



## Аннотация

В выпускной квалификационной работе представлена технология изготовления корпуса механизма зажима. Работа рассматривает все этапы проектирования данной технологии. Разделы работы соответствуют заданию. Первым этапом идет анализ исходных данных, в качестве которых используется рабочий чертеж детали и заданный годовой объем выпуска 20000 деталей в год. В ходе анализа требований чертежа выявлено соответствие требований служебному назначению поверхностей детали. Рассматриваются вопросы обеспечения технологичности детали. В ходе разработки технологии на основе характеристик среднесерийного типа производства выбрана заготовка и технологические переходы по ее дальнейшей обработке. Исходная заготовка выбрана, полученная методом штамповки. Сравнивалась с методом получения заготовки из проката. Выбранные технологические переходы соответствуют типовому технологическому процессу изготовления деталей типа втулки, форме которой соответствует заданная деталь. Технологические операции выполняются на широко функциональных высокоскоростных металлорежущих станках. Используется специализированное и универсальное оснащение для закрепления и обработки заготовки. Выбранные средства контроля и измерений соответствуют форме детали, ее конфигурации и точности контролируемых параметров. Проектирование операций включает в себя расчет режимов и норм времени. Технологическое проектирование заканчивается формированием комплекта технологической документации по изготовлению детали. Для обеспечения технологии изготовления спроектировано зажимное и захватное приспособление. Проектирование сопровождается всеми необходимыми проверочными расчетами. Экономический раздел содержит обоснование изменений в технологии. Предусмотрены мероприятия по защите труда для обеспечения заданных условий обработки.

## Содержание

Введение.....	4
1 Анализ объекта проектирования.....	6
1.1 Анализ технологичности объекта проектирования.....	6
1.2 Формулировка задач проектирования.....	9
2 Технология изготовления детали.....	11
2.1 Расчет заготовки, выбор методов и средств оснащения .....	11
2.2 Проектирование технологической операции .....	26
3 Проектирование специальных средств оснащения .....	30
3.1 Станочное приспособление.....	30
3.2 Захватное устройство.....	35
4 Безопасность и экологичность технического объекта.....	40
5 Экономическая эффективность работы.....	45
Заключение.....	50
Список используемых источников.....	51
Приложение А Технологическая документация.....	53

## Введение

Рассматриваемая деталь и технологический процесс ее изготовления в качестве базового был реализован на предприятии АО «АВТОВАЗ». Поэтому будем ориентироваться на опыт изготовления детали до настоящего времени [18]. Оборудование, используемое на предприятии, размещается на производственных отделениях в соответствии с основным направлением основного грузового потока с обеспечением всех необходимых организационно-технических мер [2]. На предприятии используется широкий спектр оборудования, начиная от универсальных станков и заканчивая полуавтоматами, автоматами, а также автоматизированными линиями производства тех или иных деталей.

Примышленные роботы, которые входят в состав автоматизированных и робототехнических производственных линий, например, штамповка кузовных элементов, представляют собой различного рода автоматические манипуляторы с набором двигательных и управляющих функций, действующих по специальному алгоритму посредством программируемых устройств ввода данных [20].

Все перечисленное автоматизированное оборудование входящее в производственно-технологический парк оборудования предприятия реализует универсальную быстропереналаживаемую и гибкую систему производства [1].

Для изготовления деталей на данном предприятии используется широкий спектр режущего инструмента, как универсального, так и узкоспециализированного, как импортного, так и собственного изготовления.

В качестве основного оборудования в механических цехах используются различного рода универсальные токарные, фрезерные и сверлильные станки, помимо этого, производство оснащено высокоточным автоматизированным оборудованием с ЧПУ [10].

Токарный участок включает в себя следующие универсальные токарные и фрезерные станки типа 16K20, BM127M, Витязь 6P81Ш-У, станки расточные марок 2E78П и 2E78ПН, токарно-винторезный станок 1А64, JET BD-6, сверлильные станки – MGB63, CORMAK ZS-40B, шлифовальное оборудование представлено как кругло-шлифовальным, так и плоско-шлифовальным оборудованием марок КШ-600, ВШ-200.3, ЗБ722, ЗД725 и ряд других [17].

Автоматическое оборудование данного участка представлено вертикально обрабатывающими центрами марок KVL-Q, EXL-50, KREOS RB 5AX, зубообрабатывающие центры марок HERA 500, STALEX MUF2000 Servo, Kalibo Y31, TRIOD MMG 50 для мелкомодульных зубчатых колес [3].

Вспомогательное оборудование на данном участке представлено таким оборудованием как заточные станки марок LAKFAM ASP-631F SL, IRONMAC M 115, ТШ-ЗДБ АА0024.

Металлорежущий инструмент представлен различного рода стандартным и нестандартным инструментом в зависимости от вида выполняемых работ – это различные токарные резцы как для черновой, так и чистовой обработки (цельные, с напаянной металлорежущей частью и сборные [12]), фрезы от концевых до дисковых, пилы для резки заготовок дисковые и ленточные, сверла, зенкеры, развертки и так далее [19]. Весь режущий инструмент, используемый в производстве как отечественного, так и импортного производства. Данный инструмент применяется для выполнения широкого спектра задач, а именно – обработка плоских наружных поверхностей и торцов, изготовление деталей со сложным криволинейным (фигурным) контуром [11], растачивание отверстий, выполнение пазов на цилиндрических и плоских поверхностях и так далее.

Для реализации проектируемого технологического процесса в этой работе будет использовать опыт предприятия и, проведя соответствующий анализ и расчеты, будет предложен новый технологический процесс изготовления детали.

## 1 Анализ объекта проектирования

### 1.1 Анализ технологичности объекта проектирования

Рассматриваемая деталь «Корпус» является одним из главных компонентов механизма зажима, обеспечивающая надежное и точное закрепление обрабатываемых заготовок. Фрагмент такого механизма зажима представлен на рисунке 1.

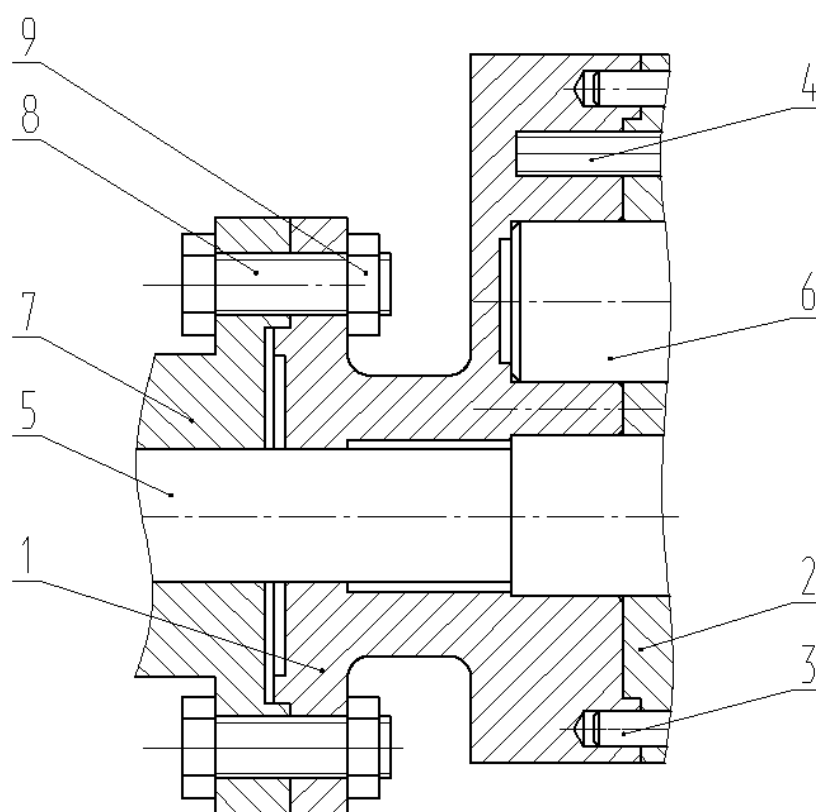


Рисунок 1 – Фрагмент механизма зажима

Корпусная деталь с комплексом отверстий является одной из наиболее распространенных деталей в машиностроении и используется в различных конструкциях для соединения элементов между собой.

Состав механизма зажима: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – штифты; 4 – винты; 5 – вал; 6 – сопрягаемая полость; 7 – фланец; 8 – болты; 9 - шайбы.

Корпусная деталь должна быть совместима с другими деталями механизма зажима и обеспечивать их надежную фиксацию или направление за счет подбора правильных посадок.

Защита от внешних факторов для увеличения ресурса механизма. Корпусная деталь должна защищать внутренние элементы механизма зажима от пыли, грязи, влаги и других вредных факторов. Она должна быть легко устанавливаемой и обслуживаемой, чтобы минимизировать время простоя станка в случае необходимости замены или ремонта механизма зажима.

Корпусная деталь должна соответствовать стандартам безопасности и не представлять угрозы для оператора станка с точки зрения травматической опасности [5].

Для корпуса подходит материал – сталь 45 ГОСТ 1050-2013. Его предел прочности 980 МПа. Твердость в состоянии поставки – 220-240 НВ. После закалки 32-35 HRC [9]. Его физические и механические свойства полностью удовлетворяют тем требованиям, которые предъявляются для поддержания соответствующего напряженно-деформированного состояния детали при ее эксплуатации.

Химический состав материала также соответствует предъявляемым требованиям – содержание углерода от 0,42 до 0,50 процента, содержание кремния от 0,17 до 0,37 процента, содержание магния от 0,50 до 0,80 процента, содержание хрома 0,25 процента, содержание серы не более 0,04 процента, содержание фосфора не более 0,035 процента, содержание меди не более 0,25 процента, содержание никеля 0,25 процента, содержание астата 0,08 процента, а остальное железо.

Проведем систематизацию поверхностей для определения технических требований на чертеже (рисунок 2), для чего проведем классификацию всех поверхностей согласно служебному назначению детали.

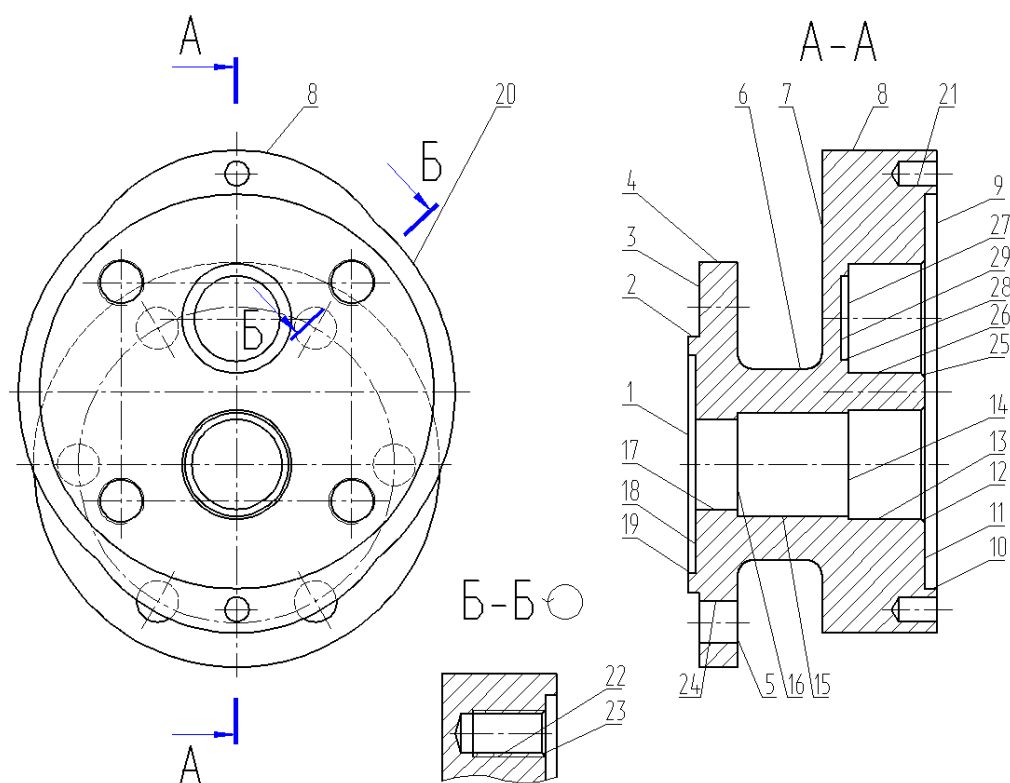


Рисунок 2 – Систематизация поверхностей

Устанавливать и базировать заготовку можно как по наружным цилиндрическим поверхностям, так и по отверстию [1]. При этом можно устанавливать заготовку с консольной схемой без поджима задним центром. Корпус симметричной ступенчатости. Он имеет среднюю жесткость. Конструктивные элементы являются типовыми. В качестве основных конструкторских баз определим поверхности 9, 21 и 10, в качестве вспомогательных конструкторских баз определим поверхности 2, 3, 17, 24, 22 и 11. Исполнительными поверхностями, исходя из служебного назначения детали, являются поверхности 13 и 26. Остальные поверхности характеризуем как свободные. Из-за формы и материала детали можно применять заготовки простой формы, включая прокат [11]. В нашем случае можно применить либо горячекатаный прокат, либо калиброванный. В этом случае необходимо провести экономическое сравнение заготовок между собой.



