение затрат на 7,56 рубля на одну деталь при средесерийном производстве может привести к существенной экономии в масштабах предприятия. Кроме того, внедрение нового процесса может повысить производительность, сократить время обработки и уменьшить зависимость от дорогостоящих ресурсов. Эти факторы делают проект не только экономически выгодным, но и стратегически важным для повышения конкурентоспособности предприятия.

Таким образом, результаты расчетов демонстрируют, что предложенные технические решения в данной работе не только повышают эффективность производственного процесса изготовления детали ступица, но и обеспечивают значительную финансовую выгоду в долгосрочной перспективе.

Заключение

В данной работе с учетом специфики производственных условий и состояния оборудования в цехах был разработан прогрессивный технологический процесс изготовления ответственной детали привода автомобиля – корпус ступицы. Спроектирован процесс, который учитывает износ оборудования и направлен на повышение эффективности производства. В рамках этого рассмотрены три токарные операции на которых были проведены работы по замене оборудования с ЧПУ с использованием многошпиндельного полуавтомата. Это решение позволило сократить количество задействованных станков и рабочих, снизить расход электроэнергии и повысить общую производительность труда.

Для обработки отверстий под подшипники было создано специальное приспособление, которое дает возможность растачивать два отверстия одновременно, что значительно ускоряет процесс. Также был спроектирован режущий инструмент оснащенный многогранными сменными пластинами, разработанный в соответствии с действующими стандартами и методиками расчета параметров. Экономическая оценка показала, что предложенные технические решения являются выгодными: они не только снижают затраты, но и повышают рентабельность производства. Вопросы безопасности технологического процесса были решены за счет тщательного анализа на соответствие стандартам и разработки дополнительных мер, направленных на минимизацию возникновения производственных рисков.

В результате модернизации технологического процесса изготовления детали «Корпус ступичного редуктора» удалось повысить производительность труда затраты на оборудование и энергоресурсы сократились, а себестоимость обработки детали снизилась.

Таким образом, можно сделать заключение о положительном решении в работе всех поставленных задач и достижении цели проектирования.

Список используемых источников

1. Базров, Б.М. Основы технологии машиностроения: Уч. / Б.М. Базров. – М.: Инфра-М, 2019. – 492 с.
2. Ковшов А.Н. Технология машиностроения [Электронный ресурс]: учеб. – Электрон. дан. – СПб. : Лань, 2016. – 320 с.
3. Зубарев, Ю.М. Динамические процессы в технологии машиностроения. Основы конструирования машин: Учебное пособие / Ю.М. Зубарев. – СПб.: Лань, 2018. – 212 с.
4. Сысоев С.К. Технология машиностроения. Проектирование технологических процессов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / С.К. Сысоев, А.С. Сысоев, В.А. Левко. – Электрон. дан. – СПб. : Лань, 2016. – 352 с
5. Клепиков, В.В. Основы технологии машиностроения: Учебник / В.В. Клепиков, А.Г. Схиртладзе, В.Ф. Солдатов. – М.: Инфра-М, 2018. – 224 с.
6. Мельников, А.С. Научные основы технологии машиностроения: Учебное пособие / А.С. Мельников, М.А. Тамаркин и др. – СПб.: Лань, 2018. – 420 с.
7. Суслов, А.Г. Основы технологии машиностроения (для бакалавров) / А.Г. Суслов. – М.: КноРус, 2018. – 384 с.
8. Сибикин М.Ю., Сибикин Ю.Д. Основы проектирования машиностроительных предприятий, 2021. – 226 с.
9. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Расчет допусков размеров, 2021. – 284 с.
10. Сибикин М.Ю. Технологическое оборудование заготовительных и складских производств машиностроительных предприятий, 2020. – 284 с.
11. Солнцев Ю.П., Нирайнен В.Ю., Вологжанина С.А. Материаловедение специальных отраслей машиностроения, 2020. – 324 с.
12. Завистовский С.Э. Обработка материалов и инструмент, учебное пособие, 2019. – 326 с.