В значительной мере технологичность конструкции детали определяется возможностью наиболее простой механической обработки. Проведем анализ детали на ее технологичность. Совершенство конструкции детали также определяется использованием наиболее экономических, экономичных и производительных технологических методов ее изготовления. В начало технологического процесса относят процедуры, раскрывающие скрытые дефекты на начальной стадии обработки (пористость, коробление, трещины, и тому подобное), а также создаются оптимальные условия для перераспределения остаточных напряжений в заготовке. Осуществляется выбор технологических баз и обоснование этих выбранных баз. Задаётся очерёдность и способы обработки поверхностей заготовки. Исходя из требований к качеству детали, устанавливается количество переходов при обработке каждой поверхности, а также оборудование для выполнения данной операции. Выявляется индивидуальная технологическая оснастка для выполнения операции и разрабатываются условия, которым должен соответствовать каждый вид выбранной оснастки. При выборе установочных баз соблюдаются основные условия: постоянство баз и совмещение технологических баз с конструкторскими. Крайней производят обработку легкоповреждаемых поверхностей, например, наружной резьбы. Последовательность операций зависит от последующих термической и химико-термической обработки. Рабочие поверхности необходимо шлифовать и полировать. Деталь типовой конфигурации «втулка» или «фланец» и для нее может быть использован типовой технологический процесс.

## **1.2 Формулировка задач проектирования**

В работе планируется разработать новую технологию изготовления рассматриваемой детали. Для чего необходимо провести технологические, технические и экономические мероприятия, в ходе проведения которых

решить следующие задачи. В работе необходимо рассмотреть все этапы проектирования данной технологии. Разделы работы должны соответствовать заданию. Первым этапом прошел анализ исходных данных, в качестве которых использовался рабочий чертеж детали и заданный годовой объем выпуска 20000 деталей в год. В ходе анализа требований чертежа выявлено соответствие требований служебному назначению поверхностей детали. Рассматривались вопросы обеспечения технологичности детали. Далее необходимо разработать технологию на основе характеристик среднесерийного типа производства и выбрать заготовку и технологические переходы по ее дальнейшей обработке. Исходную заготовку будем получать методом штамповки. Для этого сравним с методом получения заготовки из проката. Выбрать технологические переходы будем в соответствии с типовым технологическим процессом изготовления деталей типа втулки, форме которой соответствует заданная деталь. Технологические операции будем выполнять на широко функциональных высокоскоростных металлорежущих станках. Будем использовать специализированное и универсальное оснащение для закрепления и обработки заготовки. Выбирать средства контроля и измерений необходимо в соответствии формы детали, ее конфигурации и точности контролируемых параметров. Проектирование операций должно включать в себя расчет режимов и норм времени. Технологическое проектирование будет заканчиваться формированием комплекта технологической документации по изготовлению детали. Для обеспечения технологии изготовления спроектировать зажимное и захватное приспособление. Проектирование необходимо сопровождать всеми необходимыми проверочными расчетами. Экономический раздел должен содержать обоснование изменений в технологии. Необходимо предусмотреть мероприятия по защите труда для обеспечения заданных условий обработки.

В разделе был проведен анализ исходных данных для реализации проектирования нового технологического процесса и поставлены задачи для достижения цели работы.

## 2 Технология изготовления детали

### 2.1 Расчет заготовки, выбор методов и средств оснащения

По заданию объем выпуска 20000 деталей в год и масса детали 2,79 кг. Выбираем среднесерийный тип производства. При выборе заготовки для производства необходимо учитывать ряд факторов. Материал, подлежащий штамповке. Различные материалы имеют разную твердость, прочность и ударную вязкость, что может повлиять на способ получения заготовки. Необходимо учитывать диаметр и длину заготовки, ее ступенчатость. Ее размеры определяются возможным напуском для упрощения формы заготовки и потерями на дополнительную обработку. Для полрой заготовки необходимо определиться с желаемым размером отверстия и возможностью его получения. Перед производством изделия необходимо учитывать следующие параметры: форму заготовки, размеры заготовки, массу заготовки, материал заготовки; тип производства, припуск. Обоснованный экономический выбор заготовки для производства ведет: к снижению себестоимости детали, снижению трудоёмкости. На основании этих суждений сделаем вывод, что важной задачей при выборе заготовки является снижение затрат на основные материалы, то есть уменьшение расхода материалов. Эти факторы должны быть приняты во внимание для эффективного проектирования заготовки и технологии ее изготовления. Для сравнения выбираем два способа получения заготовки – штамповка и прокат. «Массу заготовки при штамповке  $M_{III}$  определять будем по формуле:

$$M_{III} = M_D \cdot K_P, \quad (1)$$

где  $M_D$  – масса корпуса, кг;

$K_P$  равен 1,8» [14].

«Получим массу заготовки из штамповки:

$$M_{III} = 2,79 \cdot 1,8 = 5,02 \text{ кг.}$$

По ГОСТу 7505-89 основными параметрами для заготовки будут: индукционный нагрев заготовки, КГШП (штамповочное оборудование), класс Т3 (точность), М2 (категория материала) и С3 (степень сложности)» [14].

«Массу заготовки из проката  $M_{III}$  определять будем по формуле:

$$M_{III} = V \cdot \gamma, \quad (2)$$

где  $V$  – объем, мм<sup>3</sup>;

$\gamma$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>» [14].

«Необходимо выбрать такие параметры прутка, чтобы максимальные размеры детали были меньше по значению, как минимум, в 1,05 раза» [8].

«Прокат – это прутки (геометрическая фигура – цилиндр), основными параметрами которого является его длина и диаметр сечения. Для этого необходимо рассчитать наибольший размер в радиальном  $d_{III}$  и в осевом направлении  $l_{III}$ :

$$d_{III} = d_D^{MAX} \cdot 1,05 \text{ мм}, \quad (3)$$

$$l_{III} = l_D^{MAX} \cdot 1,05 \text{ мм}, \quad (4)$$

где  $d_D^{MAX}$  – максимальный диаметр детали, мм;

$l_D^{MAX}$  – максимальная длина детали, мм» [14].

«Получим

$$d_{III} = 135 \cdot 1,05 = 141,8 \text{ мм. Принимаем } d_{III} = 150 \text{ мм}$$

$$l_{III} = 65 \cdot 1,05 = 68,3 \text{ мм. Принимаем } l_{III} = 68,3 \text{ мм}$$

Объем цилиндра определяется по формуле:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot d_{III}^2 \cdot l_{III} \text{ мм}^3 \quad (5) \text{» [14]}$$

«Получим:

$$V = \frac{3,14}{4} \cdot 150^2 \cdot 68,3 = 1206349 \text{ мм}^3.$$

Тогда массу заготовки при прокате получим из формулы (2)

$$M_{\text{ПР}} = 1206349 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 9,47 \text{ кг}.$$

По ГОСТу 2590-2006 выбираем нужный размер проката обычной точности [13]:

$$\text{Круг } \frac{150\text{-В-ГОСТ } 2590\text{-}2006}{45\text{-ГОСТ } 1050\text{-}2013}.$$

Проведем экономическое сравнение стоимости заготовки, полученной двумя рассматриваемыми методами и выберем оптимальный, исходя из более дешевой заготовки» [16].

«Стоимость заготовки при штамповке будем определять по формуле:

$$C_3 = C_B \cdot M_{\text{Ш}} \cdot K_T \cdot K_{\text{СЛ}} \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{\text{П}}, \quad (6)$$

где  $C_3$  – стоимость штампованной заготовки;

$M_{\text{Ш}}$  – масса штампованной заготовки, кг;

$C_B$  – сумма 1 кг материала равна 11,20 руб./кг;

$K_T$  – коэффициент, учитывающий точность, равен 1,0;

$K_{\text{СЛ}}$  – коэффициент, учитывающий сложность, равен 1,0;

$K_B$  – коэффициент, зависимый от  $M_{\text{Ш}}$ , равен 0,87;

$K_M$  – коэффициент материала равен 1,0;

$K_{\text{П}}$  – коэффициент количества выпуска равен 1,0» [16].

«Тогда получим стоимость заготовки:

$$C_3 = 11,20 \cdot 5,02 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,87 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 48,91 \text{ руб}.$$

Затраты на механическую обработку найдем, пользуясь формулой:

$$C_{\text{МО}} = (M_{\text{Ш}} - M_{\text{Д}}) \cdot C_{\text{УД}}, \quad (7)$$

где  $C_{\text{УД}}$  – цена за 1 кг материала, руб./кг» [14].

$$C_{уд} = C_T + E_H \cdot C_K, \quad (8)$$

«где  $C_T$  – текущие затраты равны 14,8 руб./кг;

$C_K$  – капитальные затраты равны 32,5 руб./кг;

$E_H$  – эффективный нормативный коэффициент равен 0,16» [14].

«Получим

$$C_{уд} = 14,8 + 0,16 \cdot 32,5 = 20 \text{ руб./кг.}$$

Тогда, подставив все данные в формулу (7), получаем:

$$C_{МО} = (5,02 - 2,79) \cdot 20 = 44,60 \text{ руб.}$$

Стоимость отходов (стружки) от производства:

$$C_{ОТХ} = (M_{Ш} - M_{Д}) \cdot Ц_{ОТХ}, \quad (9)$$

где  $Ц_{ОТХ}$  – стоимость за 1 кг стружки.

Примем  $Ц_{ОТХ}$  равным 0,15 руб./кг» [14].

«Получим:

$$C_{ОТХ} = (5,02 - 2,79) \cdot 0,15 = 0,33 \text{ руб.}$$

$$C_{ДШ} = 48,91 + 44,60 - 0,33 = 93,18 \text{ руб.}$$

Стоимость заготовки из проката будем определять по формуле:

$$C_{ПР} = C_{МПР} \cdot M_{ПР} + C_{ОЗ}, \quad (10)$$

где  $C_{МПР}$  – 1 кг проката равен 8 руб./кг» [14];

« $C_{ОЗ}$  – отрезка, найдем как:

$$C_{ОЗ} = \frac{C_{ПЗ} \cdot T_{ШТ}}{60}, \quad (11)$$

где  $C_{ПЗ}$  – приведенные затраты равны 30,20 руб./ч

$T_{ШТ}$  – норма штучного времени:

$$T_{ШТ} = T_0 \cdot \phi_K, \quad (12)$$

где  $T_0$  – основное время, мин;

$\phi_K$  – коэффициент оснастки равен 1,5

$T_0$  определим по формуле:

$$T_0 = 0,19 \cdot d_{ПР}^2 \cdot 10^{-3}. \quad (13)» [16]$$

«Тогда  $T_0 = 0,19 \cdot d_{ПР}^2 \cdot 10^{-3} = 0,19 \cdot 150^2 \cdot 10^{-3} = 4,28$  мин.

Окончательно из (10-12) получим:

$$T_{ШТ} = T_0 \cdot \phi_K = 4,28 \cdot 1,5 = 6,41 \text{ мин.}$$

$$C_{OЗ} = \frac{C_{ПЗ} \cdot T_{ШТ}}{60} = \frac{30,2 \cdot 6,41}{60} = 3,23 \text{ руб.}$$

$$C_{ПР} = C_{МПР} \cdot M_{ПР} + C_{OЗ} = 8 \cdot 9,47 + 3,23 = 78,99 \text{ руб.}$$

Найдём затраты на механическую обработку проката:

$$C_{МО} = (M_{ПР} - M_{Д}) \cdot C_{УД} = (9,47 - 2,79) \cdot 20 = 133,60 \text{ руб.}$$

Затраты на отходы:

$$C_{ОТХ} = (M_{ПР} - M_{Д}) \cdot C_{ОТХ} = (9,47 - 2,79) \cdot 0,4 = 1,00 \text{ руб.}$$

Тогда

$$C_{ДПР} = C_{ПР} + C_{МО} - C_{ОТХ} = 78,99 + 133,40 - 1,00 = 211,38 \text{ руб.}$$

Если учитывать коэффициенты цен на 2021 год, то все полученные результаты удваиваем, тогда получаем, что  $C_{ДПР} = 422,76$  руб., а  $C_{ДШ} = 186,36$  руб. Расчет показал, что оптимальным методом получения заготовки является штамповка» [16].

«Сравним заготовки, определив коэффициент использования материала:

$$K_{ИМ} = \frac{M_{Д}}{M_3} \quad (14)$$

Для штамповки:  $K_{ИМ} = \frac{2,79}{5,02} = 0,56.$

Для проката:  $K_{ИМ} = \frac{2,79}{9,47} = 0,29$ .

Сопоставляя технологическую себестоимость для двух вариантов получения заготовки, делаем окончательны вывод: заготовка из штамповки выгоднее проката» [15]. «Годовой экономический эффект рассчитаем по формуле:

$$\mathcal{E}_Г = (C_{Д.ПР} - C_{Д.Ш}) \cdot N_Г, \quad (15)$$

где  $C_{Д.ПР}$  – стоимость проката;

$C_{Д.Ш}$  – стоимость штамповки;

$N_Г$  – программа выпуска детали 20000 шт./год» [6].

Получаем:  $\mathcal{E}_Г = (422,76 - 186,36) \cdot 20000 = 4728000$  руб.

Для выбора средства оснащения проведем анализ штампов. Прогрессивная штамповка использует последовательность станций штамповки. Металлический рулон подается в возвратно-поступательный штамповочный пресс с прогрессивными штамповочными матрицами. Матрица перемещается вместе с прессом, и когда пресс перемещается вниз, матрица закрывается, чтобы штамповать металл и формировать деталь. Когда пресс перемещается вверх, металл перемещается горизонтально к следующей станции. Эти перемещения должны быть точно выровнены, поскольку деталь все еще соединена с металлической полосой. Конечная станция отделяет только что изготовленную деталь от остального металла. Доступны различные станки для изготовления штампов, используемых при штамповке. Прогрессивная, формовочная, компаундная и твердосплавная оснастка удовлетворяет специфическим требованиям штамповки. Прогрессивные штампы можно использовать для одновременного создания нескольких деталей на одном изделии. Выбираем горизонтально-штамповочную машину (КГШП).



В таблицу 1 сведем результаты расчета припусков для заготовки. На рисунке 3 показана схема припусков.

Таблица 1 – Припуски на размер  $103H9^{(+0,1)}$

Переход	Элементы припуска				2Z min	IT	Размеры		Припуски	
	$Rz^{i-1}$	$h^{i-1}$	$\Delta^{i-1}$	$\epsilon_{уст}^{i-1}$			$D^i \max$	$D^i \min$	2Z max	2Z min
	первый	0.160	0.200	0.607			-	-	T3	100.295
второй	0.050	0.040	0.036	0.440	2.220	H13	102.515	101.975	3.280	2.220
третий	0.025	0.025	0.024	0.090	0.374	H10	102.889	102.749	0.774	0.374
четвертый	0.010	0.015	0.012	0.050	0.211	H9	103.100	103.000	0.251	0.211

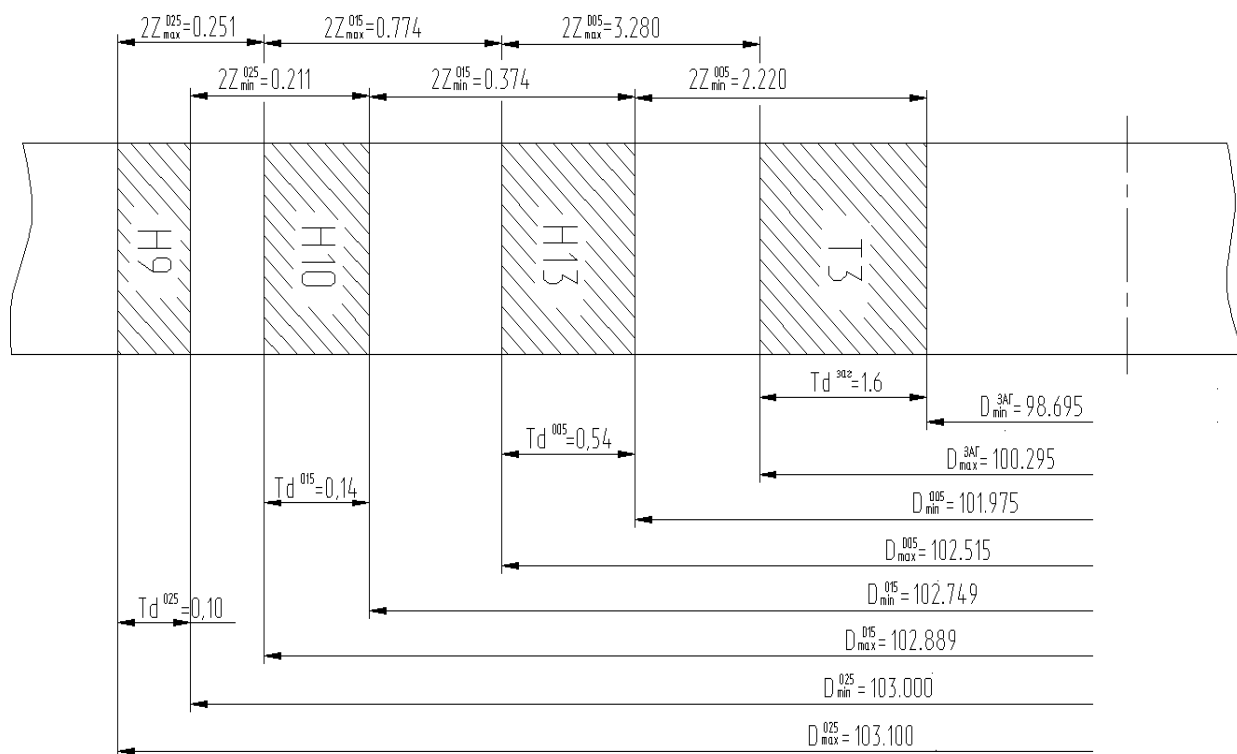


Рисунок 3 – Припуски на размер  $103H9^{(+0,1)}$

Этапы для выбора технологических переходов по обработке поверхностей корпуса:

На первом этапе: определение требований к изделию – необходимо определить геометрические параметры детали, требования к качеству поверхности, точности размеров и другие характеристики.

На втором этапе: анализ возможных вариантов технологии обработки. Необходимо проанализировать различные переходы, которые могут быть применены для изготовления. Это может включать разные комбинации токарной обработки, сверления, шлифования.

На третьем этапе: оценка влияющих факторов на выбор технологии обработки. К ним относятся стоимость оборудования, стоимость материалов, время обработки, требования к точности и качеству поверхности. Нужно учесть возможности переналадки оборудования для серийного производства.

На четвертом этапе: сравнение технологических переходов с учетом оценки влияющих факторов. Выбрать наиболее подходящие для конкретной ситуации по критерию минимальной себестоимости.

На пятом этапе: определение последовательности операций и параметры обработки для каждой операции. Это включает в себя выбор инструментов, режимов резания, скорости и подачи.

На шестом этапе: после определения последовательности переходов необходимо разработать управляющие программы для станка, которые будут использоваться для обработки заготовки.

Выбор методов обработки для каждой поверхности:

Плоская поверхность 1 характеризуется 10 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: точить начерно (13 квалитет), точить начисто (10 квалитет) и затем провести термообработку.

Цилиндрическая поверхность 2 характеризуется 10 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность

переходов: точить начерно (13 квалитет), точить начисто (10 квалитет) и затем провести термообработку.

Плоская поверхность 3 характеризуется 10 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: точить начерно (13 квалитет), точить начисто (10 квалитет) и затем провести термообработку.

Цилиндрическая поверхность 4 характеризуется 10 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: точить начерно (13 квалитет), точить начисто (10 квалитет) и затем провести термообработку.

Плоская поверхность 5 характеризуется 10 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: точить начерно (13 квалитет), точить начисто (10 квалитет) и затем провести термообработку.

Цилиндрическая поверхность 6 характеризуется 10 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: точить начерно (13 квалитет), точить начисто (10 квалитет) и затем провести термообработку.

Плоская поверхность 7 характеризуется 10 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: точить начерно (13 квалитет), точить начисто (10 квалитет) и затем провести термообработку.

Цилиндрическая поверхность 8 характеризуется 13 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность

переходов: фрезеровать начисто (10 квалитет) и затем провести термообработку.

Плоская поверхность 9 характеризуется 10 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: точить начерно (13 квалитет), точить начисто (10 квалитет) и затем провести термообработку.

Цилиндрическая поверхность 10 характеризуется 9 квалитетом точности с шероховатостью Ra3,2. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: растачивать начерно (13 квалитет), растачивать начисто (10 квалитет), провести термообработку, шлифовать начисто (9 квалитет).

Цилиндрическая поверхность 11 характеризуется 11 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: растачивать начерно (13 квалитет), растачивать начисто (10 квалитет) и провести термообработку.

Коническая поверхность 12 характеризуется 11 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: растачивать начисто (11 квалитет) и провести термообработку.

Цилиндрическая поверхность 13 характеризуется 6 квалитетом точности с шероховатостью Ra1,6. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: растачивать начерно (13 квалитет), растачивать начисто (10 квалитет), провести термообработку, шлифовать начисто (6 квалитет).

Плоская поверхность 14 характеризуется 10 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность

переходов: растачивать начерно (13 квалитет), растачивать начисто (10 квалитет) и провести термообработку.

Цилиндрическая поверхность 15 характеризуется 10 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: сверлить (14 квалитет), растачивать начерно (13 квалитет), растачивать начисто (10 квалитет) и провести термообработку.

Плоская поверхность 16 характеризуется 10 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: растачивать начерно (13 квалитет), растачивать начисто (10 квалитет) и провести термообработку.

Цилиндрическая поверхность 17 характеризуется 9 квалитетом точности с шероховатостью Ra1,6. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: растачивать начерно (13 квалитет), растачивать начисто (10 квалитет), провести термообработку и шлифовать начисто (9 квалитет).

Плоская поверхность 18 характеризуется 10 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: растачивать начерно (13 квалитет), растачивать начисто (10 квалитет) и провести термообработку.

Цилиндрическая поверхность 19 характеризуется 10 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: растачивать начерно (13 квалитет), растачивать начисто (10 квалитет) и провести термообработку.

Цилиндрическая поверхность 20 характеризуется 13 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и

характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: фрезеровать начисто (13 квалитет) и провести термообработку.

Цилиндрическая поверхность 21 характеризуется 7 квалитетом точности с шероховатостью Ra1,6. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: сверлить (13 квалитет), растачивать начисто (10 квалитет), провести термообработку, шлифовать начисто (7 квалитет).

Резьбовая поверхность 22 характеризуется 7Н квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: сверлить (13 квалитет), нарезать резьбу M12 (7Н квалитет) и провести термообработку.

Коническая поверхность 23 характеризуется 13 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: сверлить (13 квалитет) и провести термообработку.

Цилиндрическая поверхность 24 характеризуется 13 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: сверлить (13 квалитет) и провести термообработку.

Коническая поверхность 25 характеризуется 10 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: растачивать начисто (10 квалитет) и провести термообработку.

Цилиндрическая поверхность 26 характеризуется 6 квалитетом точности с шероховатостью Ra1,6. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: сверлить (14 квалитет), растачивать начерно (13 квалитет), растачивать начисто (10 квалитет), провести термообработку, шлифовать начисто (6 квалитет).

Плоская поверхность 27 характеризуется 11 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: сверлить (14 квалитет), растачивать начерно (13 квалитет), растачивать начисто (11 квалитет) и провести термообработку.

Цилиндрическая поверхность 28 характеризуется 11 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: сверлить (14 квалитет), растачивать начерно (13 квалитет), растачивать начисто (11 квалитет) и провести термообработку.