13. Богодухов С.И., Сулейманов Р.М., Проскурин А.Д. Технологические процессы в машиностроении, Учебник для вузов, 2021. – 326 с.
14. Динамика вибрационных технологических процессов, Пановко Г.Я., 2019. – 422 с.
15. Братан С.М., Левченко Е.А. Автоматическое управление процессами механической обработки, 2018. – 264 с.
16. Безъязычный В.Ф. Основы технологии машиностроения, 2020. – 246 с.
17. Технология литейного производства, Категоренко Ю.И., Филиппенков А.А., Мнляев В.М., 2018. – 226 с.
18. Зубарев Ю.М., Юрьев В.Г. Инструменты из сверхтвердых материалов и их применение, учебное пособие, 2018. – 324 с.
19. Антимонов А.М. Основы технологии машиностроения, 2017. – 344 с.
20. Завистовский С.Э. Технологическое оборудование машиностроительного производства, Учебное пособие, 2019. – 362 с.
21. Козлов А.А., Козлов А.М. Расчет режимов резания, 2017. – 288 с.
22. Райхельсон В.А. Обработка резанием сталей, жаропрочных и титановых сплавов с учетом их физико-механических свойств, 2018. – 264 с.
23. Завистовский С.Э. Технология машиностроения, Учебное пособие, 2019. – 234 с.
24. Еремин, В.Г. Безопасность жизнедеятельности в машиностроении. Учебник / В.Г. Еремин. - М.: Academia, 2018. - 272 с.
25. Огаджанян О.И. Оборудование и инструмент для обработки металлов резанием, 2017. – 256 с.

Приложение А
Презентационный лист

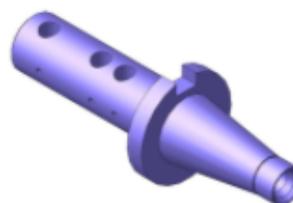
Технологический процесс изготовления
корпуса ступичного редуктора Лада Нива 4x4

**Недостаток
существующего процесса**

*Большая протяженность технологического
процесса*

Следствия:

- низкая производительность труда,
- высокая себестоимость изготовления
детали



Цель проекта

*Разработка технологического процесса изготовления корпуса ступичного
редуктора согласно конструкторским и технологическим требованиям*

Принятые решения

- спроектирован прогрессивный
технологический маршрут
- проектировано автоматизированное
станочное приспособление
- усовершенствован инструмент
для лимитирующей операции

Основные результаты:

- повышена производительность
труда,
- повышена производительность
лимитирующих операции,
- снижена себестоимость
изготовления детали

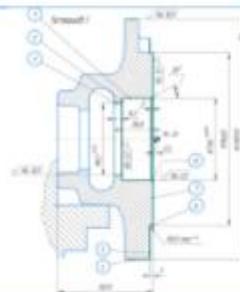
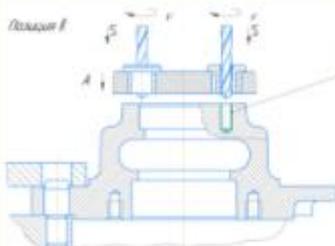
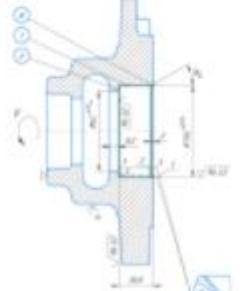
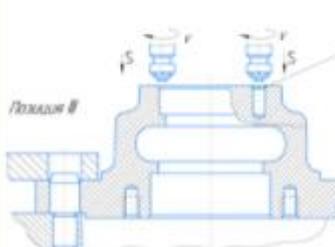
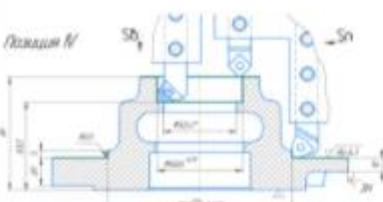
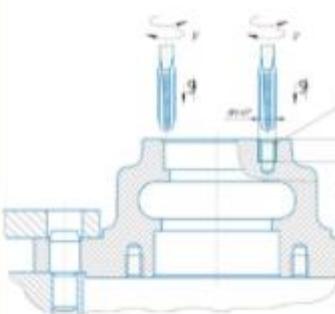
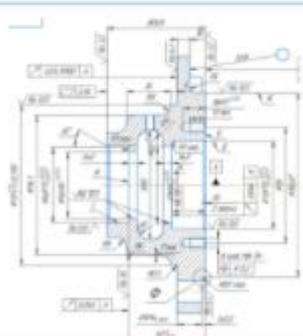
**ОЖИДАЕМЫЙ
ГODOVЫЙ
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
ЭФФЕКТ**

3 783 923,84 руб.

НАПРАВЛЕНИЕ 15.03.05
ДИПЛОМНИК М.В. Долженко
РУКОВОДИТЕЛЬ Д.Г. Левашкин

2025

Приложение В

<i>План изготовления корпуса ступичного редуктора</i>					
Номер и наименование операции	Оборудование	Эскиз обработки	Номер и наименование операции	Оборудование	Эскиз обработки
005 Токарная	Токарный с ЧПУ №620		010 Агрегатная	Сверлильно-фрезерный	
005 Токарная	Токарный с ЧПУ №620		010 Агрегатная	Сверлильно-фрезерный	
005-1 Токарная	Токарный с ЧПУ №282		010 Агрегатная	Сверлильно-фрезерный	
005-1 Токарная	Токарный с ЧПУ №282		005 Сверлильная		

2 55 ПОТ МНО ВВ. ЗББ	
ПЛО-	11
ИЗ ССТ ОБЪЕКТА	
ТТТ ТТТТТ-2106	

Рисунок В.1 – План изготовления

Приложение Г

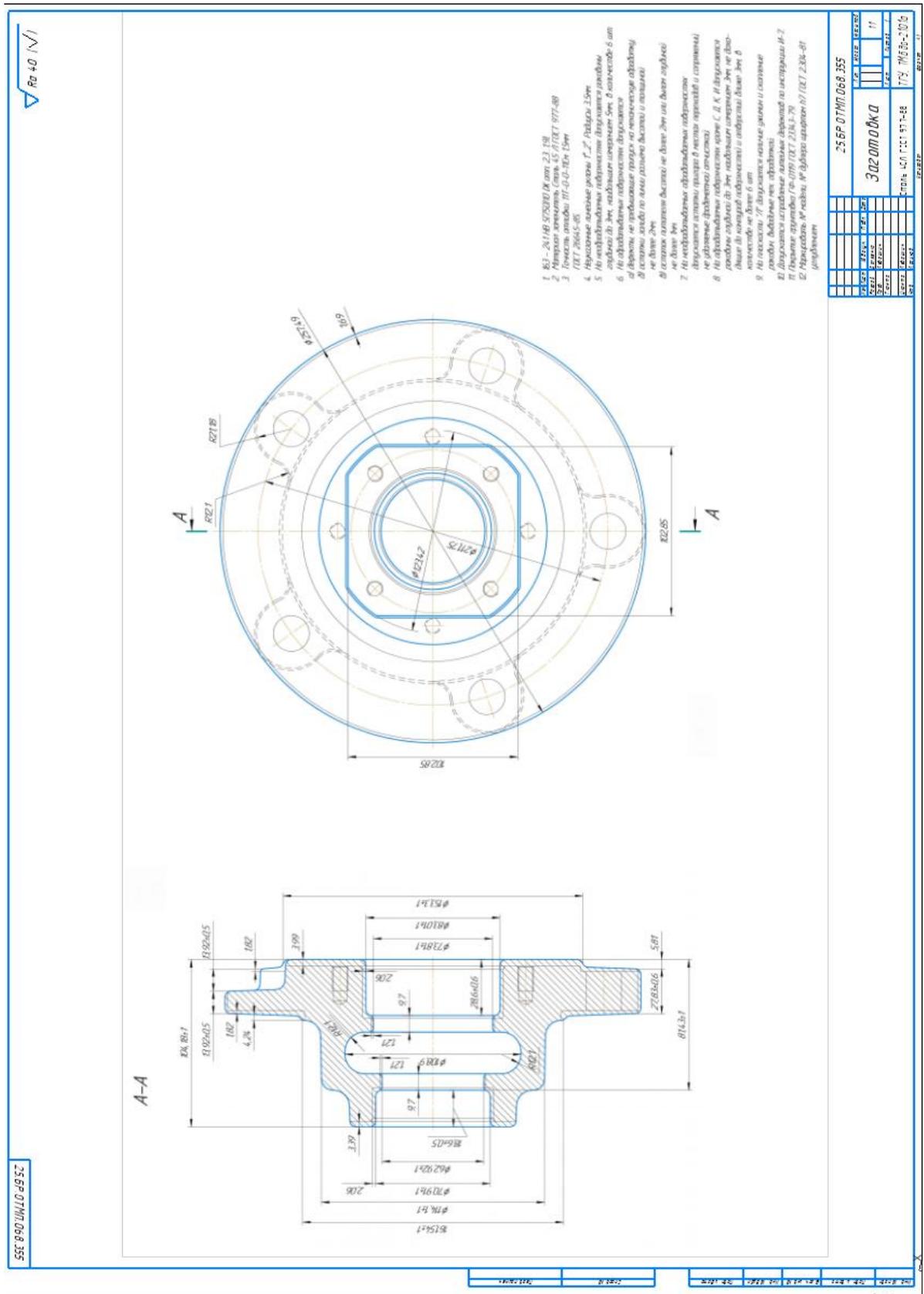


Рисунок Г.1 – Заготовка