Плоская поверхность 29 характеризуется 11 квалитетом точности с шероховатостью Ra6,3. Для обработки такого типа поверхностей и характеристик точности необходима следующая последовательность переходов: сверлить (14 квалитет), растачивать начерно (13 квалитет), растачивать начисто (11 квалитет) и провести термообработку.

В базовом варианте использовалось автоматическое оборудование данного участка представлено вертикально обрабатывающими центрами марок KVL-Q, EXL-50, KREOS RB 5AX, зубообрабатывающие центры марок HERA 500, STALEX MUF2000 Servo, Kalibo Y31, TRIOD MMG 50 для мелко модульных зубчатых колес.

В базовом варианте использовалось вспомогательное оборудование на данном участке представлено таким оборудованием как заточные станки марок LAKFAM ASP-631F SL, IRONMAC M 115, ТШ-ЗДБ АА0024.

На основании проведенного анализа для повышения производительности механической обработки предлагается замена универсального оборудования на современные металлообрабатывающие центры с ЧПУ, которые позволят выполнять широкий спектр работ за один постанов детали, тем самым минимизируя время изготовления, производственные затраты с увеличением точности и качества обработки. Выбор оборудования является критически важным для реализации

эффективной технологии изготовления корпуса. Токарно-фрезерные станки являются новым направлением в станкостроении. Они очень универсальны и могут использоваться для самых разнообразных переходов, так как имеют широкие технологические возможности. Из проведенного анализа современных научных исследований в области повышения производительности механической обработки с минимизацией затрат можно сделать вывод, что необходимо совершить выбор не только высокопроизводительного и современного оборудования и инструмента, но и средств программного обеспечения и правильность построения самого технологического процесса с обеспечением всех требований, предъявляемых к производству детали.

Для точения (операции 005, 010, 015 и 020) по обработке общего контура детали принимаем токарный с ЧПУ ВСТ 625-21 CNC34, который позволит совместить операции 005-020 в базовом варианте за счет последовательного выполнения всех переходов по данным операциям на одном станке за один постанок детали.

Для фрезерования плоских поверхностей (операция 025) принимаем многоцелевой вертикальный станок с ЧПУ S450.

Для сверления цилиндрических поверхностей (операция 035) принимаем многоцелевой вертикальный станок с ЧПУ S450, который предназначен для операций шлифования как профиля, так и шлицевых и прямых пазов произвольной формы с помощью червячных, дисковых и различных профильных шлифовальных кругов. Обработка производится с использованием системы ЧПУ в диалоговом режиме, правка и профилирование детали и абразивного инструмента осуществляется силами станка в процессе операции.

В таблицу 2 сведем выбранные средства технологического оснащения: к каждой технологической операции определим необходимое оборудование, приспособление, инструмент с его характеристиками и средства контроля.



Таблица 2 – Выбор СТО

«Операция	Оборудование	Приспособление	Инструмент
005, 010	ВСТ-625-21 CNC34	Патрон токарный 3-х кулачковый ГОСТ 2675-80	Резец проходной Т5К10 $\varphi=97^\circ$ , $\varphi_1=8^\circ$ , $\lambda=0$ $\alpha=11^\circ$ $h=25$ $b=25$ $L=125$ ОСТ 2И.101-83 Сверло спиральное с коническим хвостовиком $\varnothing 24$ ГОСТ 10903-77 Р6М5К5 Резец токарный расточной Т5К10 $\varphi=110^\circ$ , $\lambda=0$ $\alpha=11^\circ$ $h=16$ $b=16$ $L=125$ ОСТ 2И.101- 83 Резец токарный Т5К10 $B=10$ $\varphi=90^\circ$ , $h=25$ $b=25$ $L=125$ ОСТ 2И.101-83
015, 020			Резец проходной Т15К6 $\varphi=93^\circ$ , $\varphi_1=27^\circ$ $\lambda=-$ $2^\circ$ $\alpha=11^\circ$ $h=25$ $b=25$ $L=125$ ОСТ 2И.101-83 Резец токарный расточной Т15К6 $\varphi=110^\circ$ , $\lambda=0$ $\alpha=11^\circ$ $h=16$ $b=16$ $L=125$ ОСТ 2И.101- 83 Резец токарный Т15К6 $B=10$ $\varphi=90^\circ$ , $h=25$ $b=25$ $L=125$ ОСТ 2И.101-83,
025	S450	Приспособление специальное с пневмоприводом ГОСТ 12195- 66	Фреза концевая $\varnothing 20$ $Z=6$ Р6М5К5 ГОСТ 17026-71 Сверло спиральное $\varnothing 25$ ГОСТ 10903-77 Р6М5К5 Сверло центровочное $\varnothing 4$ тип А ГОСТ 14952-75 Р6М5 К5 Сверло спиральное $\varnothing 5,5$ ГОСТ 10902-77 Резец расточной $\varnothing 6,2$ . Т15К6 Борштанга расточная $\varnothing 52$ . Т5К10 Борштанга расточная $\varnothing 52$ . Т15К6 Сверло спиральное $\varnothing 11$ ОСТ 2И21-2-76 Р6М5К5 Метчик машинный М12 Р6М5К5 ГОСТ 3266-81
030			Сверло спиральное $\varnothing 11$ ГОСТ 10903-77 Р6М5К5
035	4407	-	-
040, 060	Камерная моечная машина	-	-
055	Аэрошлиф 400	Приспособление специальное с пневмоприводом ГОСТ 12195- 66» [4]	Круг 5 5x15x2; 5 20x10x8 91А F90 L 9 V А 35 м/с 2 класса ГОСТ Р 52781-2007

Более подробно технология изготовления детали представлена в графической части в виде плана обработки.

## 2.2 Проектирование технологической операции

«С помощью аналитического подхода проведем расчет режимов резания на 015 операцию (токарную).

Расчетная скорость резания определяется по формуле:

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

где  $C_U$  равен 420;

$T$  – стойкость равна 60 мин;

$t$  – глубина резания, мм;

$m$  равно 0,2,  $x$  равно 0,15,  $y$  равно 0,20;

$K_U$  примем равным 1,41» [14].

«На первом переходе:

$$V_1 = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 0,4^{0,15} \cdot 0,25^{0,30}} \cdot 1,41 = 396,7 \text{ м/мин.}$$

На втором переходе:

$$V_2 = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 0,4^{0,15} \cdot 0,25^{0,30}} \cdot 1,41 \cdot 0,9 = 357,0 \text{ м/мин.}$$

Частота вращения шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}. \quad (17)$$

где  $V$  – расчетная скорость, м/мин» [14].

«На первом переходе при подрезке торца  $\varnothing 167,4$  получим:

$$n_1 = \frac{1000 \cdot 396,7}{3,14 \cdot 167,4} = 755 \text{ мин}^{-1}.$$

На втором переходе при растачивании  $\varnothing 28,28$  получим:

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 357}{3,14 \cdot 28,28} = 4020 \text{ мин}^{-1}.$$

На втором переходе при растачивании  $\varnothing 27$  получим:

$$n_3 = \frac{1000 \cdot 357}{3,14 \cdot 27} = 4210 \text{ мин}^{-1}.$$

На втором переходе при растачивании  $\varnothing 23,2$  получим:

$$n_4 = \frac{1000 \cdot 357}{3,14 \cdot 23,2} = 4900 \text{ мин}^{-1} \text{» [14].}$$

«При бесступенчатом регулировании, согласно паспортных данных рассматриваемого станка, его фактическая частота вращения может быть:

$$n_1 = 755 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_2 = 2240 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_3 = 2240 \text{ мин}^{-1}.$$

$$n_4 = 2240 \text{ мин}^{-1} \text{» [14].}$$

«Тогда фактическую скорость, исходя из этого можно рассчитать так:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}. \quad (18)$$

На первом переходе при подрезке торца  $\varnothing 167,4$  получим:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D \cdot n_1}{1000} = \frac{3,14 \cdot 167,4 \cdot 755}{1000} = 396,7 \text{ м/мин.}$$

На втором переходе при растачивании  $\varnothing 28,28$  получим:

$$V_2 = \frac{\pi \cdot D \cdot n_2}{1000} = \frac{3,14 \cdot 28,28 \cdot 2240}{1000} = 198,9 \text{ м/мин.}$$

На втором переходе при растачивании  $\varnothing 27$  получим:

$$V_3 = \frac{\pi \cdot D \cdot n_2}{1000} = \frac{3,14 \cdot 27 \cdot 2240}{1000} = 189,9 \text{ м/мин.}$$

На втором переходе при растачивании  $\varnothing 23,2$  получим:

$$V_2 = \frac{\pi \cdot D \cdot n_2}{1000} = \frac{3,14 \cdot 23,2 \cdot 2240}{1000} = 163,2 \text{ м/мин.}$$

Силовую составляющую силы резания определим по формуле:

$$P_Z = 10 \cdot C_P \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_P, \quad (19) \text{» [14]}$$

«где  $C_p$  – равен 300;

$x, y, n$  – равны 1,0, 0,75, 0,15;

$K_p$  – коррекция» [16].

$$K_p = K_{MP} \cdot K_{\phi P} \cdot K_{\gamma P} \cdot K_{\lambda P} \cdot K_{rP}, \quad (20)$$

«где  $K_{MP}, K_{\phi P}, K_{\gamma P}, K_{\lambda P}$  и  $K_{rP}$  равны 0,77, 0,89, 1,0, 1,0 и 1,0» [16].

«Получим

$$P_Z = 10 \cdot 300 \cdot 0,4^{1,0} \cdot 0,25^{0,75} \cdot 396,7^{-0,15} \cdot 0,77 \cdot 0,89 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 119 \text{ Н.}$$

Тогда мощность будет:

$$N = \frac{P_Z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{119 \cdot 396,7}{1020 \cdot 60} = 0,77 \text{ кВт} \text{» [16].}$$

«Станок ВСТ-625-21 CNC34 имеет номинальную мощность 7,5 кВт, что намного больше требуемой (0,77 кВт). Соответственно, можно сделать вывод, что обработка на 015 токарной операции с использованием предлагаемых СТО возможна.

Режимы резания и нормы времени для остальных технологических операций будем определять табличным методом» [14] и результаты отметим в таблице 3.

Таблица 3 – Нормы времени

«Операция	$T_0$	$T_B$	$T_{OP}$	$T_{ШТ-К}$	$T_{П-3}$	$T_{ШТ}$	$n$	$T_{OB,OT}$
005	0,591	0,592	1,183	0,071	21	1,254	236	1,343
010	1,981	0,666	2,647	0,159	24	2,806	236	2,908
015	0,414	0,640	0,063	1,117	21	1,206	236	1,206
020	0,633	0,705	1,338	0,080	24	1,418	236	1,520
025	3,655	0,862	4,517	0,271	42	4,788	236	4,966
030	0,488	0,529	1,017	0,061	21	1,078	236	1,167
055» [7]	3,110	0,695	3,805	0,292	28	4,097	236	4,215

В разделе на основе типового базового технологического процесса для выбранного типа производства проведено проектирование технологии изготовления детали. На основе технико-экономического сравнения выбрана исходная заготовка и проведено ее проектирование с назначением припусков и определением размеров на операции. Для сформированных технологических переходов выбраны операции, оборудование и оснащение, а также мерительный инструмент, мерительное приспособление и соответственно методы и способы измерения геометрических параметров обработанных поверхностей. Выявлена лимитирующая технологическая операция. Для нее проведен расчет режимов резания и нормирование. Подробно и детально результаты показаны в Приложении А (таблица А.1) технологической документации.

## **3 Проектирование специальных средств оснащения**

### **3.1 Станочное приспособление**

Разработка станочного приспособления для зажима заготовки является важным этапом в производстве деталей на станках с ЧПУ. Это позволяет обеспечить точность и повторяемость обработки, а также увеличить производительность и снизить количество брака.

#### **Шаг 1: Определение требований к приспособлению**

Перед началом разработки необходимо определить требования к приспособлению. Это может включать в себя такие параметры, как размеры заготовки, ее форму, материал, требования к точности обработки, скорость обработки и т.д. Также необходимо учитывать возможности станка и инструментов, которые будут использоваться для обработки.