Приложение Д

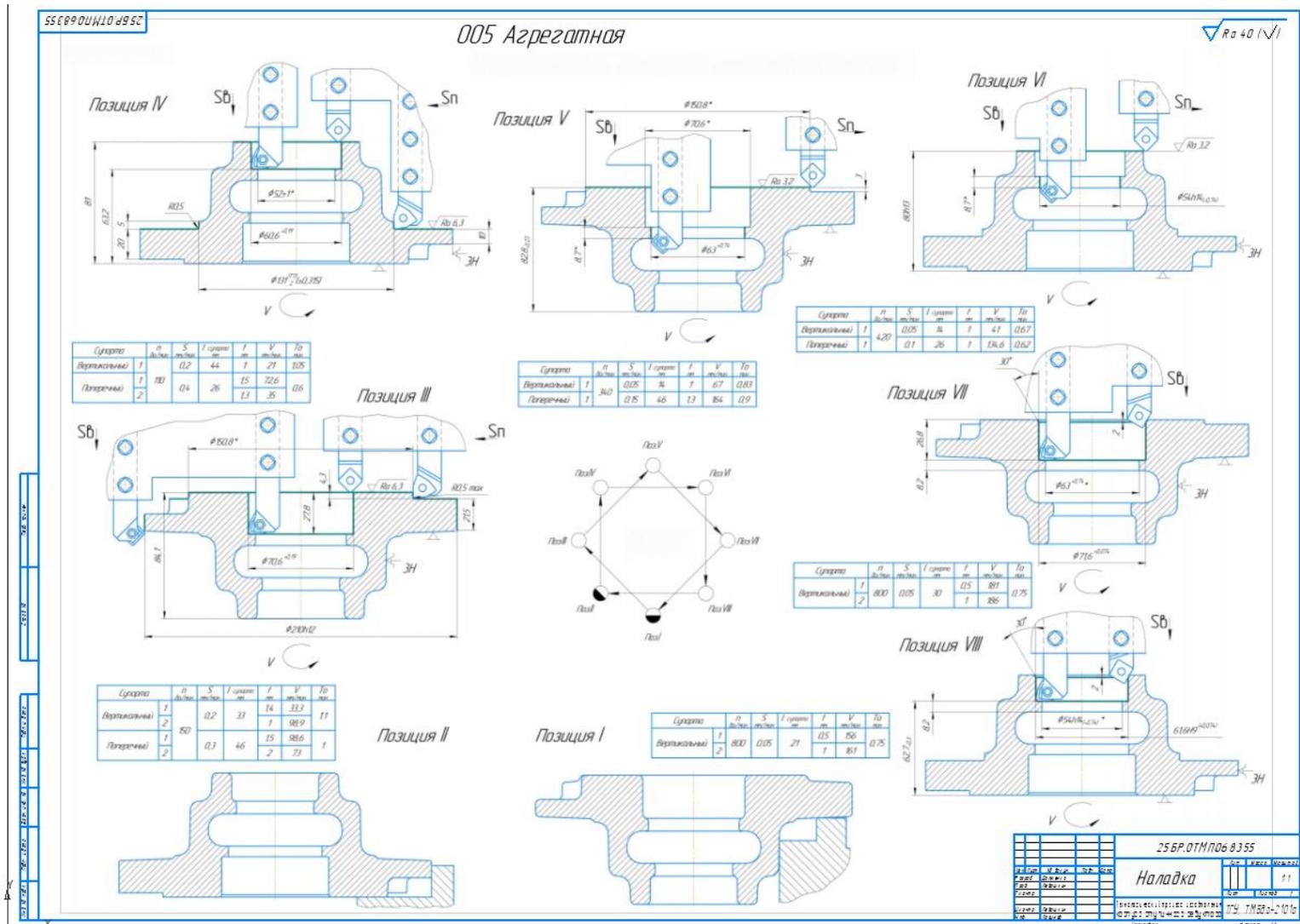


Рисунок Д.1 – Наладка операции 005

Приложение Е

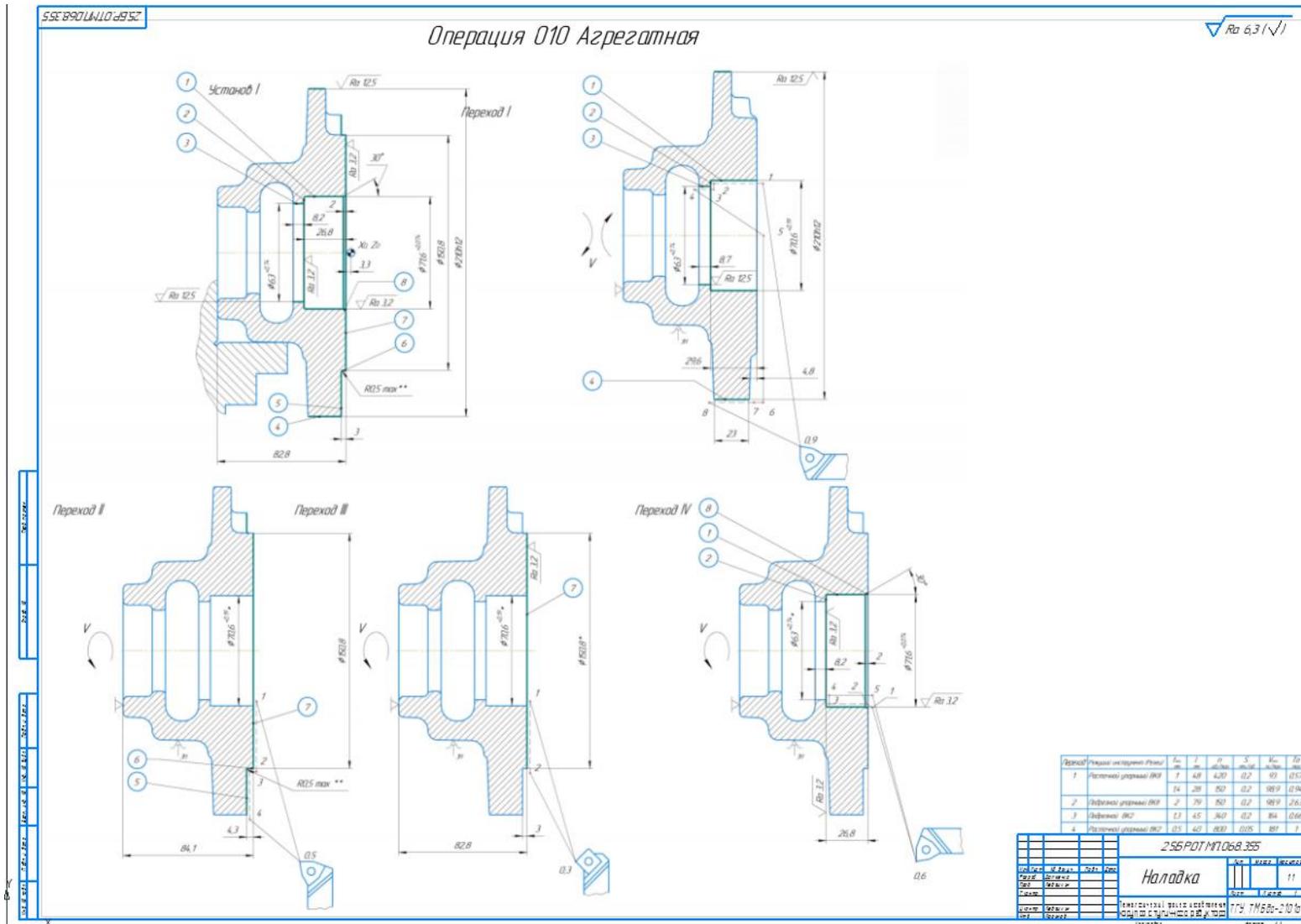


Рисунок Е.1 – Наладка операции 010

Приложение Ж

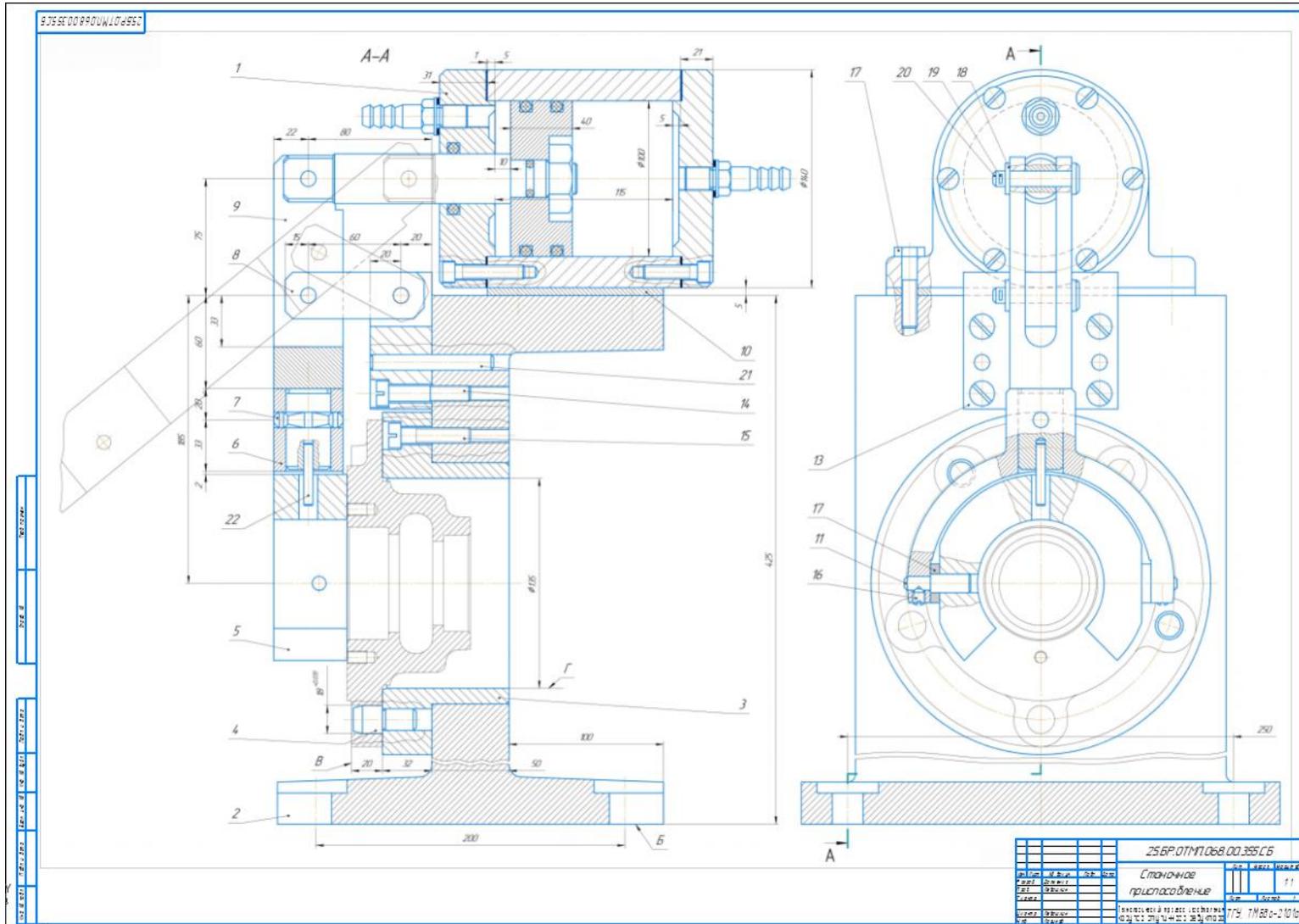


Рисунок Ж.1 – Станочное приспособление

Приложение И

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<i>Документация</i>		