#### **Шаг 2: Проектирование приспособления**

На основе требований к приспособлению необходимо разработать его конструкцию. Это может включать в себя выбор материалов, размеров и формы элементов, способа крепления на станке, способа зажима заготовки и т.д. Важно учитывать возможности производства и сборки приспособления.

#### **Шаг 3: Создание чертежей и моделей**

После проектирования необходимо создать чертежи и 3D-модели приспособления. Это позволит убедиться в правильности конструкции и способности приспособления удовлетворять требованиям к обработке заготовки.

#### **Шаг 4: Изготовление приспособления**

После утверждения чертежей и моделей приспособление изготавливается на производстве. Важно следить за соответствием изготовленных деталей чертежам и моделям, а также за качеством используемых материалов.

#### **Шаг 5: Тестирование и настройка приспособления**

После изготовления приспособление необходимо протестировать на станке. Это позволит убедиться в его работоспособности, точности и надежности. Если необходимо, производится настройка приспособления для достижения необходимых параметров обработки.

#### Шаг 6: Внедрение в производство

После успешного тестирования приспособление может быть внедрено в производство. Важно обучить персоналу правильной эксплуатации и обслуживанию приспособления, а также следить за его состоянием и производительностью. «Зависимость этой силы и крутящий момент от составляющей силы резания определяется формулой:

$$M_{KP} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_P, \quad (21)$$

$$P_O = 10 \cdot C_P \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_P, \quad (22)$$

где  $C_M$  равен 0,0345,  $C_P$  равен 68 – коэффициенты поправки;

$q, y$  – равны 2,0 и 0,8 для крутящего момента, 1,0 и 0,7 для силы;

$K_P$  – коэффициент коррекции равен 0,77» [7].

«Тогда получим

$$M_{KP} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 11^2 \cdot 0,2^{0,8} \cdot 0,77 = 8,87 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

$$P_O = 10 \cdot 68 \cdot 11^2 \cdot 0,2^{0,8} \cdot 0,77 = 1866 \text{ Н}.$$

На рисунке 4 представлена схема действия сил резания и действия силы зажима» [7].

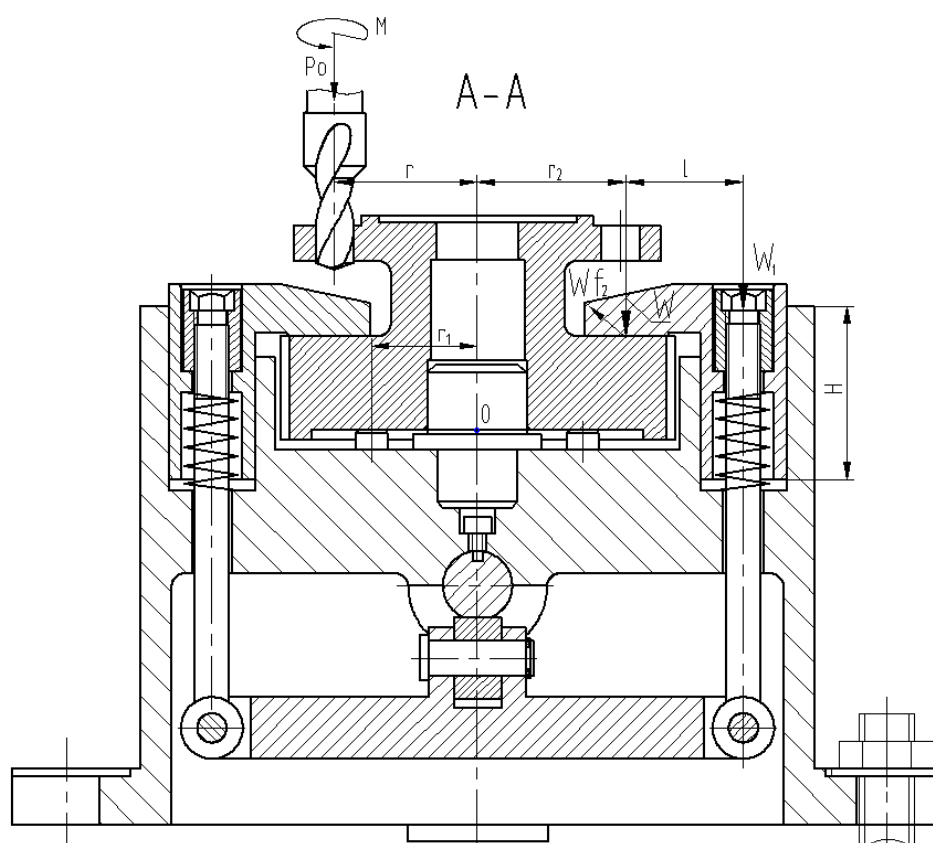
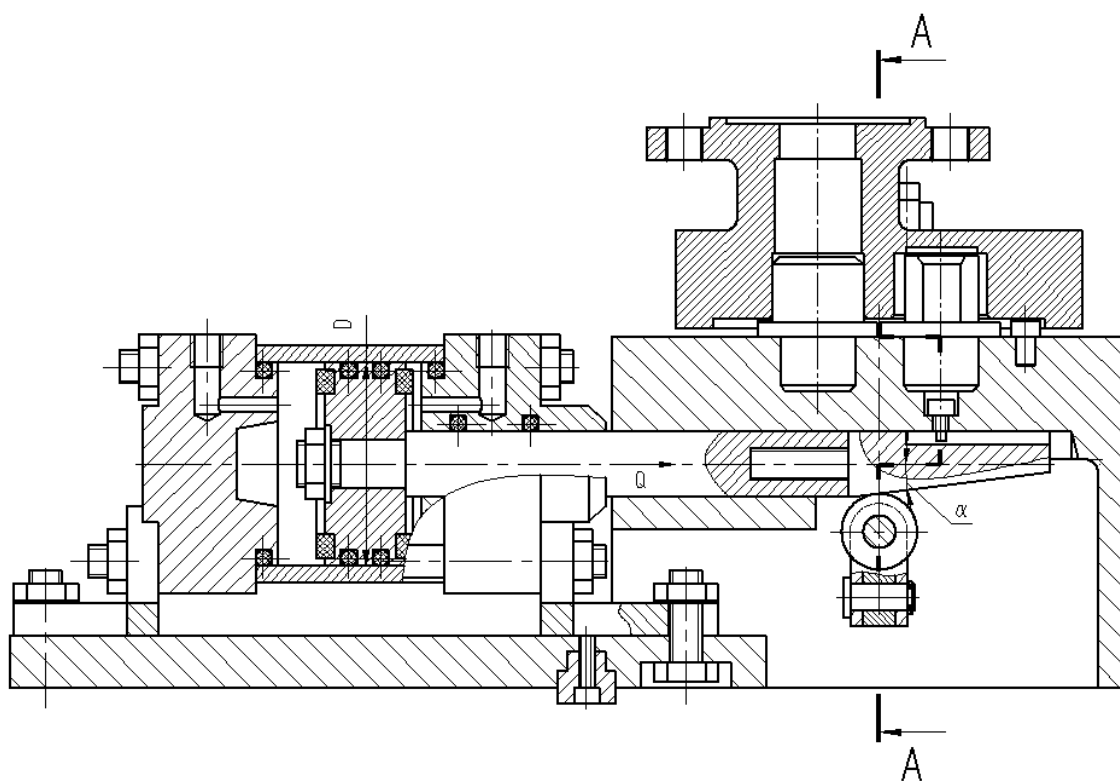


Рисунок 4 – Схема действия сил резания и действия силы зажима

«Для определения силы зажима, используя обозначения на рисунке 4



можно записать в виде следующего выражения:

$$W = \frac{K \cdot M_{KP}}{f_1 \cdot r_1 + f_2 \cdot r_2}, \quad (23)$$

где  $K$  – запас, который равен 2,5;

$r_1$  и  $r_2$  – расстояния между точками контакта детали с зажимным и опорным элементом приспособления соответственно;

$f_1$  и  $f_2$  – коэффициенты трения между деталью и зажимным, между деталью и опорным элементом приспособления соответственно» [7].

«Тогда получим:

$$W = \frac{2,5 \cdot 8870}{0,16 \cdot 30 + 0,16 \cdot 43} = 1898 \text{ Н.}$$

Для определения силы зажима используем выражение:

$$W_1 = \frac{W}{1 - 3 \cdot f \cdot (L/H)}, \quad (24)$$

где  $f$  – препятствующий скольжению коэффициент равен 0,1 [7];

$L$  – расстояние между силами  $W$  и  $W_1$  равное 34 мм;

$H$  – расстояние от верхнего края корпуса приспособления до нижнего торца гайки равное 50 мм» [7].

«Тогда получим:

$$W_1 = \frac{1898}{1 - 3 \cdot 0,1 \cdot (34/50)} = 2384 \text{ Н.}$$

Далее определим усилие, которое должен обеспечивать силовой привод для реализации такой силы зажима заготовки. Для клино-плунжерного зажимного механизма будем использовать формулу:

$$Q = 2 \cdot K_2 \cdot (W_1 + q) \cdot [tg(\alpha + \phi_{np}) + tg\phi_1], \quad (25)$$

где  $\alpha$  – скашивающий угол клина равен  $7^\circ$ ;

$q$  – сила пружины равна 150 Н;

$\phi_{PP}$  – приведенный угол трения клина равен  $2^{\circ}25'$ ;

$\phi_1$  – угол трения плунжера равен  $5^{\circ}50'$ ;

$K_2$  – коэффициент коррекции равен 1,1» [7].

«Тогда получим:

$$Q = 2 \cdot 1,1 \cdot (2384 + 150) \cdot [tg(7^{\circ} + 2^{\circ}25') + tg5^{\circ}50'] = 1494 \text{ Н.}$$

Для обеспечения усилия в 1494 Н можно использовать как пневматический привод, так и гидравлический привод. Выбор вида привода согласно условиям обработки отдадим в пользу пневматического привода двустороннего действия с рабочим давлением 0,63 МПа.

Определим диаметр штока привода, который будет обеспечивать исходную силу, согласно:

$$D = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{Q}{p \cdot \eta}}, \quad (26)$$

где  $p$  – давление в цилиндре;

$\eta$  – КПД привода равное 0,9» [16].

«Тогда получим:

$$D = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{1494}{0,63 \cdot 0,9}} = 59 \text{ мм.}$$

По ГОСТу 15608-81 примем ближайшее к расчетному значение для диаметра штока 63 мм, ход призм 1,5 мм и ход штока цилиндра 12 мм. Для упрощения дальнейших расчетов в настоящей работе погрешностью базирования можно пренебречь» [7].

Приспособление состоит из корпуса 1, присоединительные размеры посадочного отверстия которого соответствует параметрам шпинделя станка А6. В центральном отверстии корпуса 1 по скользящей посадке перемещается клиновой привод 2. По резьбе он соединяется со штоком гидравлического привода зажима. При помощи винта 3 происходит фиксация штока по

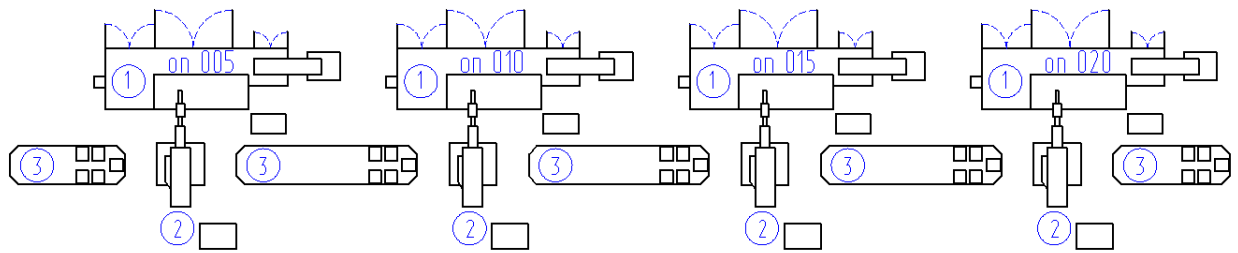
резьбовому отверстию. В Т-образных наклонных пазах клинового привода 2 по скользящей посадке перемещаются постоянные кулачки 4. Они соединяются со сменными кулачками 5, которые имеют возможность перемещаться в радиальном направлении от регулировочного винта 7. Этот винт 7 через промежуточные втулки 6 и 8 зацепляется как с постоянными кулачками 4, так и со сменными кулачками 5. Фиксация регулировочного винта 7 в определенном угловом положении, соответствующем определенному радиальному размеру зажимаемой заготовки, обеспечивается шариковым упором 9, который упирается в пружину 10. Для обеспечения соосности движения клинового привода 2, а также защиты внутренних механизмов от попадания грязи и стружки, отверстие в корпусе 1 со стороны заготовки закрывается ступенчатой крышкой 11, которая фиксируется при помощи винтов 12.

«Разработанное приспособление работает следующим образом. При подаче сжатого воздуха в поршневую полость цилиндра клин 5 двигается вперед и давит на ролик 11, коромысло 4 отходит вниз и деталь зажимается» [14]. «При подаче сжатого воздуха в полость штока цилиндра движение происходит в обратном порядке и деталь разжимается» [7].

### **3.2 Захватное устройство**

«Для токарных операций при загрузке и выгрузке деталей принимаем робототехнический комплекс (РТК) М20П.40.01., эскиз которого показан на рисунке 5.

Проведем разработку нового захватного устройства, которое от базового отличается малыми габаритами, надежностью и простотой конструкции» [14].



1 – токарный станок с ЧПУ; 2 – промышленный робот М20П.40.01; 3 – тактовый стол СТ-220

Рисунок 5 – Эскиз РТК

«В процессе перемещения заготовки требуются определенные силы захвата, которые будем определять по формуле:

$$W = K_1 \cdot K_2 \cdot m \cdot g, \quad (27)$$

где  $K_1$  – страховочный коэффициент равен 3;

$K_2$  – передаточный коэффициент» [14].

«В формуле (25)  $m = 5,06$  кг масса заготовки, рассчитанная ранее.  $g$  – ускорение свободного падения ( $9,8 \text{ м/с}^2$ ). Передаточный коэффициент  $K_2$  рассчитаем по формуле:

$$K_2 = \frac{\sin\alpha}{2 \cdot \mu}, \quad (28)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения губок в месте контакта равен 0,16;

$\alpha$  - максимальный угол смыкания губок манипулятора равен  $45^0$ » [14].

«Тогда получим:

$$K_2 = \frac{\sin 45^0}{2 \cdot 0,16} = 2,2.$$

Окончательно сила захвата:

$$W = 3 \cdot 2,2 \cdot 5,06 \cdot 9,8 = 327 \text{ Н.}$$

Расчетная схема захватного устройства представлена на рисунке 6» [14].

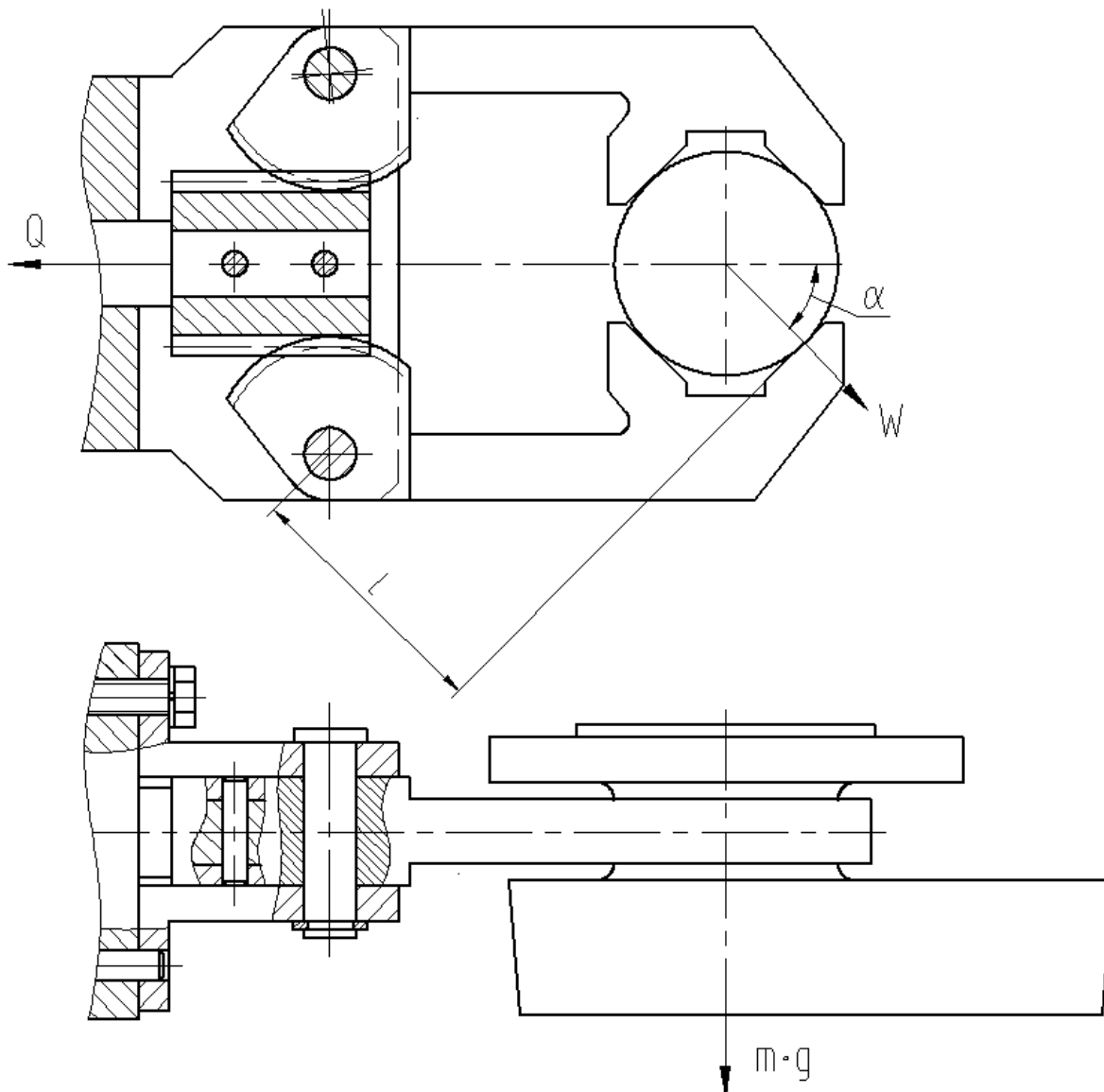


Рисунок 6 – Схема захватного устройства

«Определим необходимое усилие привода  $Q$  из условия статического равновесия:

$$Q \cdot \eta = \frac{1}{m_c \cdot r_c} \cdot 2 \cdot M, \quad (29)$$

где  $\eta$  – КПД реечной передачи;

$M$  – максимальный момент сил;

$m_c$  – модуль зубчатой передачи сектора равен 2;

$r_c$  – число зубьев сектора равно 11» [14].

«Максимальный момент определим по формуле:

$$M = W \cdot l, \quad (30)$$

где  $l$  – плечо (на рисунке 8) равно 58 мм.

Тогда получим:

$$Q = \frac{2 \cdot 327 \cdot 58}{2 \cdot 11 \cdot 0,9} = 1916 \text{ Н.}$$

Значением рабочего давления привода будем считать 0,63 МПа. Тогда диаметр поршня пневматического цилиндра определим по формуле:

$$D = 1,17 \cdot \sqrt{\frac{Q}{p \cdot \eta}}, \quad (31)$$

Параметры, входящие в (29) расписаны ранее для выражения (24). Тогда получим:

$$D = 1,17 \cdot \sqrt{\frac{1916}{0,63 \cdot 0,9}} = 68 \text{ мм.}$$

По ГОСТу 15608-81 примем ближайшее к расчетному значение для диаметра штока 75 мм, ход губок 22 мм и ход штока цилиндра 4 мм» [14].

«В графической части представлен чертеж разработанного захватного устройства. Для зажима заготовки служат губки 2. Губки 2 с помощью осей 7, которые зафиксированы кольцами 6 установлены на угольниках 11. С зубчатой рейкой 10 губки 2 входят своим зубчатым сектором. На штоке 12 на осях 8 располагается рейка 10. Крышки 4 и 5 являются составляющими пневматический цилиндр. Крышки располагаются во втулке 1 и крепятся с

помощью шпилек 21 с гайками 14. К крышке 5 с помощью болтов 13 с шайбами 19 крепятся угольники 11. Штифты 20 производят центрирование угольников 11. Резиновые кольца 16 и 17 устанавливаются в цилиндре для уплотнения. В крышке 5 устанавливается демпфер 3 для устранения ударов поршня о стенки цилиндра. Сжатый воздух в рабочую полость цилиндра подается через два отверстия с резьбой М12» [14].

«Захватное устройство работает следующим образом. При подаче сжатого воздуха в полость штока заготовка зажимается губками 2 посредством их поворота зацеплением с зубьями рейки 10. Рейка 10 движется за штоком 12, который тянется поршнем. При подаче сжатого воздуха в поршневую полость шток с рейкой двигаются в обратном направлении, и заготовка разжимается» [14].

В представленном разделе для некоторых технологических операций были разработаны и спроектированы необходимые приспособления – это станочное приспособление для сверления и зажимное приспособление для реализации определенных сил зажима заготовки при обработке.

#### **4 Безопасность и экологичность технического объекта**

Техническим объектом, в отношении которого будут решаться вопросы безопасности, экологичности и охраны труда в этом разделе и в работе в целом является технологический процесс изготовления корпуса механизма зажима.

Технологические операции: заготовительная, токарная, сверлильная, фрезерная.

Рабочие места: оператор станков с ЧПУ, фрезеровщик, оператор моечной установки.

Оборудование: горизонтально-ковочная машина, токарный станок с ЧПУ ВСТ-625-21 CNC34, Многоцелевой вертикальный станок с ЧПУ S450.

Материалы: сталь 45, вода, смазывающая охлаждающая жидкость, масло, керосин, поверхностно активные вещества, электролит.

Ключевым моментом является процесс изготовления, то есть условия, порядок механической обработки, а также средства технологического оснащения. Рассматривая технологическое оборудование и его значение в технологическом процессе, в обязательном порядке необходимо соблюдать некоторые условия: необходимость в формировании качества поверхностей детали в соответствии с техническими требованиями; соблюдение технических и документальных требований к оснащенности процесса; соразмерность между крупным оборудованием и мелкими составляющими; обеспечение более качественных методов для обработки поверхностей.

При выборе критериев выбора технологической оснастки, необходимо с помощью анализа учитывать все возможности реализации технологических и технических процессов и требований к деталям.

Выбранные средства технологического оснащения технологического процесса указаны в таблице 2, а расчет режимов резания детально расписан в пункте 2.2 раздела 2, а также в технологической документации в Приложении А в таблице А.1. В составлении технологической документации учитываются графические схемы, чертежи и текстовые документы, эти документы в своей



совокупности могут определять ход и порядок различных технологических операций.

Для идентификации опасностей, а также экологических аспектов на производственном участке обычно руководствуются локальными нормативными документами, устанавливающими порядок этой процедуры.

На производственном участке возможно возникновение травмирующих воздействий на человека. Это травма, поражение электрическим током, пожар, шум и так далее.

«Источниками возникновения или получения травмы могут потенциально быть движущиеся части производственного оборудования, высокая температура поверхности обрабатываемых деталей, допустимые нормы которых указаны в ГОСТ 12.2.012–75; разрыв шлифовального круга, вырыв обрабатываемой детали, вращающийся инструмент при обработке детали, приспособления для закрепления инструмента, перемещение шлифовальной бабки, слесарно-монтажный инструмент и так далее, допустимые нормы которых указаны в ГОСТ 12.2.033–78 2.

Источниками поражения электрическим током могут быть потенциально пробой фазы на корпус, нарушение изоляции токоведущих частей, перегрузка электрооборудования, допустимые нормы которых указаны в ГОСТ 12.1.038–82 3» [5].

«Источниками возникновения пожара могут выступать действия, возникающие при нарушении изоляции токоведущих частей; перегрузке электрооборудования; нарушении технологического процесса; наличии промасленной ветоши; открытом огне и наличии искр; повышенной температуре воздуха и окружающих предметов; наличии токсичных продуктов горения; дыма; негерметичности системы питания; подаче топлива самотёком, курении в непосредственной близости от системы питания; применении легковоспламеняющихся и горючих жидкостей при мойке двигателя и так далее, допустимые нормы которых указаны в ГОСТ 12.1.038–82.