A1			ВАМК 151001. БДП. 00-00 СБ	Сборочный чертёж		
				<i>Сборочные единицы</i>		
		1	ВАМК 151001. БДП. 01-01	Пневмоцилиндр в сборе	1	
				<i>Детали</i>		
		2	ВАМК 151001. БДП. 00-02	Корпус	1	
		3	ВАМК 151001. БДП. 00-03	Втулка	1	
		4	ВАМК 151001. БДП. 00-04	Штифт установочный	2	
		5	ВАМК 151001. БДП. 00-05	Качалка	1	
		6	ВАМК 151001. БДП. 00-06	Рычаг	1	
		7	ВАМК 151001. БДП. 00-07	Штифт	1	
		8	ВАМК 151001. БДП. 00-08	Серьга	1	
		9	ВАМК 151001. БДП. 00-09	Вилка	1	
		10	ВАМК 151001. БДП. 00-00	Прокладка	1	
		11	ВАМК 151001. БДП. 00-11	Ось	3	
		12	ВАМК 151001. БДП. 00-12	Ось	2	
		13	ВАМК 151001. БДП. 00-13	Колодка	1	
				<i>Стандартные изделия</i>		
		14		Винт М10×52		
				ГОСТ 11738-66	4	

Рисунок И.1 – Спецификация