Источниками возникновения шума является вибрация поверхностей оборудования, электродвигатель, зубчатая, клиноременная и др. передачи, периодические соударения в сочлененных деталях, непосредственно обработка резанием, компрессоры, двигатели автомобилей, электрические двигатели технологического оборудования, механические передачи, воздухопроводы, технологическое оборудование и механизированный инструмент, уровень которого по ГОСТ 12.1.003–83 не может превышать 80 дБА» [5].

«Для снижения уровня профессиональных рисков разрабатываются инструкции по охране труда для каждой профессии, занятой на техническом объекте [12].

Обязательно применение средств индивидуальной защиты и технических средств защиты, частичного снижения, полного устранения опасного и вредного производственного фактора.

Так при защите от повышенной или пониженной температуры поверхностей оборудования, материалов применяется специальная одежда, защитные щитки, очки, перчатки и рукавицы, специальная обувь и ограждение опасной зоны» [5].

«При защите от поражения электрическим током применяются защитное заземление зануление, ограждение токопроводящих частей, применение УЗО, выравнивание потенциалов, спец одежда, защитные очки, перчатки и спец обувь.

Для защиты от движущихся машин и механизмов подвижных частей производственного оборудования; передвигающиеся изделий и заготовок применяются спец одежда, защитные очки, перчатки, головной убор (каска или каскетка) и спец обувь, зонирование территории цехов (обозначение безопасных проходов), сигнализация и защитные ограждения.

При защите от повышенного уровня шума на рабочем месте и повышенного уровня вибрации на объекте применяется спец одежда, спец обувь, перчатки, наушники, беруши, наладка оборудования, увеличение

жёсткости оборудования для уменьшения резонансных колебаний, использование материалов способных поглощать колебания» [5].

Сотрудники соблюдают требования охраны труда, пожарной безопасности, электробезопасности. Для достижения данной задачи ежедневно перед каждой рабочей сменой проводятся следующие мероприятия: на участках проведения огневых работ (сварочных и прочих работ с открытым пламенем) предусмотрены первичные средства пожаротушения: огнетушители ОП-5, баки с песком. Места, где находятся первичные средства пожаротушения отмечены плакатами; электрооборудование проходит регулярные испытания согласно действующей нормативно-технической документации, что подтверждается соответствующей биркой на электрооборудовании; на предприятии предусмотрены места для курения, обозначенные соответствующими плакатами; сварочные провода, удлинители и прочие переносные кабели защищены от механических повреждений и находятся на специальных подвесках над полом; персонал имеет удостоверения о проверке знаний в области охраны труда, пожарной безопасности, электробезопасности и квалификационные удостоверения по тем видам работ, которые выполняют работники; в зоне проведения сварочных работ отсутствует мусор, горючие и взрывопожароопасные вещества и материалы; сотрудники охраны труда каждую смену осматривают рабочие места на предмет соответствия требованиям охраны труда и техники безопасности.

На предприятии необходимо ходить в специальной одежде, обуви и каске. Для сварщиков предусмотрена одежда из плотного негорючего материала, сварочных краг, сварочной маски для проведения работ. Вся спецодежда должна иметь сертификат завода-изготовителя.

Исходя из всего вышеперечисленного следует сделать вывод о том, что на предприятии выполняются основные требования охраны труда и техники безопасности, работники предприятия обучены основным первичным

методам борьбы с пожароопасными ситуациями и оказания первой помощи пострадавшим.

«Негативное экологические воздействие, влияющие на атмосферу на операции 020 токарной – это испарение технических жидкостей, металлическая пылевая и водно-аэрозольная взвесь.

Негативное экологические воздействие, влияющие на гидросферу – это проливы загрязнённой воды и технических жидкостей при проведении профилактики и очистке оборудования в сточные воды.

Негативное экологическое воздействие технического объекта на литосферу - проливы технических жидкостей (масла, СОЖ) при проведении профилактики и ремонта, а также в аварийных ситуациях, внесение частиц металлической стружки частиц окалина на поверхность полов» [5].

«Для уменьшения негативного воздействия на окружающую среду на рассматриваемой операции проводятся следующие мероприятия - применение защитных щитков препятствующих распространению паров, взвеси и разбрызгиванию СОЖ, подвод приточно-вытяжной вентиляции, оборудованной фильтрами.

В разделе выработаны мероприятия и средства по снижению профессиональных рисков, которые позволяют снизить их общий уровень, сократить производственный травматизм и уровень производственной заболеваемости» [5]. Рассмотрено максимально возможное количество мероприятия по снижению уровня опасности при реализации предлагаемого технологического процесса.

## 5 Экономическая эффективность работы

Данный раздел предполагает решение главной задачи бакалаврской работы, которая заключается в экономическом обосновании целесообразности внедрения предложенных в технологический процесс изменений.

Для решения поставленной задачи необходимо провести сравнительный анализ технических и экономических параметров, двух вариантов технологического процесса, описанных в предыдущих разделах.

Основное изменение технологического процесса предполагает замену инструмента и оснастки. Предлагаемый инструмент имеет большую износостойкость, а оснастка – более быстрое реагирование на выполнение действий. Все эти изменения обеспечивают снижение трудоемкости операции, как за счет увеличения режимов резания, так и за счет уменьшения вспомогательного времени выполнения операции.

Результаты технических изменений после совершенствований операций, а именно замены инструмента и оснастки:

- сокращение основного времени выполнения операций на 16,7%;
- сокращение вспомогательного времени – на 15,3%;
- увеличение стойкости применяемого инструмента на 33,3 %.

Описанные результаты достаточно существенны для того, чтобы сделать предварительное положительное заключение о необходимости внедрения данных изменений. Однако, чтобы полноценно в этом убедиться, необходимо провести некоторые экономические расчеты. Они связаны с определением величины инвестиций и их сроком окупаемости, а также с расчетом самого важного показателя, такого как экономический эффект.

На рисунке 7 представлены методики, которые позволяют грамотно рассчитать все вышеперечисленные экономические показатели.

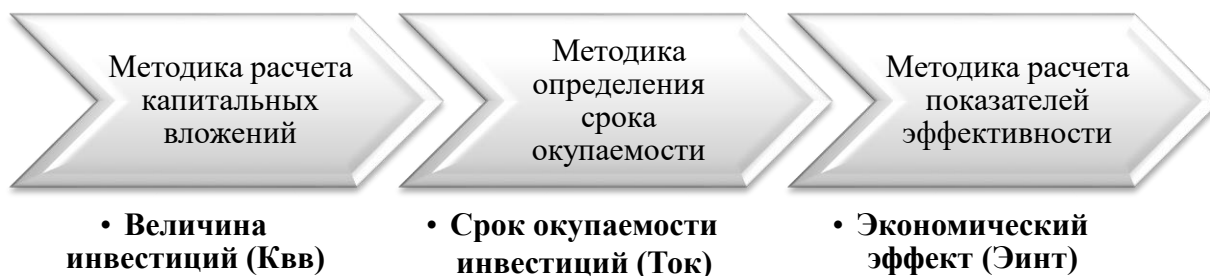


Рисунок 7 – Применяемые методики для определения необходимых экономических показателей [6]

Используя, описанную на рисунке 7, методику расчета капитальных вложений, в совокупности с программой Microsoft Excel, была определена величина инвестиций (К<sub>ВВ</sub>), которая составила 150956,48 рублей. Данное значение учитывает все необходимые финансовые вливания в совершенствование технологического процесса. На рисунке 8 представлены показатели, из которых сложилась итоговая величина инвестиций.

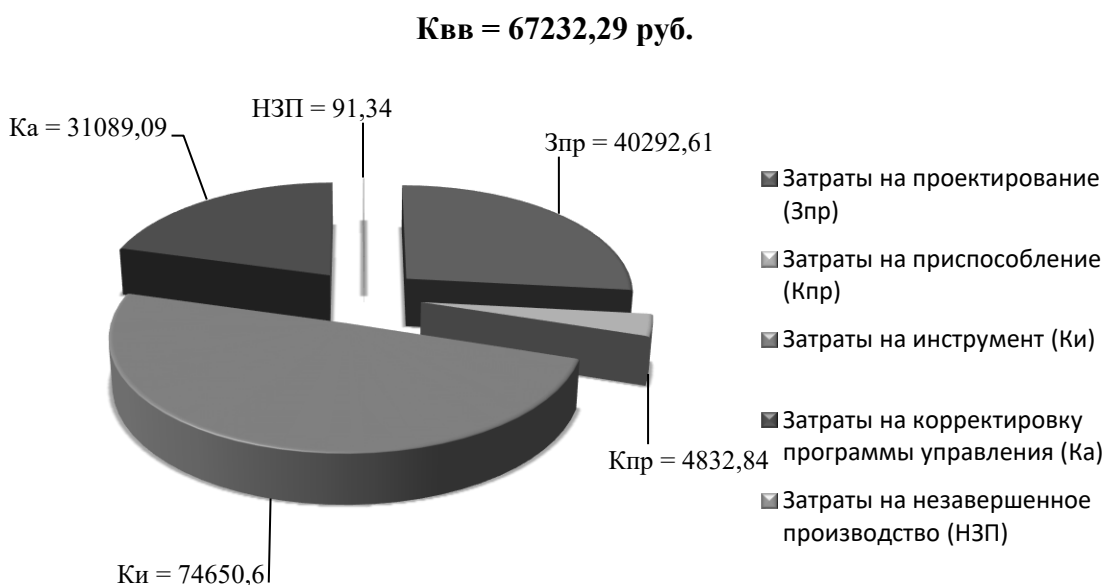


Рисунок 8 – Показатели и их значения, которые вошли в величину инвестиций для предлагаемых совершенствований

Анализируя рисунок 8, можно сказать, что затраты на инструмент

являются самыми существенными, так как их доля составила 49,45% в общем объеме инвестиций.

Для определения срока окупаемости заявленных инвестиций необходимо последовательно определить некоторое количество дополнительных показателей, которые представлены на рисунке 9.

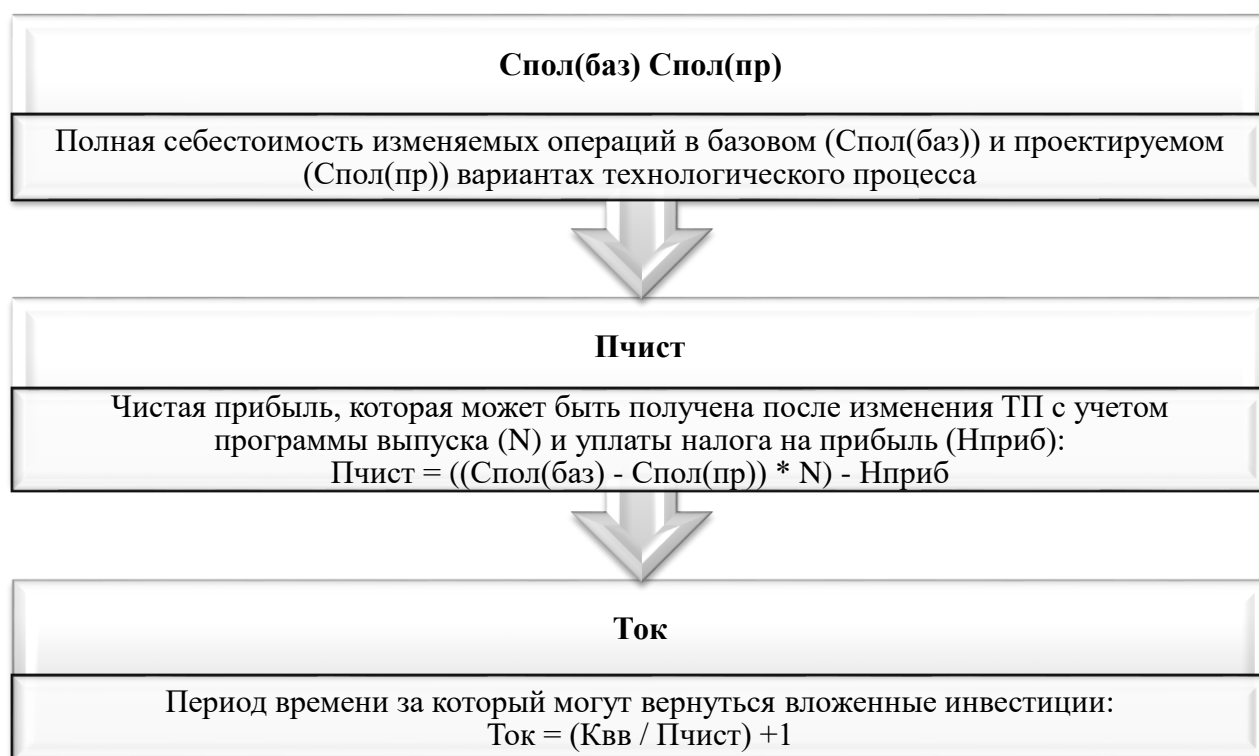


Рисунок 9 – Дополнительные экономические показатели для определения срока окупаемости и их взаимосвязь

Как видно из рисунка 9, для получения результата по сроку окупаемости, сначала необходимо определить значение такого экономического показателя как полная себестоимость изменяемых операций. Эту величину рассчитывают по двум вариантам, базовому и проектируемому. Это необходимо для того, чтобы можно было определить изменения, то есть посмотреть на сколько снизится или увеличится себестоимость выполнения этих операций. Чтобы окупить вложенные инвестиции себестоимость проектируемого варианта должна снижаться. Также важно, на сколько она снизится, потому что чем

больше будет разница у полной себестоимости, тем быстрее окупятся вложенные инвестиции.

Результаты расчета полной себестоимости по вариантам технологического процесса представлены на рисунке 10.

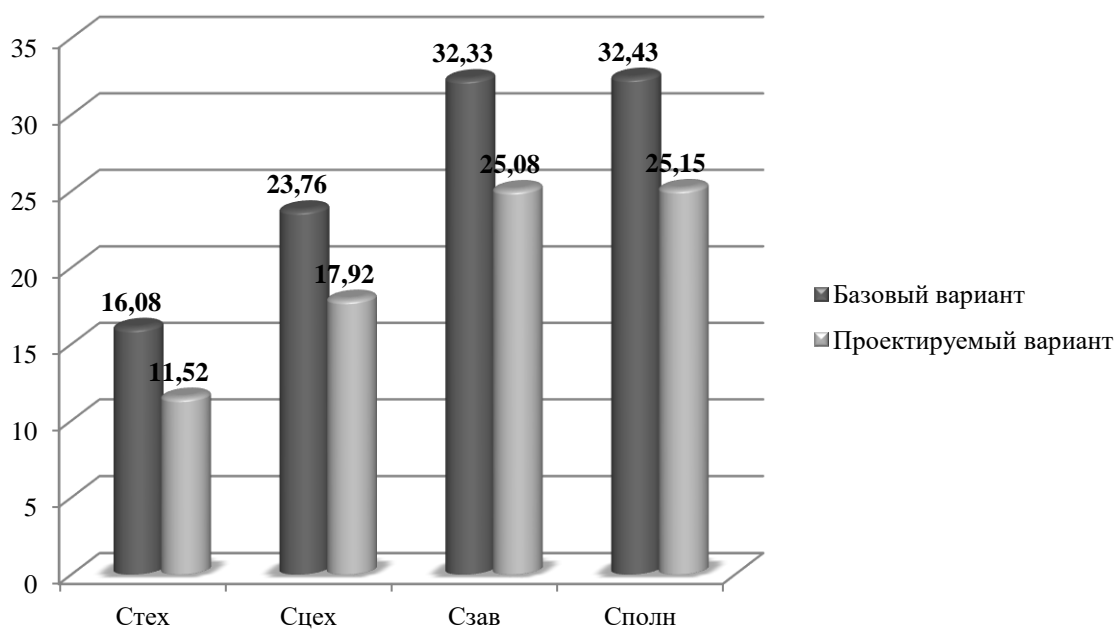


Рисунок 10 – Результаты расчета полной себестоимости по вариантам, руб.

Из рисунка 10 видно, что полная себестоимость в проектируемом варианте снижается, это изменение составляет около 22,5 %.

Далее, благодаря значениям полной себестоимости базового и проектируемого варианта операций, определяется возможная прибыль, которую сможет получить предприятие от внедрения совершенствований.

Затем уже приступают к определению самого срока окупаемости. Так как, технологические процессы по изготовлению продукции присуще промышленным предприятиям, то для них определен максимальный горизонт окупаемости инвестиций в 4 года.

Учитывая срок окупаемости инвестиций, определяется интегральный экономический эффект ( $\Delta_{\text{инт}}$ ) путем расчета через сложные проценты. Они



позволят максимально учесть потерю стоимости денежных средств и показать максимально реалистичное значение экономического эффекта. Данный способ расчета экономического эффекта основывается на расчетном сроке окупаемости инвестиций, величине чистой прибыли и процентной ставке на капитал.

На рисунке 11 представлены рассчитанные значения следующих показателей: чистая прибыль, срок окупаемости и экономический эффект.

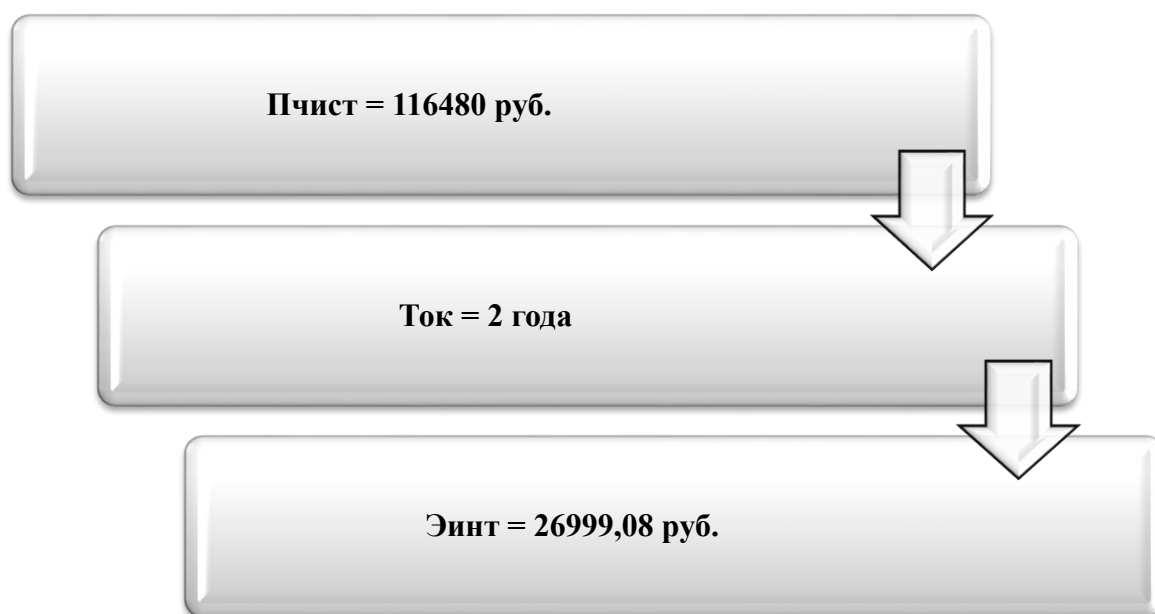


Рисунок 11 – Значения показателей чистой прибыли ( $P_{\text{чист}}$ ), срока окупаемости ( $T_{\text{ок}}$ ) и экономического эффекта ( $\text{Эинт}$ )

В разделе были проведены все необходимые экономические расчеты и, как показано на рисунке 11, экономический эффект является положительной величиной, то есть он получен, поэтому внедрение предлагаемых совершенствований можно считать целесообразными.

## Заключение

В выпускной квалификационной работе рассмотрена технология изготовления корпуса механизма зажима. В работе рассмотрены все этапы проектирования данной технологии. Разделы работы соответствуют заданию. Первым этапом идет анализ исходных данных. В ходе анализа требований чертежа, выявлено соответствие требований служебному назначению поверхностей детали. Рассматривались вопросы обеспечения технологичности детали. В ходе разработки технологии на основе характеристик среднесерийного типа производства была выбрана заготовка и технологические переходы по ее дальнейшей обработке. Исходная заготовка выбрана, полученная методом штамповки. Выбранные технологические переходы соответствуют типовому технологическому процессу изготовления деталей типа втулки, форме которой соответствует заданная деталь. Технологические операции выполнялись на широко функциональных высокоскоростных металлорежущих станках. Использовалось специализированное и универсальное оснащение для закрепления и обработки заготовки. Выбранные средства контроля и измерений соответствует форме детали, ее конфигурации и точности контролируемых параметров. Проектирование операций включали в себя расчет режимов и норм времени. Технологическое проектирование заканчивалось формированием комплекта технологической документации по изготовлению детали. Для обеспечения технологии изготовления спроектировано зажимное и захватное приспособление. Проектирование сопровождалось всеми необходимыми проверочными расчетами. Экономический раздел содержит обоснование изменений в технологии и получен экономический эффект. Были предусмотрены мероприятия по защите труда для обеспечения заданных условий обработки. Даны рекомендации для внедрения разработанного нового технологического процесса в реальное профилирующее предприятие.

## Список используемых источников

1. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов. – М. : Машиностроение, 2005. 736 с.
2. Байкалова В.Н. Основы технического нормирования труда в машиностроении: учебное пособие / В.Н. Байкалова, И.Л. Приходько, А.М. Колокатов. – М. : ФГОУ ВПО МГАУ, 2005. 105 с.
3. Безъязычный В.Ф. Основы технологии машиностроения: учебник. – М. : Инновационное машиностроение, 2016. 568 с.
4. Горбацевич А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие для вузов / А.Ф. Горбацевич, В.А. Шкред. – М. : Альянс, 2015. 256 с.
5. Горина Л.Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта»: учебно- методическое пособие / Л.Н. Горина, М.И. Фесина. – Тольятти : изд-во ТГУ, 2018. 41 с.
6. Зубкова Н.В. Методическое указание к экономическому обоснованию курсовых и дипломных работ / Н.В. Зубкова. – Тольятти : ТГУ, 2015. 46 с.
7. Иванов И.С. Расчёт и проектирование технологической оснастки в машиностроении: учебное пособие. – М. : ИНФРА-М, 2015. 198 с.
8. Иванов И.С. Технология машиностроения: производство типовых деталей машин: учебное пособие. – М. : ИНФРА-М, 2014. 223 с.
9. Клепиков В.В. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие / В.В. Бодров, В.Ф. Солдатов. – М. : ИНФРА-М, 2017. 229 с.
10. Клепиков В.В. Технология машиностроения: учебник / В.В. Клепиков, А.Н. Бодров. – М. : ФОРУМ, ИНФРА-М, 2004. 860 с.
11. Кондаков А.И. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие. – М. : КНОРУС, 2012. 400 с.

12. Косов Н.П. Технологическая оснастка: вопросы и ответы: учебное пособие / Н.П. Косов, А.Н. Исаев, А.Г. Схиртладзе. – М. : Машиностроение, 2005. 304 с.
13. Приходько И.Л. Проектирование заготовок: учебное пособие / И.Л. Приходько, В.Н. Байкалова. – М. : Издательство РГАУ–МСХА, 2016. 171 с.
14. Скворцов В.Ф. Основы технологии машиностроения: учебное пособие. – М. : ИНФРА-М, 2016. 330 с.
15. Справочник технолога - машиностроителя. В 2-х кн. Кн. 2 / А.Г. Косилова [и др.]; под ред. А.М. Дальского [и др.]; - 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение-1, 2001. 944 с.
16. Суслов А.Г. Технология машиностроения: учебник. – М. : КНОРУС, 2013. 336 с.
17. Сысоев С.К. Технология машиностроения. Проектирование технологических процессов / С.К. Сысоев, А.С. Сысоев, В.А. Левко. – СПб. : Издательство «Лань», 2016. 352 с.
18. Филонов И.П. Инновации в технологии машиностроения: учебное пособие / И.П. Филонов, И.Л. Баршай. – Минск : Вышэйшая школа, 2009. 110 с.
19. Bertsche B. Reliability in Automotive and Mechanical Engineering: Determination of Component and System Reliability / B. Bertsche, A. Schanz, K. Pickard. – Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2015. 502 p.
20. Nee A. Y. C. Handbook of Manufacturing Engineering and Technology / A. Y. C. Nee. – London : Springer Reference, 2015. 3491 p.
21. Rösler J. Mechanical Behaviour of Engineering Materials: Metals, Ceramics, Polymers, and Composites / J. Rösler, H. Harders, M. Bäker. – Berlin Heidelberg New York : Springer, 2007. 540 p.

















